View metadata, citation and similar papers at core.ac.uk
brought to you by CORE
provided by eLibrary National Mining University

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

Інститут електроенергетики
Факультет інформаційних технологій
Кафедра безпеки інформації та телекомунікацій

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
кваліфікаційної роботи ступеню бакалавра

студента *Стрижак Мар'яни Григорівни*

академічної групи *172-16зск-1*

спеціальності *172 Телекомунікації та радіотехніка*

спеціалізації[1]

за освітньо-професійною програмою *Телекомунікації та радіотехніка*

на тему *Удосконалення мультисервісної мережі зв'язку з щільним хвилевим мультиплексуванням*

Керівники	**Прізвище, ініціали**	**Оцінка за шкалою**		**Підпис**
		рейтинговою	**інституційною**	
Кваліфікаційної роботи	к.ф.-м..н., доц. Магро В.І.			
розділів:				
спеціальний	к.ф.-м..н., доц. Магро В.І.			
економічний	к.е.н., доц. Романюк Н.М.			
Рецензент				
Нормоконтролер	к.ф.-м.н., проф. Гусєв О.Ю.			

Дніпро
2019

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

«_____»_____20___року

ЗАВДАННЯ
на кваліфікаційну роботу
ступеня бакалавра

студентці ***Стрижак Мар'яні Григорівні*** **академічної групи** ***172-16зск-1***
(прізвище ім'я по-батькові) (шифр)

спеціальності *172 Телекомунікації та радіотехніка*
(код і назва спеціальності)

на тему ***Удосконалення мультисервісної мережі зв'язку з щільним хвилевим мультиплексуванням***

затверджену наказом ректора НТУ «Дніпровська політехніка» від _____ № ____

Розділ	Зміст	Термін виконання
Розділ 1	Розглянути загальні відомості про мережі наступного покоління та технологію DWDM	
Розділ 2	Удосконалити структурну схему абонентського пристрою оптичної абонентської лінії зв'язку	
Розділ 3	Провести розрахунок витрат на введення та налаштування вдосконаленої лінії зв'язку та розрахунки витрат на ремонт ліній зв'язку.	

Завдання видано _____ **Магро В.І.**
(підпис керівника) (прізвище, ініціали)

Дата видачі: _____

Дата подання до екзаменаційної комісії: _____

Прийнято до виконання _____ **Стрижак М.Г.**
(підпис студента) (прізвище, ініціали)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 61 с., 10 рис., 3 табл., 1додаток, 25 джерел.

Об'єкт дослідження: базова технологія в мультисервісній мережі.

Мета роботи: збільшення пропускної спроможності мультисервісної мережі на основі технології DWDM за рахунок вдосконалення структурної схеми оптичної абонентської лінії зв’язку.

Методи дослідження: теорія систем та мереж масового обслуговування, аналітичний метод дослідження.

В першому розділі проведено аналіз та порівняння технологій спектрального ущільнення каналів, зокрема технології мультиплексування каналів по довжині хвилі та щільного хвильового мультиплексування.

В спеціальній частині запропоновано технічне рішення для усунення проблеми постійно зростаючого браку смуги частот в оптичних лініях зв’язку. Проведено розробку структурної схеми абонентського пристрою оптичної абонентської лінії зв’язку. Показана перевага запропонованого пристрою перед вже існуючими пристроями.

В економічній частині проведений розрахунок витрат на введення та налаштування вдосконаленої лінії зв’язку та розрахунки витрат на ремонт ліній зв’язку.

Практичне значення одержаних результатів полягає в тому, що зменшена смуга оптичних довжин хвиль, що займає одна лінія. Розроблений пристрій збільшує пропускну спроможність цифрових багатоканальних систем передачі, призначених для роботи в мультисервісних мережах.

ХВИЛЕВЕ МУЛЬТИПЛЕКСУВАННЯ. МЕРЕЖА АБОНЕНСЬКОГО ДОСТУПУ. ОПТИЧНА АБОНЕНТСЬКАЇ ЛІНІЯ. КОГЕРЕНТНИЙ ПЕРЕДАВАЧ. СМУГА ОПТИЧНИХ ДОВЖИН ХВИЛЬ.

РЕФЕРАТ

Пояснительная записка: 61 с., 10 рис., 3 табл., 1додаток, 25 источника.

Объект исследования: базовая технология в мультисервисной сети.

Цель работы: увеличение пропускной способности мультисервисной сети на основе технологии DWDM за счет совершенствования структурной схемы оптической абонентской линии связи.

Методы исследования: теория систем и сетей массового обслуживания, аналитический метод исследования.

В первой главе проведен анализ и сравнение технологий спектрального уплотнения каналов, в том числе технологии мультиплексирования каналов по длине волны и плотного волнового мультиплексирования.

В специальной части предложено техническое решение для устранения проблемы постоянно растущего нехватки полосы частот в оптических линиях связи. Проведена разработка структурной схемы абонентского устройства оптической абонентской линии связи. Показана преимущество предлагаемого устройства перед уже существующими устройствами.

В экономической части произведен расчет затрат на ввод и настройка усовершенствованной линии связи и расчеты затрат на ремонт линий связи.

Практическое значение полученных результатов заключается в том, что уменьшенная полоса оптических длин волн, занимает одна линия. Разработанное устройство увеличивает пропускную способность цифровых многоканальных систем передачи, предназначенных для работы в мультисервисных сетях.

ВОЛНОВОЕ МУЛЬТИПЛЕКСИРОВАНИЕ. СЕТЬ АБОНЕНТСКОГО ДОСТУПА. ОПТИЧЕСКАЯ АБОНЕНТСЬКАЯ ЛИНИЯ. КОГЕРЕНТНЫЙ ПЕРЕДАТЧИК. ПОЛОСА ОПТИЧЕСКИХ ДЛИН ВОЛН.

ABSTRACT

Explanatory note: 61 p., 10 figures, 3 tables, 1 appendix, 25 sources.

Object of research: basic technology in multiservice network.

The purpose of the work is to increase the bandwidth of the multiservice network based on DWDM technology by improving the structural scheme of the optical subscriber line.

Methods of research: the theory of systems and networks of mass service, analytical method of research.

In the first section, the analysis and comparison of spectral sealing technologies, in particular wavelength multiplexing technologies and dense wave multiplexing were conducted.

The special part proposes a technical solution to eliminate the problem of the ever increasing shortage of bandwidth in optical communication lines. The development of the block diagram of the subscriber unit of the optical subscriber line is carried out. The advantage of the proposed device is shown in front of already existing devices.

In the economic part, the calculation of the cost of input and adjustment of the advanced communication line and the calculation of costs for repair lines.

The practical value of the results obtained is that a reduced band of optical wavelengths occupying a single line. The developed device increases the bandwidth of digital multichannel transmission systems designed for operation in multiservice networks.

WAVE MULTIPLEXESSION. NETWORK OF ABONENS ACCESS. OPTICAL SUBSCRIPTION LINE. COHERENT TRANSMITTER. STRIP OF OPTICAL WAVES.

СПИСОК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

ВОЛЗ – волоконно-оптична лінія зв’язку;

ВОСП – волоконно-оптична система передачі;

ОВ – оптичне волокно;

ОМ – оптичний мультиплексор;

AN – access network;

DWDM – dense wavelength division multiplexing;

NGN – next generation network;

TDM – time division multiplexing;

WDM – wavelength division multiplexing.

ЗМІСТ

Стор.

ВСТУП..... 9

1 СТАН ПИТАННЯ. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ…….**……** 12

1.1 Перехід до мереж наступного покоління **……** 12

1.2 Концепція мультисервісних мереж **….**……**…..** 19

1.3 Загальні відомості про технологію DWDM…….. 33

1.4 Висновок до першого розділу…… 38

1.5 Постановка задачі для другого розділу…….. 38

2 СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА ……..…….. 40

2.1 Структура та характеристики оптичної лінії …….. 41

2.2 Принцип роботи запропонованої оптичної лінії зв’язку ……. 43

2.3 Розрахунок основних параметрів хвилеводного спектрального мультиплексора 47

2.4 Порівняльній аналіз існуючої лінії та лінії з використанням запропонованого технічного рішення…… 49

2.5 Висновки до другого розділу…… 52

3 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА…….. 53

3.1 Визначення трудомісткості введення запропонованого рішення в існуючу оптичну лінію зв’язку…….. 53

3.2 Визначення витрат на введення та налаштування нового устаткування у вже існуючу лінію зв’язку…….. 55

3.3 Витрати на ремонт устаткування……... 56

3.4 Економічна ефективність від запропонованого удосконалення оптичної лінії зв’язку…… 57

3.5 Висновки до третього розділу…… 58

ВИСНОВКИ..... 59

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ..... 60

ДОДАТОК А…….....
ДОДАТОК Б…….....
ДОДАТОК В…….....
ДОДАТОК Г…….....

ВСТУП

Волоконно-оптичні лінії зв'язку – це вид зв'язку, при якому інформація передається по оптичних хвилеводах, відомих під назвою "оптичне волокно". Оптичне волокно в даний час вважається за найдосконалішим фізичним середовищем для передачі інформації, а також найперспективнішим середовищем для передачі великих потоків інформації на значні відстані. Підстави так вважати витікають з ряду особливостей, що притаманні оптичним хвилеводам.

1. Широкосмуговість оптичних сигналів, обумовлена надзвичайно високою частотою несучої ($F_o=10^{14}$ Гц). Це означає, що по оптичній лінії зв'язку можна передавати інформацію із швидкістю порядка 10^{12} біт/с або Терабіт/с. Іншими словами, по одному волокну можна передати одночасно 10 мільйонів телефонних розмов і мільйон відеосигналів. Швидкість передачі даних може бути збільшена за рахунок передачі інформації відразу в двох напрямах, оскільки світлові хвилі можуть поширюватися в одному волокні незалежно одна від одної. Крім того, в оптичному волокні можуть поширюватися світлові сигнали двох різних поляризацій, що дозволяє подвоїти пропускну спроможність оптичного каналу зв'язку. На сьогоднішній день межа по щільності передачі інформації по оптичному волокну не досягнута.

2. Дуже мале (в порівнянні з іншим середовищем) затухання світлового сигналу у волокні. Лабораторні дослідження показали, що на основі таких волокон можуть бути створені лінії зв'язку з регенераційними ділянками через 4600 км. при швидкості передачі порядку 1 Гбіт/с.

Розв’язок задачі подальшого зростання пропускної спроможності волоконно-оптичних систем передачі (ВОСП) шляхом збільшення швидкості передачі за допомогою TDM (Time Division Multiplexing) обмежується не лише технологічними складнощами при електронному часовому ущільненні, але і

обмеженнями, викликаними часовою (хроматичною) дисперсією оптичних імпульсів в процесі їх поширення в оптичному волокні (ОВ).

Вказане вище завдання успішно вирішується за допомогою оптичного мультиплексування з розділенням по довжинах хвиль – WDM (Wavelength Division Multiplexing). Суть цього методу полягає в тому, що m інформаційних цифрових потоків, що переносяться кожен на своїй несучій оптичній хвилі λ_m, і які рознесені в просторі, за допомогою спеціальних пристроїв - оптичних мультиплексорів (ОМ) - об'єднуються в один оптичний потік $\lambda_{1...}\ \lambda_m$, після чого він вводиться в оптичне волокно. На приймальній стороні проводиться зворотна операція демультиплексування.

Оптичні параметри систем WDM регламентуються рекомендаціями, в яких визначені довжини хвиль і оптичні частоти для кожного каналу. Згідно цим рекомендаціям, багатохвильові системи передачі працюють в 3-ому вікні прозорості ОВ, тобто в діапазоні довжин хвиль 1530-1565 нм. Для цього встановлений стандарт довжин хвиль, що є сіткою оптичних частот, в якій розписані регламентовані значення оптичних частот в діапазоні 196,1-192,1 ТГц з інтервалами 100 ГГц і довжини хвиль, - 1528,77-1560,61 нм з інтервалом 0,8 нм. Стандарт складається з 41 довжини хвилі, тобто розрахований на 41 спектральний канал. Але на практиці використовується 39 каналів з представленої сітки частот, оскільки два крайніх не використовуються, оскільки вони знаходяться на схилах частотної характеристики оптичних підсилювачів, вживаних в системах WDM.

Останнім часом встановилася чітка тенденція зменшення частотного інтервалу між спектральними каналами до 50 ГГц і навіть до 25 ГГц, що призводить до щільнішого розташування спектральних каналів у відведеному діапазоні довжин хвиль (1530-1565 нм). Таке ущільнення отримало назву DWDM (Dense Wavelength Division Multiplexing). Очевидно, що DWDM викликане прагненням збільшити кількість каналів, що передаються.

Відзначимо також, що на даний час абревіатура DWDM закріпилася і для систем з багатохвильовим ущільненням, в яких частотний інтервал між каналами дорівнює 100 ГГц.

На даний час в устаткуванні систем зв'язку з DWDM, розрахованих для передачі до 32-х каналів, ряд фірм застосовує довжину хвилі 1510 нм, а деякі - 1625 нм. Але із збільшенням кількості каналів, що передаються до 128 і більше виникає необхідність освоєння більш довгохвильової частки оптичного спектру, зокрема L-диапазона (або 4-те вікно прозорості ОВ), в якіий входить довжина хвилі 1625 нм.

Створення систем передачі DWDM зумовило розробку цілого ряду як активних, так і пасивних квантових і оптичних елементів і пристроїв з високостабільними параметрами. Сюди відносяться напівпровідникові лазери з вузькою спектральною шириною лінії випромінювання (менше 0,05 нм) при стабільності не гірше ± 0,04 нм. Волоконно-оптичні підсилювачі повинні мати стабільний коефіцієнт посилення, малу нерівномірність коефіцієнта підсилення, (< ± 0,5 дБ) у всьому спектральному діапазоні підсилення і ряд інших характеристик. Серед пасивних елементів найбільш важливими є оптичні мультіплексори/ демультиплексори для великої кількості каналів при роботі в одному вікні прозорості (1530-1565 нм). Розлад по довжині хвилі цих елементів не повинен перевищувати 0,05 нм. Така стабільність забезпечується жорсткою температурною стабілізацією цих елементів з точністю не гірше ± 1°с.

Всі чинники, що розглянуті вище, роблять актуальною розробку оптичної лінії зв'язку зі щільним хвилевим мультиплексуванням.

Метою кваліфікаційної роботи є збільшення пропускної спроможності мультисервісної мережі на основі технології DWDM за рахунок вдосконалення структурної схеми оптичної абонентської лінії зв’язку.

1 СТАН ПИТАННЯ. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

1.1 Перехід до мереж наступного покоління

Нині на ринковому просторі інформаційних послуг мережі перевантажені. Вони перевантажені багато чисельними інтерфейсами клієнтів, мережевими шарами та контролюється занадто великою кількістю систем управління. А кожна служба прагне до створення власної мережі. Великі експлуатаційні витрати підштовхують операторів до пошуку рішень, що полегшують функціонування, при збереженні можливості створення нових служб та забезпечення стабільності існуючих джерел прибутку, подібних мовних служб.

Тут вперше з’являється термін «мережа наступного/нового покоління» (NGN – Next Generation Network), тобто мережа, яка б оптимально задовольняла потребам операторів в підвищенні прибутків.

Ідеологічні принципи побудови мережі нового покоління наступні:

- по-перше, підключення до мережі має бути максимальне простим і зручним, без використання проміжних систем, при цьому використання традиційно вживаних протоколів і сервісів має бути доступне в колишньому об'ємі;
- по-друге спочатку будується базова пакетна транспортна мережа на базі комп'ютерних технологій, що забезпечують відповідну якість, надійність, гнучкість і масштабованість, а потім поверх цієї мережі будується потужний комплекс сервісів.

У результаті всі інформаційні потоки інтегруються в єдину мережу.

Мережа NGN - це відкрита, стандартна пакетна інфраструктура, яка здатна ефективно підтримувати всю ширину існуючих додатків і послуг, забезпечуючи необхідну масштабованність і гнучкість дозволяючи реагувати на нові вимоги по функціональності і пропускній спроможності.

Мережі NGN мають відповідати наступним вимогам:

- інтеграція в існуючу мережу оператора, підтримка не лише нової транспортної технології, але і звичної моделі управління;
- повністю модульна архітектура з можливостями географічного розподілу і резервування;
- можливість гнучкого збільшення продуктивності шляхом придбання ліцензій і додавання в систему серверів;
- можливість впровадження нового вигляду послуг в мінімальні терміни;
- відповідність вимогам законодавства про архітектуру мережі.

Можливості мереж NGN:

- Забезпечення створення, розгортання і управління будь-якого виду служб (відомих і ще невідомих);

Чітке розділення між функціями служб і транспортними функціями, з тим, щоб забезпечити роз'єднання служб і мереж, що є одній з основних характеристик NGN.

- Надання як існуючих, так і нових служб, незалежно від типа використовуваної мережі і доступу.
- Функціональні елементи політики управління, сеансів, медіа, ресурсів, доставки служб, безпеці і так далі мають бути розподілені по інфраструктурі, включаючи як існуючі, так і нові мережі.
- Здійснення міжмережевої взаємодії (interworking) між NGN і існуючими мережами, такими як ТФОП, ЦСИС, СПС за допомогою шлюзів.
- Підтримка тих, що існують і «призначених для роботи на NGN» крайових пристроїв.
- Вирішення проблем міграції мовних служб в інфраструктуру NGN, якості обслуговування (QoS), безпеки.
- Узагальнена рухливість, яка дозволить забезпечити сумісне надання послуг користувачам, тобто користувач розглядується як єдина особа при використанні ним різних технологій доступу, незалежно від того, які пристрої він має в своєму розпорядженні.

Переваги NGN:

- Надання сучасних високошвидкісних сервісів.
- Масштабованість.
- Сумісність з міжнародними стандартами, доступ по загальноприйнятим інтерфейсам (таким, як Ethernet), підтримка традиційних мережевих технологій (ATM, FR і ін.).
- Мультипротокольна підтримка (прозорість і гнучкість).
- Управління трафіком (Traffic Engineering).
- Резервування смуги пропускання.
- Класифікація видів трафіку.
- Управління якістю обслуговування (QOS).
- Досконалі механізми захисту (наприклад, MPLS Fast Reroute).

Ця концепція передбачає створення нової мультисервісної мережі, при цьому з нею здійснюється інтеграція існуючих служб шляхом використання розподіленої програмної комутації (softswitches). Основним пристроєм для голосових послуг в мережах NGN є Softswitch — так називається програмний комутатор, який керує VoIP сесіями. Також важливою функцією програмного комутатора є зв'язок мереж наступного покоління NGN з існуючими традиційними мережами ТФОП за рахунок сигнального(SG) і медіа-шлюзів(MG), які можуть бути виконані в одному пристрої.

Next Generation Network вимагає відмовитися від принципу комутації каналів, так як було доведено, що найзручнішим є принцип комутації пакетів (кадрів, фреймів і т. д.). Отже, NGN пропонує новий принцип побудови систем зв’язку.

Поділ системи зв’язку, в даний час проводиться по принципу «користувач – мережа». В результаті цього з’являються два поняття транспортної мережі та мережі доступу (рис.1.1).

Транспортна мережа NGN – це поєднання мережевих елементів, що забезпечують передачу трафіку. В той час, як мережа доступу є поєднанням мережевих елементів, що забезпечують доступ абонентів до транспортної

мережі з метою отримання послуг. Найбільш розповсюдженні технології транспортних мереж: SHD (а чіткіше NGSHD), ATM, MPLS/IP, Frame relay, DWDM (WDM), магістральний Ethernet.

Технології доступу є більш чисельними, адже включають в себе і традиційні абонентські технології. А саме: PDH, ISDN, абонентський Ethernet, IP, xDSL та VDSL, FTTx/PON, Wi-Fi, WiMAX, WLL, HPNA, CATV, HDTV, Fiber Channel.

Рисунок 1.1 – Транспортні мережі та мережі доступу

В основу концепції NGN закладена ідея про створення універсальної мережі, яка б дозволяла переносити будь-які види інформації, такі як: мова, відео, аудіо, графіку і так далі, а також забезпечувати можливість надання необмеженого спектру інфокомунікаційних послуг. Базовим принципом концепції NGN є відділення один від одного функцій перенесення і комутації, функцій управління викликом і функцій управління послугами.

Мережа NGN може бути поділена на чотири рівні:

- рівень доступу A (Access), забезпечує доступ користувачів до ресурсів мережі;
- рівень транспорту T (Transport) є основним ресурсом мережі, забезпечує передачу інформації від користувача, до користувача.;
- рівень C (Control) являється новою концепцією комутації, що базується на використанні технології комп'ютерної телефонії Softswitch. Завданням рівня управління комутацією і передачею є обробка інформації сигналізації, маршрутизація викликів і управління потоками;
- рівень S (Service) визначає зміст інформаційного наповнення мережі.

Рівень управління послугами містить функції управління логікою послуг і додатків і є розподіленою обчислювальною середою, що забезпечує наступні потреби:

- надання інфокомунікаційних послуг;
- управління послугами;
- створення і впровадження нових послуг;
- взаємодія різних послуг.

Головним завданням на рівні доступу є організація широкосмугового доступу для абонентів та підключення їх до транспортного ресурсу NGN. Для вирішення цієї задачі можна використовувати різні технології, що є конкурентами. Одним із варіантів рішення може бути використання розгалуження локальної мережі Ethernet та підключення в ній користувачів на кожному поверсі. Це рішення зв'язане з витратами на прокладення кабелю в середині приміщення.

Як альтернатива існує також і інше рішення, а саме використання існуючих телефонних пар та технології ADSL 2+. В такому випадку телефонна пара перемикається з АТС на станційний пристрій доступу ADSL 2+ (DSLAM).

Ще одним варіантом може бути технологія Wi-Fi. Оператор мережі доступу може розвернути на поверх приміщення хот-стопи системи Wi-Fi

об’єднуючи їх в одну мережу та підключивши їх через комутатор Ethernet до транспортної мережі.

Завданням транспортного рівня є комутація і прозора передача інформації користувача.

Також одною з вимог до транспортних мереж є можливість передачі різнорідного трафіку. Цю вимогу мають задовольняти не тільки нові, але й традиційні технології транспортних мереж, наприклад NGSDH (рис. 1.2). Для передачі різнорідних даних NGSDH має сформувати фіксованої чи змінної пропускної спроможності. На фізичному рівні може бути волоконно-оптична лінія зв’язку (ВОЛЗ), або волоконно-оптична лінія зв’язку з технологією мультиплексування по довжині хвилі (DWDM). З систем передачі тут можуть бути використані традиційні системи SDH та оптичні системи передачі OTN.

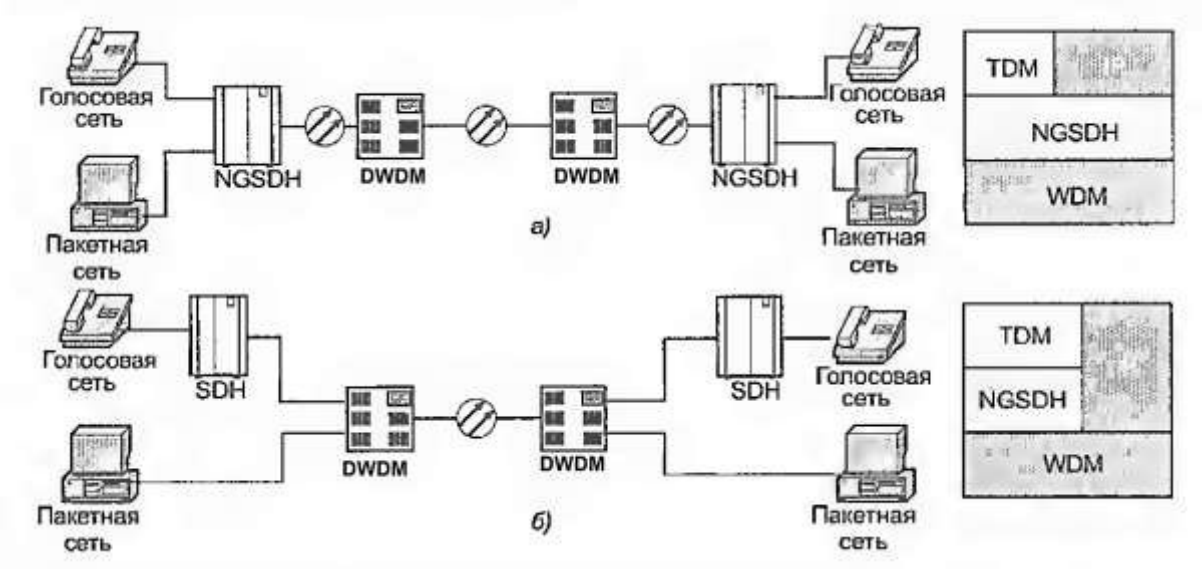

Рисунок 1.2 – Варіанти поєднання пакетного та мовного трафіків в транспортній мережі з системою DWDM: а) - інтеграція мереж на рівні NGSDH; б) – інтеграція мереж на ріні DWDM

Окрім рівня транспортних мереж и рівня мереж доступу в моделі NGN приєднано ще два рівні.

Рівень управління, або рівень комутації. Цінність цього рівня настільки важлива для концепції NGN, що часто під мережами NGN розуміють

виключно технології Softswitch та IMS (IMS - англ. IP Multimedia Subsystem) мультимедійна підсистема на базі протоколу IP).

Устаткування Softswitch взаємодіє з багатьма компонентами в телекомунікаційній системі. У верхній частині на рисунку (рис. 1.3) показані такі функціональні блоки: система тарифікації, платформа послуг і додатків, а також мережа загальноканальної сигналізації (ЗКС). Можливий вихід через мережу ЗКС на вузол управління послугами (Services Control Point – SCP), що входить до складу інтелектуальної мережі, це дозволяє доповнити послуги і додатки, доступні абонентам безпосередньо через Softswitch, інтелектуальними послугам.

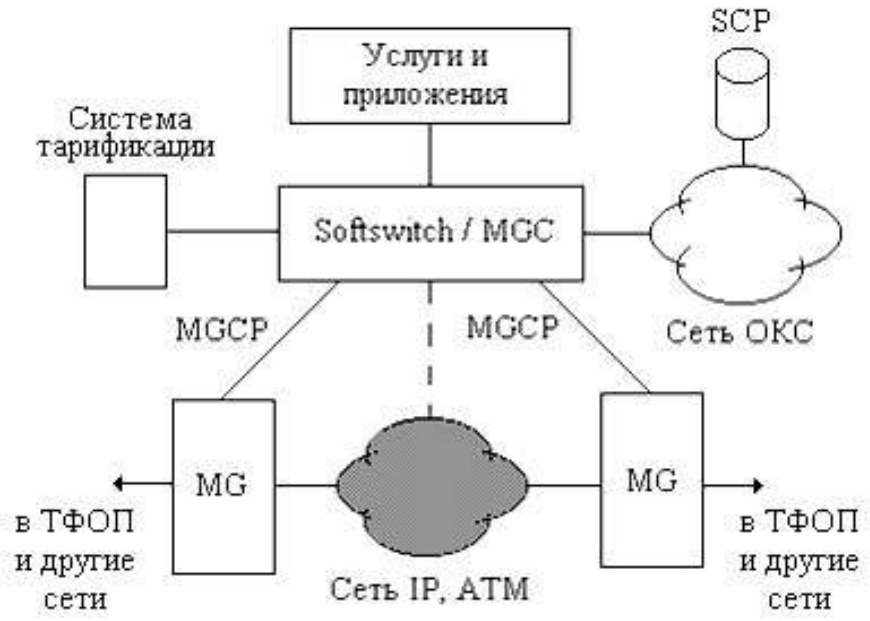

Рисунок 1.3 – Устаткування Softswitch

Пунктирною лінією на рис. 4.3 показаний зв'язок Softswitch з пакетною мережею, яка, як правило, базується на технологіях IP і ATM. Пакетна мережа обробляє основну частину трафіку телекомунікаційної системи. Перехід до мережі з комутацією пакетів доцільно здійснювати шляхом поступової еволюції телекомунікаційної системи.

Рівень послуг виник в результаті глибокого проникнення в сферу телекомунікацій сучасних маркетингових ідей. Раніше, традиційні мережі не давали широкого доступу до надання різноманітних послуг. NGN навпаки

розвивається в напрямку розширення спектру послуг. Більшу частину діяльності операторів зв’язку займає маркетинг послуг, який включає в себе концепцію формування нових послуг, реалізацію нових концепцій, продажу послуг. Все перелічене надало послугам особливого значення, і це вимагало виділити їх до окремого рівня моделі NGN.

Рівень управління послугами дозволяє реалізувати специфіку послуг, і застосовувати одну і ту ж програму логіки послуги незалежно від типа транспортної мережі (IP, ATM, FR і тому подібне) і способу доступу. Наявність цього рівня дозволяє також вводити на мережі будь-які нові послуги без втручання у функціонування інших рівнів. Даний рівень може включати безліч незалежних підсистем ("мереж послуг"), що базуються на різних технологіях, що мають своїх абонентів і що використовують свої внутрішні системи адресації.

1.2 Концепція мультисервісних мереж

Сутність мережі нового покоління полягає у переході від багатоплатформності до простої та ефективної мережі, розробленої спеціально для того, щоб надавати всі види послуг. З погляду технології перехід від традиційної мережі до мережі нового покоління є переходом від окремого існування мережі з комутацією каналів і мережі з комутацією пакетів до мультисервісних мереж, що здібні функціонувати як в першому, так і в другому режимах комутації. У результаті можна одержати мережі, що пристосовані до всіх видів послуг. Цими мережами буде набагато легше керувати, і водночас контроль за якістю послуг великою мірою перейде до самих клієнтів.

Розглянемо властивості мультисервісної мережі, її структуру і архітектуру керування. Дамо характеристику основним термінам.

Мережа зв'язку наступного покоління (NGN) - концепція побудови мереж зв'язку, що забезпечують надання необмеженого набору послуг з

гнучкими можливостями по їх управлінню і створенню нових послуг за рахунок уніфікації мережевих рішень, яка припускає реалізацію універсальної транспортної мережі з розподіленою комутацією, винесення функцій надання послуг у кінцеві мережеві вузли і інтеграцію з традиційними мережами зв'язку.

Мультисервісна мережа - мережа зв'язку, яка побудована відповідно з концепцією мережі зв'язку наступного покоління, що забезпечує надання необмеженого набору послуг.

Мультипротокольна мережа – транспортна мережа зв'язку, що входить до складу мультисервісної мережі та забезпечує перенесення різних видів інформації з використанням різних протоколів передачі.

Мережа доступу (Access Network – AN) – мережа зв'язку, що забезпечує підключення термінальних пристроїв користувача до кінцевого вузла мультипротокольної мережі.

На сьогоднішній день розвиток інфокомунікаційних послуг здійснюється, в основному, в рамках комп'ютерної мережі Інтернет, доступ до послуг якої виконується через традиційні мережі зв'язку. Проте у ряді випадків послуги Інтернет, зважаючи на обмежені можливості її транспортної інфраструктури не відповідають сучасним вимогам, що пред'являються до послуг інформаційного суспільства. У зв'язку з цим розвиток інфокомунікаційних послуг вимагає рішення задач ефективного управлінні інформаційними ресурсами з одночасним розширенням функціональності мереж зв'язку. У свою чергу, це стимулює процес інтеграції Інтернет і мереж зв'язку.

До основних технологічних особливостей, що відрізняють інфокомунікаційні послуги від послуг традиційних мереж зв'язку, можна віднести наступні:

- інфокомунікаційні послуги виявляються на верхніх рівнях моделі OSI, тоді як послуги зв'язку надаються на третьому, мережевому рівні;

- більшість інфокомунікаційних послуг припускає наявність клієнтської та серверної частин; клієнтська частина реалізується в устаткуванні користувача, а серверна – на спеціальному виділеному вузлі мережі, що називається вузлом служб;

- інфокомунікаційні послуги, як правило, припускають передачу мультимедійної інформації, яка характеризується високими швидкостями передачі і несиметричністю вхідного і вихідного інформаційних потоків;

- для надання інфокомунікаційних послуг часто необхідні складні багатоточкові конфігурації з'єднань;

- для інфокомунікаційних послуг характерна різноманітність прикладних протоколів і можливостей по керуванню послугами з боку користувача;

- для ідентифікації абонентів інфокомунікаційних послуг може використовуватися додаткова адресація в рамках даної інфокомунікаційної послуги.

Більшість інфокомунікаційних послуг є «додатками», тобто їхня функціональність розподілена між устаткуванням постачальника послуги і кінцевим устаткуванням користувача. Як наслідок, функції кінцевого устаткування також повинні бути віднесені до складу інфокомунікаційної послуги, що необхідно враховувати при їх регламентації.

До інфокомунікаційних послуг пред'являються наступні вимоги:

- мобільність послуг;

- можливість гнучкого і швидкого створення нових послуг;

- гарантована якість послуг.

Великий вплив на вимоги до інфокомунікаційних послуг надає процес конвергенції, що призводить до того, що інфокомунікаційні послуги стають доступними користувачам незалежно від способів доступу.

Беручи до уваги розглянуті особливості інфокомунікаційних послуг, можуть бути визначені наступні вимоги до перспективних мереж зв'язку:

- «мультісервісність», під якою розуміється незалежність технологій надання послуг від транспортних технологій;

- «широкосмуговість», під якою розуміється можливість гнучкої і динамічної зміни швидкості передачі інформації в широкому діапазоні у залежності від поточних потреб користувача;

- «мультімедійність», під якою розуміється здатність мережі передавати багатокомпонентну інформацію (мова, дані відео, аудіо) з необхідною синхронізацією цих компонент у реальному часі та використовуванням складних конфігурацій з'єднань;

- «інтелектуальність», під якою розуміється можливість керування послугою, викликом і з'єднанням з боку користувача або постачальника послуг;

- «інваріантність доступу», під якою розуміється можливість організації доступу до послуг незалежно від використовуваної технології;

- «, під якою розуміється можливість участі декількох операторів в процесі надання послуги та розділення їхньої відповідальності відповідно до області діяльності.

Існуючі мережі зв'язку» загального користування з комутацією каналів і комутацією пакетів у даний час не відповідають перерахованим вище вимогам. Обмежені можливості традиційних мереж є стримуючим чинником на шляху впровадження нових інфокомунікаційних послуг. Нарощування об'ємів надаються інфокомунікаційних послуг може негативно позначитися на показниках якості обслуговування викликів базових послуг існуючих мереж зв'язку. Все це вимушує враховувати наявність інфокомунікаційних послуг при плануванні способів розвитку традиційних мереж зв'язку в напрямі створення мультисервісних мереж.

NGN характеризується такими фундаментальними аспектами [1]:

- пакетна передача;
- розділення функцій постачальника послуг та оператора телекомунікацій;

- підтримка широкого спектру послуг, прикладень і технологій: зв’язок у реальному часі, потокова передача, зв’язок не у реальному часі, мультимедіа-послуги;
- широкосмуговий зв’язок з потрібною наскрізною якістю і прозорими з’єднаннями;
- взаємодія з існуючими мережами через відкриті інтерфейси;
- рухливість абонента;
- необмежений доступ користувача до послуг різних провайдерів;
- єдині характеристики для однієї і тієї ж послуги, що надається різними провайдерами;
- конвергенція фіксованого і рухомого зв’язку.

Базовим принципом концепції NGN є відділення друг від друга функцій перенесення і комутації, функцій керування викликом і функцій керування послугами.

Функціональна модель мереж NGN, що представлена на рис. 1.4, має три рівня:

- транспортний рівень;
- рівень керування комутацією і передачею інформації;
- рівень керування послугами.

Задачею транспортного рівня є комутація і прозора передача інформації користувача. Задачею рівня керування комутацією і передачею є обробка інформації сигналізації, маршрутизація викликів і керування потоками. Рівень керування послугами має функції керування логікою послуг і додатків і є розподіленим обчислювальним середовищем.

Рисунок 1.4 – Функціональна модель мереж NGN

Він забезпечує:

- надання інфокомунікаційних послуг;

- керування послугами;

- створення і впровадження нових послуг;

- взаємодію різних послуг.

Даний рівень дозволяє реалізувати специфіку послуг і застосовувати одну і ту ж програму логіки послуги незалежно від типу транспортної мережі (IP, ATM, FR і т. ін.) і способу доступу. Наявність цього рівня дозволяє також додавати до мережі будь-які нові послуги без втручання у функціонування інших рівнів. Рівень керування послугами може включати множину незалежних підсистем («мереж послуг»), що базуються на різних технологіях, що мають своїх абонентів і використовують свої, внутрішні системи адресації.

Розглянемо архітектуру мережі зв'язку, що побудована відповідно з концепцією NGN [1]. Основу мережі NGN складає універсальна транспортна мережа, яка реалізує функції транспортного рівня і рівня керування комутацією і передачею.

До складу транспортної мережі NGN можуть входити:

- транзитні вузли, що виконують функції перенесення і комутації;

- кінцеві вузли, що забезпечують доступ абонентів до мультисервісної мережі;

- контролери сигналізації, які виконують функції обробки інформації сигналізації, керування викликами і з'єднаннями;

- шлюзи, що дозволяють здійснити підключення традиційних мереж зв'язку.

Контролери сигналізації можуть бути винесені в окремі пристрої, що призначені для обслуговування декількох вузлів комутації. Використовування загальних контролерів дозволяє розглядати їх як єдину систему комутації, розподілену по мережі. Таке рішення не тільки спрощує алгоритми встановлення з'єднань, але і є найбільш економічним для операторів і постачальників послуг, так як дозволяє замінити дорогі системи комутації великого об’єму невеликими, гнучкими і доступними за вартістю системами.

Призначенням транспортної мережі є надання послуг перенесення. Реалізація інфокомунікаційних послуг здійснюється на базі вузлів служб (SN) і/або вузлів керування послугами (SCP).

Вузли SN є устаткуванням постачальників послуг і може розглядатися як сервер додатків для інфокомунікаційних послуг, клієнтська частина яких реалізується кінцевим устаткуванням користувача. Вузли SCP виконують функції керування логікою і атрибутами послуг. Сукупність декількох вузлів служб або вузлів керування послугами, які призначені для надання однієї і тієї ж послуги, створюють платформу керування послугами. До складу платформи також можуть входити вузли адміністративного керування послугами і сервери різних додатків. Кінцеві вузли транспортної мережі можуть виконувати функції вузлів служб, тобто склад функцій граничних вузлів може бути розширений за рахунок додавання функцій надання послуг. Для побудови таких вузлів може використовуватися технологія гнучкої комутації (Softswitch).

Побудова мультисервісних мереж повинна відповідати дворівневій архітектурі, що складається з регіонального і магістрального рівнів. Це створить умови для повсюдного впровадження інфокомунікаційних послуг і

рішення задач забезпечення структурної надійності та нормування показників якості послуг. На регіональному рівні мультисервісна мережа повинна забезпечувати підключення абонентів і надання транспортних та інфокомунікаційних послуг, а також забезпечувати можливість взаємодії з аналогічними послугами інших регіональних мереж. На магістральному рівні мультисервісна мережа повинна забезпечувати надання послуг перенесення для взаємодії мультисервісних регіональних мереж, а також для передачі навантаження всіх існуючих мереж. Під мережею доступу розуміється системно-мережева структура, яка складається з абонентних ліній, вузлів доступу і систем передачі, що призначена для організації підключення користувачів до ресурсів регіональних мереж.

Для доступу абонентів до послуг NGN використовуються:

- інтегровані мережі доступу, підключені до кінцевих вузлів мультисервісної мережі, що забезпечують підключення користувачів як до цієї мережі, так і до традиційних мереж;

- традиційні мережі, абоненти яких отримають доступ до мультисервісної мережі через вузли, які підключені до шлюзів (Media Gateway).

Особливостями NGN, з погляду керування, є те, що ці мережі складатимуться з більш великої кількості різнотипних компонентів чим зараз. Крім того, в NGN буде підтримуватися більше число інтерфейсів, ніж в існуючих мережах і вища пропускна спроможність.

Архітектура управління мережі NGN показана на рис. 1.5.

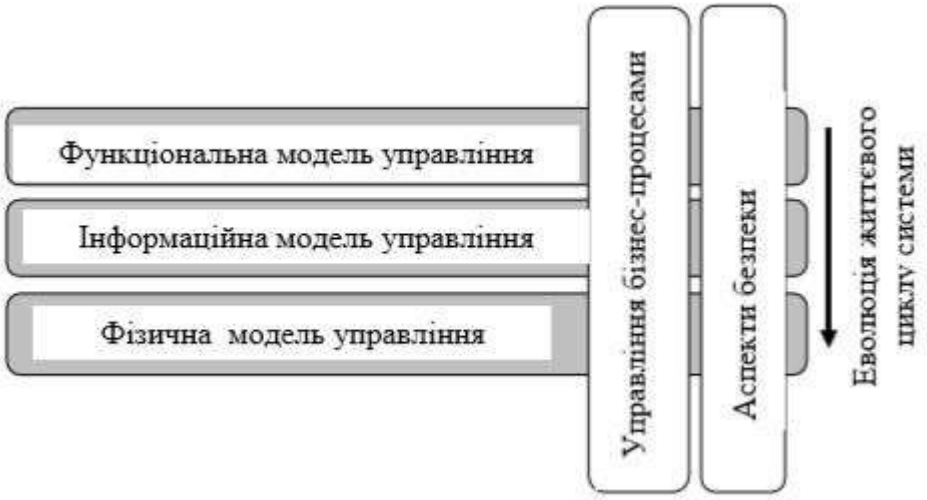

Рисунок 1.5 – Архітектура управління мережі NGN

Вона визначає вимоги до моделі системи управління. Архітектура управління NGN згідно з Рекомендацією ITU-T M.3060/Y.2401 (03/06) може бути спроектована на чотири моделі:

- Представлення моделі управління бізнес - процесами;
- Представлення функціональної моделі управління;
- Представлення інформаційної моделі управління;
- Представлення фізичної моделі управління.

У кожній з моделей враховуються аспекти безпеки, як самої NGN так і інфраструктури системи управління.

Під час проектування системи управління першою визначається функціональна модель, потім інформаційна, і, нарешті, фізична. Бізнес-процес - це чинник, що впливає впродовж всього життєвого циклу системи. Цей процес є ітеративним, щоб забезпечити розвиток всіх аспектів архітектури в часі.

Функціональна модель визначає перелік функцій, які повинні виконуватися в ході процесу управління.

Інформаційна модель описує інформацію управління, необхідну для зв’язку між об’єктами управління при виконанні функцій згідно з функціональною моделлю архітектури управління.

Фізична модель описує різні способи реалізації функцій управління. Вони можуть бути втілені в різних фізичних конфігураціях, що використовують різні протоколи управління.

Одним з основоположних принципів, які є основою архітектури управління для NGN, є принцип орієнтованості архітектури управління на послуги (SOA- Service-Oriented Architecture).

Сервіс-орієнтовна архітектура - це компонентна модель, яка зв'язує різні сервіси за допомогою чітко визначених інтерфейсів та угод між ними. Інтерфейси визначаються незалежним способом, і не залежать від апаратної платформи, операційної системи або мови програмування, на якому реалізований сервіс. Такий підхід дозволяє створювати послуги на різних системах, які взаємодіють одна з одною одноманітним і стандартним чином. SOA надає гнучкий метод комбінування і багаторазового використання компонентів для побудови складних розподілених програмних комплексів.

Головні переваги SOA: швидша адаптація до вимог бізнесу, що змінюються, скорочення витрат на інтеграцію нових послуг, а також підтримку тих, що існують. Основні особливості SOA:

- наявність незалежного інтерфейсу між послугами, не пов'язаного жорстко з конкретною реалізацією.
- будь-яка дана послуга може приймати роль клієнта або сервера стосовно відношення до іншої послуги залежно від ситуації;
- парадигма «знайти - пов'язати - виконати» для зв'язку між послугами. Споживач послуг запрошує системний реєстр, що зберігає список доступних послуг, які відповідають його критеріям. Як тільки така послуга знайдена, замовник підключається до послуги, що надається SOA;
- інкапсульований життєвий цикл об'єктів, що беруть участь в транзакціях бізнесу.

SOA передбачає три основні ролі: постачальник послуги (service provider), споживач послуги (service consumer), який потребує певних функцій, що надаються послугою; системний реєстр послуг (registry),

виступає як посередник, надаючи каталог з інформацією про всілякі послуги, що пропонуються різними постачальниками послуг. Реєстр містить вичерпну інформацію стосовно всіх послугах, яку зобов'язаний зареєструвати (опублікувати) в ньому провайдер відповідної послуги. Споживач сервісу відправляє необхідний запит до реєстру, який забезпечує з'єднання його з провайдером.

Архітектура SOA, підтримує зміни в моделі ведення бізнесу і будується так, щоб ізолювати вплив модифікації одного компоненту на решту частини середовища. Рішення на базі сервіс-орієнтовної архітектури дозволяють використовувати переваги розподілених послуг і забезпечують взаємодію бізнес-процесів, дозволяючи оптимізувати процес управління мережею. Архітектура SOA представлена на рис. 1.6. Елементи, які розташовані в самому низу, являють собою додатки, пов'язані з ними сховища даних, операційну систему. Розташований на самому верху рівень клієнтського інтерфейсу містить різноманітні механізми обміну інформацією з користувачами або зовнішніми додатками.

Важливою складовою архітектури SOA є середовище розподілених повідомлень запитів/відповідей, що розташовано між клієнтською і серверною частинами сервісної служби. Як показано на рис. 1.7, клієнт генерує повідомлення-запити до серверу. Сервер знаходиться у постійному очікуванні запитів, коли запит отримано, починається його обробка. Після неї сервер генерує повідомлення-відповідь до клієнта. Таким чином у середовищі підтримується трафік повідомлень між клієнтом і сервером. Мультисервісні мережі, використовуючи єдину транспортну інфраструктуру, можуть передавати трафік різного роду: голосовий трафік, сигналізацію, трафік даних, мультимедіа-трафік.

Рисунок 1.6 – Архітектура SOA

Рисунок 1.7 – Сервісна служба

Мережу передачі трафіку складає набір обчислювальних пристроїв фізично і логічно зв'язаних між собою. Фізична інфраструктура мережі призначена для розповсюдження фізичних сигналів, яки кодують інформаційні повідомлення. Найважливішим компонентом мережі, що становить її логічну частину, є комунікаційні протоколи. Під їхнім керуванням здійснюється робота сервісних служб.

Архітектура мережі має складну ієрархічну структуру з декількох рівнів (шарів). Метою кожного з рівнів є надання певних типів сервісів рівням розташованим вище за них і захист верхніх рівнів від деталей

реалізації цих сервісів. Рівень N на одному пристрої за логікою знаходиться в стані обміну з рівнем N на іншому мережевому пристрої. Набір законів і угод, прийнятих при такому обміні називається протоколом рівня N. У реальності ніякого обміну даними не відбувається між шарами на одному рівні. Натомість кожен рівень передає дані і контрольну інформацію на рівень, що знаходиться прямо під ним, доки не буде досягнутий нижчий рівень, який помістить інформацію безпосередньо на фізичний носій для передачі її по мережі. Між кожною парою суміжних шарів знаходиться сервісний інтерфейс. Кожний з N рівнів однієї системи здійснює обмін з рівнем N кінцевої системи, використовуючи для цього сервіси рівня N-1, при цьому кожний з проміжних рівнів несе дані верхнього рівня усередині свого формату повідомлень. Таким чином, на кожному рівні N процедура, відправляючи або одержуючи дані від рівню N іншої системи, насправді відправляє інформацію для обробки на рівень N-1 своєї системи, забезпечивши дані своєю контрольною інформацією.

Створення мультисервісних мереж здійснюється на базі різноманітних технологій, як на платформі IP (IP VPN), так і на базі виділених каналів зв'язку. На магістральному рівні найбільш відомі технології IP/MPLS, Packet over SONET/SDH, POS, ATM, xGE, DWDM, CWDM, RPR.

Велика частина магістральних мультисервісних мереж будується на основі технологій POS, DWDM, які отримали значне розповсюдження, а також IP/MPLS, які є особливо перспективними при значній широті обхвату і великій кількості споживачів. Агрегація на рівні міста виконується на базі Gigabit Ethernet, ATM, CWDM, IP/MPLS.

Як технологій агрегації доступу і послуг може використовуватися набір підходів, що визначаються вартістю підключення, необхідною пропускною спроможністю каналів і забезпеченням необхідної якості обслуговування, а також вже існуючою інфраструктурою, поверх якої створюється мультисервісна мережа. Це, наприклад, Fast/Gigabit Ethernet, ISDN, xDSL, мережі кабельного телебачення, оптичні абонентні мережі, безпровідні

мережі Wi-Fi і WiMAX. Технологія xDSL для організації високошвидкісного доступу дозволяє використовувати вже наявну телефонну мережу.

Мультисервісні мережі наступного покоління мають переваги над мережами традиційної архітектури, оскільки можуть використати єдину транспортну інфраструктуру для передачі всіх типів трафіку і ефективно її використовувати завдяки статистичному мультиплексуванню. Інтеграція трафіку різнорідних даних і мови дозволяє добитися якісного підвищення ефективності інформаційної підтримки управління підприємством, при цьому використовування інтегрованого транспортного середовища дозволяє понизити витрати на створення і експлуатацію мережі. Мультисервісна мережа використовує єдиний канал для передачі даних різних типів, дозволяє зменшити різноманітність типів устаткування, застосовувати єдині стандарти, технології і централізований управляти комунікаційним середовищем.

При великому числі користувачів в мережі потрібна складна і інтелектуальна система управління. Якщо одночасно передається безліч різних видів трафіку, причому для кожного з них потрібне безумовне дотримання параметрів якості обслуговування, потрібне використовування спеціалізованих засобів, що не допускають перевантаження мережі та порушення необхідної якості. Базовими поняттям мультисервісної мережі є QoS (Quality Service) і SLA (Service Level Agreement), тобто якість обслуговування і угода про рівень якості надання послуг мережі. Перехід до нових мультисервісної мережі змінює саму концепцію надання послуг, коли якість гарантується не тільки на рівні договірних угод з постачальником послуг і вимог дотримання стандартів, але і на рівні технологій і операторських мереж. Мережа повинна самостійно усувати перевантаження, автоматично вирішуючи, чим можна пожертвувати в різних випадках - смугою пропускання, часом доставки або цілісністю інформації.

До систем управління NGN пред'являються наступні вимоги. Необхідність розподілу функцій управління в декількох мережних

пристроях: пристрої управління викликами і сеансами зв'язку, пристрої мережі, що відповідає за перенесення інформації. Застосування відкритих інтерфейсів управління, що дозволяють управляти різнотипним обладнанням, яке входить до складу NGN, зокрема, використання стандартизованих протоколів управління, а також формальних мов для опису інтерфейсів.

Структура систем управління NGN повинна забезпечувати гнучкість реалізації та сумісність з іншими рішеннями, високу надійність, та як результат - якість обслуговування.

Поле потенційних користувачів мультисервісних мереж дуже широке. Це бізнес-центри та фірми, розташовані в одній будівлі, крупні холдинги, що мають територіально-видалені філіали, компанії, що використовують видалені автоматичні термінали, компанії мобільного зв'язку, комутаційні центри і базові станції яких можуть підключатися до єдиної мультисервісної мережі.

Конвергенція комп'ютерних мереж, що веде до появи мультисервісних мереж, поява нових властивостей мережного трафіку, необхідність забезпечення високої якості обслуговування різних категорій додатків, роблять необхідним розробку нових методів керування трафіком мультисервісних мереж.

1.3 Загальні відомості про технологію DWDM

Класичні засоби телекомунікації (телеграф, телефон) дозволяють передавати по одному оптичному волокну лише один сигнал. Це не рентабельно.

Суть нової технології DWDM (Dense Wavelength Division Multiplexing, оптичне ущільнення, мультиплексування) полягає в тому, що можна організувати безліч роздільних сигналів по одному і тому ж оптичнному

волокну, що дозволяє багаторазово збільшити пропускну здатність вже існуючих і новостворюваних ліній зв'язку.

Теоретичні основи технології DWDM були закладені досить давно – в 1958 році, коли ще й не було оптоволоконного зв'язку. Але треба було майже 20-25 років до практичної реалізації елементів мультиплексних систем в системах телекомунікацій. Вдалося в одному оптичному волокні створити 10 каналів, кожен з яких був пропускної здатності по 2 Гбіт / с.

Схема технології DWDM досить проста і «наочна»: оптичні канали сигнали «забарвлюють» (змінюють довжину хвилі кожного сигналу), потім «забарвлені» сигнали перемішуються мультиплексором і передаються в лінію, а в кінцевому пункті (збору) сигнали виділяються з усієї групи «за кольором» і передаються абоненту відповідно до кольора.

Технологія DWDM дозволяє отримати масштабне і рентабельне розширення смуги пропускання каналів в 100 і більше разів.

Ця технологія дозволяє:

• збільшити в сотні разів число клієнтів телеграфно-телефонних компаній, включаючи і мобільний зв'язок, а щомісячний трафік таких мереж - до петабайт;

• створити стабільну платформу для реалізації комунікаційних послуг, особливо, для нових систем організації мобільного зв'язку;

• передавати трафік широкого класу рішень - від IP до SDH та інших;

• реалізувати можливості масштабування мережі, що дозволить не дуже-то і піклуватися про «завтрашньому дні» - при збільшенні числа клієнтів, що особливо актуально для мобільного зв'язку;

• управляти гнучко низько швидкісними периферійними каналами і високошвидкісними гігабітними потоками основних магістралей;

• збільшити пропускну здатність основних каналів з 2,5 Гбіт / с до 50 Гбіт / с;

• нарощувати канали без переривання в роботі мережі.

Нові послуги можуть використовувати ефективно комерційні організації (корпоративна робота), державні установи (відео- та телефонні конференції, документообіг), наукові організації (інтеграція наукових і освітніх систем).

Для тих, кому недостатньо пропускної здатності CWDM систем (180Гбіт/с – крайній максимум), існує два варіанти технічної реалізації: нарощувати кількість волокон (що зазвичай пов'язано з прокладанням додаткових волокон) або використовувати більш «просунуту» технологію ущільнення – DWDM.

DWDM (англ. Dense Wavelength Division Multiplexing – щільне хвильове мультиплексування) – технологія ущільнення інформаційних потоків, при якій кожен первинний інформаційний потік переноситься за допомогою світлових пучків на різних довжинах хвиль, а в оптичної лінії зв'язку знаходиться сумарний груповий сигнал, сформований мультиплексором з декількох інформаційних потоків .

DWDM – система ущільнення, яка фізично складається з пристроїв, що генерують інформаційний потік (медиаконвертери, маршрутизатори, тощо) трансиверів (приймально-передавачів, що створюють інформаційний потік на різних довжинах хвиль), мультиплексорів (пристроїв, що створюють/розділяють груповий світловий сигнал) і оптичного хвилеводу (оптоволоконний кабель). Крім того, до складу DWDM входить група компонент, призначених для підсилення/відновлення групового світлового сигналу.

Каналом будемо називати інформаційний потік в одну сторону (одна сторона «говорить» інформаційний потік, інша цей самий потік «слухає»). Канал розташовується на єдиній для нього несучій, що має конкретно визначену довжину хвилі (або частоту). Для створення однієї повноцінної лінії зв'язку необхідно використовувати два фізичних канали, і цю зв'язку будемо називати «повноцінний двобічний канал».

Отже, DWDM і CWDM займаються одним і тим же процесом – ущільненням. У чому ж відмінність? А відмінність в частотної сітці (або в довжинах хвиль несучих) несучих первинних інформаційних потоків (каналів). І в діапазонах роботи самого групового сигналу.

У стандартних CWDM системах відстань між двома сусідніми несучими (каналами) становить 1610 - 1590 == 20нм.

На сьогоднішній день CWDM системи працюють в діапазоні 1270нм-1610нм, представляючи в ньому 18 окремих каналів (1270нм, 1290нм, 1310нм ... 1590нм, 1610нм). Але в DWDM все йде трохи по-іншому.

DWDM системи працюють в двох діапазонах, нарізаних для CWDM систем, в саме: діапазон C (C-Band) і діапазон L (L-Band). Діапазон C знаходиться в межах від 1528.77нм (канал C61) до 1577.03нм (канал C01), а діапазон L знаходиться в межах від 1577.86нм (канал L100) до 1622.25нм (канал L48). Хвильова сітка нерівномірна (тобто, відстань між двома сусідніми каналами не завжди однакове - від 0.5нм до 0.8нм). Саме тому в DWDM системах використовується найменування діапазону і нумерація каналу в цьому діапазоні (наприклад, C35 або L91). Наочно все звичайні канали DWDM системи представлені на рис. 1.8.

Тут відразу слід зробити кілька застережень.

По-перше діапазон З умовно розділений на два «колірних діапазону» - синій (1528нм-1543нм) і червоний (1547нм-1564нм).

По-друге, L-діапазон тільки починає використовуватися, і не всі виробники можуть дозволити собі зробити обладнання для L-діапазону.

Відомо, що по довжинах хвиль розрізняти DWDM канали незручно. А ось по частотах – зручно. Видно, що різниця між двома сусідніми каналами завжди дорівнює 100ГГц. І, якщо розглядати діапазон C (на даний момент освоєний більшістю виробників DWDM систем), то можна вивести сумарну кількість каналів в ньому – 61 канал. Слід додати, що, як і в CWDM системах, кожен канал – це інформаційний потік в одну сторону, а значить, для повноцінного обміну даними їх необхідно два (30 повноцінних

дуплексних каналу в діапазоні C і 26 - в діапазоні L, всього - 56 повноцінних дуплексних каналу).

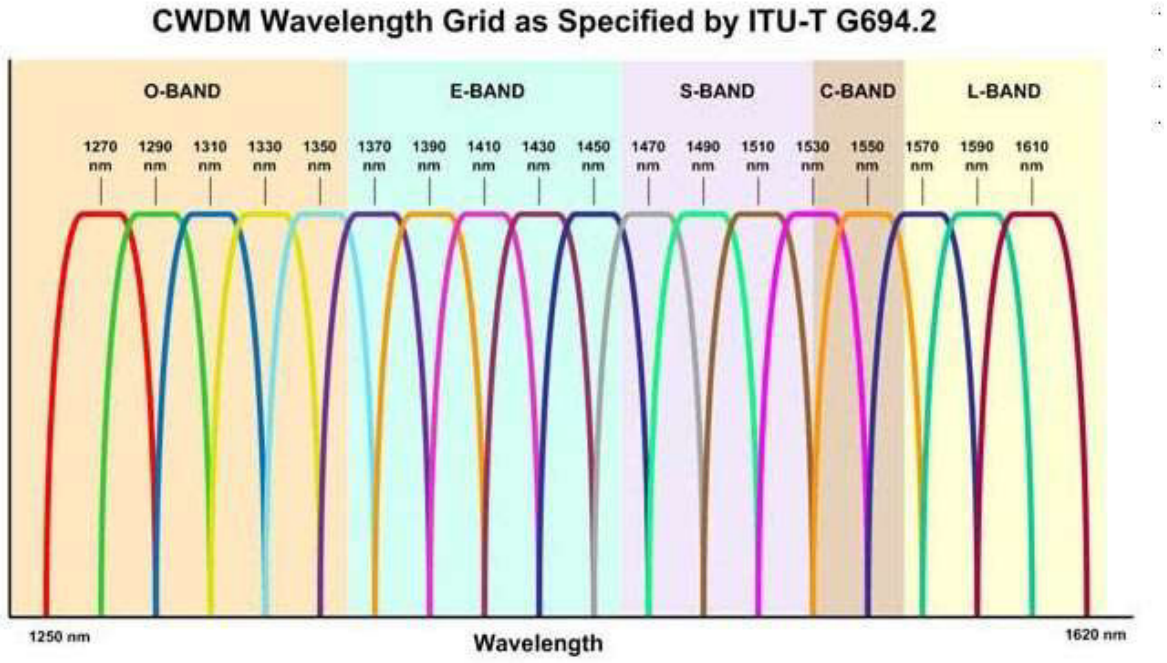

Рисунок 1.8 – C і L діапазони DWDM системи в загальному діапазоні CWDM-систем.

Крім звичайної 100-гігагерцовий сітки використовують 200-гігагерцовий сітку (непарні канали C-діапазону). Це пов'язано з тим, що деяка кількість виробників DWDM обладнання не здатне виробляти мультиплексори для 100-гігагерцовий сітки, тому що комплектуючі для неї досить дорогі і повинні бути більш високої якості щодо 200ГГц систем. В даній схемі ущільнення присутній 31 односпрямований канал зв'язку або 15 повноцінних дуплексних каналів.

Дуже рідко використовуються DWDM системи ущільнення з 50-гігагерцовий сіткою. Це означає, що між двома сусідніми основними каналами звичайної 100-гігагерцовий сітки розташований додатковий підканал. Такі канали називаються Q і H: Q – підканали в діапазоні L (наприклад, Q80 - частота 188050ГГц, довжина хвилі 1594.22нм), H - підканали в діапазоні C (наприклад, H23 - частота 19230ГГц, довжина хвилі

1558.58нм). У таких системах ущільнення в діапазоні С знаходиться 61 основний канал і 61 додатковий, всього – 122 канали. У діапазоні L - 53 основних і 53 підканала, всього - 106 каналів. Сумарна потужність дорівнює 122 + 106 = 228 односпрямованих каналів, або 114 повноцінних дуплексних каналу зв'язку. Це багато. Але дуже і дуже дорого, тому не зустрічаються проекти з повним завантаженням DWDM системи з 50-ГГц сіткою.

1.4 Висновок до першого розділу

- «полегшений варіант» DWDM системи має 200-гігагерцову сітку і здатний забезпечити 15 повноцінних дуплексних каналу в діапазоні С, залишивши при цьому місце ще й для 15 CWDM каналів (1270нм-1510нм, 1590нм, 1610нм);
- стандартна DWDM система має 100-гігагерцовий сітку і здатна забезпечити 30 повноцінних дуплексних канали в діапазоні С і 26 повноцінних дуплексних каналу в діапазоні L, при цьому також залишивши місце ще й для 15 CWDM каналів (1270нм-1510нм, 1590нм, 1610нм);
- повна DWDM система має 50-гігагерцовий сітку і здатна забезпечити 60 повноцінних дуплексних каналу в діапазоні С і 52 повноцінних дуплексних каналу в діапазоні L, знову ж залишивши місце ще й для 15 CWDM каналів (1270нм-1510нм, 1590нм, 1610нм).

1.5 Постановка задачі до другого розділу

Постійне збільшення мультимедійного трафіку у магістральних мультисервісних мережах потребує збільшення пропускної спроможності даної мережі.

Метою кваліфікаційної роботи є збільшення пропускної спроможності мультисервісної мережі на основі технології DWDM за рахунок вдосконалення структурної схеми оптичної абонентської лінії зв’язку.

Для досягнення поставленої мети необхідно розв’язати наступні задачі:

1. Виконати модернізацію існуючих широкосмугових мереж доступу на базі оптичних технологій з використанням технології DWDM;

2. Розрахувати основні параметри хвилеводного спектрального мультиплексора.

2 СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА

Для розробки оптимальних перспективних планів розвитку магістральних мультисервісних мереж на базі волоконно-оптичних технологій необхідно враховувати прогнози розвитку країни та її економіки. Варто сказати, що Україна дещо відстає в області магістральних волоконно-оптичних ліній зв'язку (ВОЛЗ).

Для подальшого розвитку магістральних мультисервісних мереж потрібні великі капіталовкладення. З іншого боку ці витрати не приносять швидкого прибутку.

Найбільш вірогідним рішенням для цього є встановлення систем із спектральним ущільненням типу DWDM.

Необхідність впровадження оптичної технології щільного хвилевого мультиплексування (DWDM – Dense Wave Division Multiplexing) на магістральні мультисервісні мережі обумовлена рядом причин. Головною причиною є постійне зростання мультимедійного трафіку в мультисервісній мережі завдяки популярності послуги мобільного доступу в Інтернет.

Головним недоліком такої лінії зв'язку є широка смуга частот, яку займає одна лінія. Це не дозволяє в даному обмеженому оптичному діапазоні, наприклад, в одному або ж декількох вікнах прозорості оптичного волокна, збільшить кількість оптичних сигналів.

Недостатній рівень пропускної спроможності оптичної лінії можна збільшити за допомогою технології щільного хвилевого мультиплексування DWDM. Для цього достатньо у вже існуючу абонентську оптичну лінію включити деякі компоненти. Сучасні прилади спектрального ущільнення каналів (DWDM) дозволяють ущільнювати сигнали (канали) з інтервалом не менше 0,4 нм, тобто близько 50 ГГц. Та в цьому інтервалі, використовуючи когерентні методи обробки та передачі оптичного сигналу, можна розмістити замість одного більше сотні оптичних цифрових сигналів зі швидкістю передачі 155 Мбіт/с (STM-1).

Використання запропонованого рішення передбачає значну економічну вигоду та ефективне використання вже існуючих ліній зв’язку.

2.1 Структура та характеристики оптичної лінії

Нині існуюча широкосмугова мереж доступу на базі оптичних технологій зв’язку складається з мультиплексора, демультиплексора, модулятора, двох оптичних розгалуджувачів, двох оптичних фільтрів - розгалуджувачів (пристрій спектрального ущільнення каналів), двох пристроїв передачі оптичного сигналу, фотодетектору, підсилювача, фільтру сигналу, вирішуючого пристрою. До складу лінії також додатково включені когерентний оптичний передавач та приймач, лазерний гетеродин, пристрої стабілізації частоти та забезпечення вузької лінії випромінювання лазеру, оптичний підсилювач-розгалуджувач, третій простір (третє вікно прозорості) передачі оптичного сигналу, два оптичних розгалуджувачі (симетричні), несиметричний оптичний розгадуджувач, оптичний модулятор, формувач оптичної несучої частоти, генератор під несучої частоти та змішувач (схема приведена на рис. 2.1).

Дана абонентська лінія зв’язку (рис. 2.1) входить в двохярусну мережу доступу до послуг зв’язку, при цьому мультиплексор 1, оптичний передавач 2, оптичний розгалуджувач 7, демультиплексор 12, оптичний приймач 13, оптичний фільтр – розгалуджувач 14 розміщені в вузлі доступу до послуг зв’язку. Інший оптичний фільтр – розгалуджувач 3 – в проміжному мережевому вузлі. Всі інші блоки – лазерний генератор 5, модулятор 6, оптичний розгалуджувач 9, фільтр сигналу 10, демодулятор 11, фотодетектор 15, підсилювач 16, вирішуючий пристрій 17 – належать до апаратури абонентської установки.

Вузол доступу, проміжний мережевий вузол та абонентська установка з’єднані між собою двома просторами передачі оптичного сигналу 4 та 8. Це оптичний кабель.

Оптичні фільтри – розгалуджувачі (пристрої DWDM) містять оптичні підсилювачі для компенсації втрат потужності при розгалуженні сигналу та втрат в просторі передачі при великій довжині лінії зв’язку.

Головним недоліком такої лінії зв’язку є широка смуга довжини хвилі, яку займає одна лінія. Це не дозволяє в даному обмеженому оптичному діапазоні, наприклад, одного або ж декількох вікон прозорості оптичного волокна, збільшить кількість абонентських установок в мережі доступу через неможливість в рамках технології DWDM збільшити щільність розміщення оптичних сигналів.

Оптичні фільтри – розгалуджувачі (пристрої DWDM) містять оптичні підсилювачі для компенсації втрат потужності при розгалуженні сигналу та втрат в просторі передачі при великій довжині лінії зв’язку.

Для досягнення поставленої цілі – збільшення пропускної спроможності мультисервісної мережі, в існуючу лінію зв’язку включаються когерентний оптичний передавач та приймач, лазерний гетеродин, пристрій стабілізації частоти та забезпечення вузької лінії випромінення лазера, третій та четвертий оптичний розгалуджувач, оптичний підсилювач – розгалуджувач, не симетричний оптичний розгалуджувач, третій простір передачі оптичного сигналу, оптичний модулятор, формувач сигналу несучої частоти, генератор сигналу під несучої частоти, змішувач.

Отже, запропонована вдосконалена оптична абонентська лінія зв’язку (рис.2.2) містить: мультиплексор 1, другий оптичний фільтр – розгалуджувач 3, другий простір передачі оптичного сигналу 4, модулятор 6, перший оптичний розгалуджувач 7, перший простір передачі оптичного сигналу 8, другий оптичний розгалуджувач 9, фільтр сигналу 10, демодулятор 11, демультиплексор 12, перший оптичний фільтр – розгалуджувач 14, фотодетектор 15, підсилювач 16, вирішуючий пристрій 17, когерентний оптичний передавач 18, оптичний змішувач 19, третій простір передачі оптичного сигналу 20, четвертий оптичний розгалуджувач 21, оптичний модулятор 22, лазерний гетеродин 23, оптичний підсилювач – розгалуджувач

24, несиметричний оптичний розгалуджувач 25, формувач сигналу оптичної несучої частоти 26, генератор сигналу під несучої частоти 27, пристрій стабілізації частоти та забезпечення вузької лінії випромінювання лазеру 29, третій оптичний розгалуджувач 30, змішувач 31.

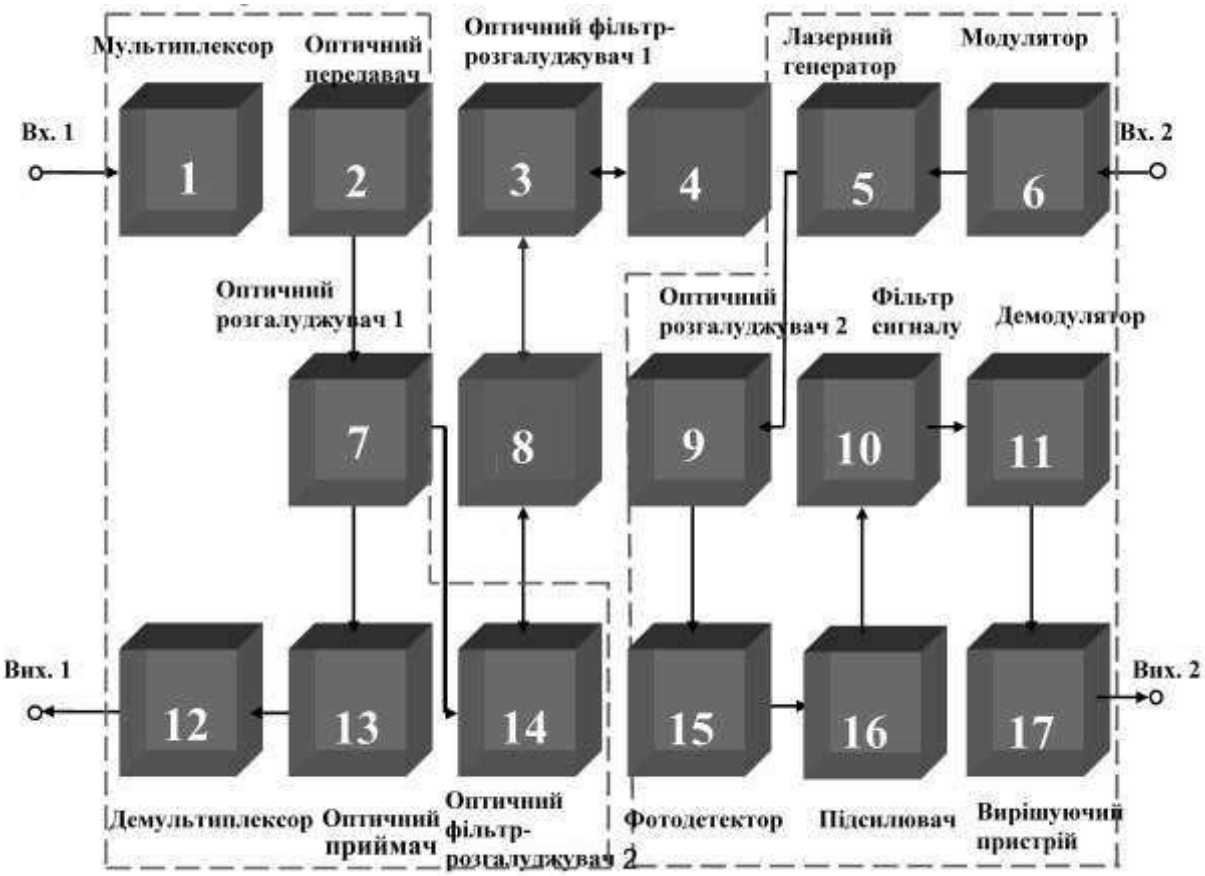

Рисунок 2.1 – Схема існуючої абонентської лінії

2.2 Принцип роботи запропонованої оптичної лінії зв’язку

Сигнал, призначений для даної (рис. 2.2) абонентської установки, приходить на вхід лінії зв’язку (Вх. 1), котрий є входом мультиплексора 1, в якому здійснюється поєднання цього сигналу з сигналами для інших абонентських установок та ущільнення сигналів по частоті. Груповий сигнал потрапляє на вхід когерентного передавача 18, в якому здійснюється перетворення електричного сигналу в оптичний, а також може здійснюватись об’єднання декількох оптичних сигналів (спектральне ущільнення каналів). З

виходу передавача 18 сигнал потрапляє на вхід першого оптичного розгалуджувача 7 ти далі з входу/виходу цього розгалуджувача на перший вхід/вихід першого оптичного фільтра – розгалуджувача 14. Назва «вхід/вихід» зумовлена тим, що дана точка на схемі використовується як вхід для сигналу одного напрямку и як вихід для сигналу протилежного напрямку.

Перший оптичний фільтр – розгалуджувач 14 відсікає більшу частину сигналів, не назначених для даної абонентської установки. Сигнали, що залишилися проходять перший простір передачі 8, що поєднує вузол доступу та верхній проміжний мережевий вузол, та надходить на перший вхід/вихід другого оптичного фільтра – розгалуджувача 3, який виділяє відносно не велику групу сигналів, що містить сигнал для даної абонентської установки. Ця група сигналів проходить другий простір передачі 4, що з'єднує верхній та нижній проміжні мережеві вузли, та надходить на вхід/вихід другого оптичного розгалуджувача 9.

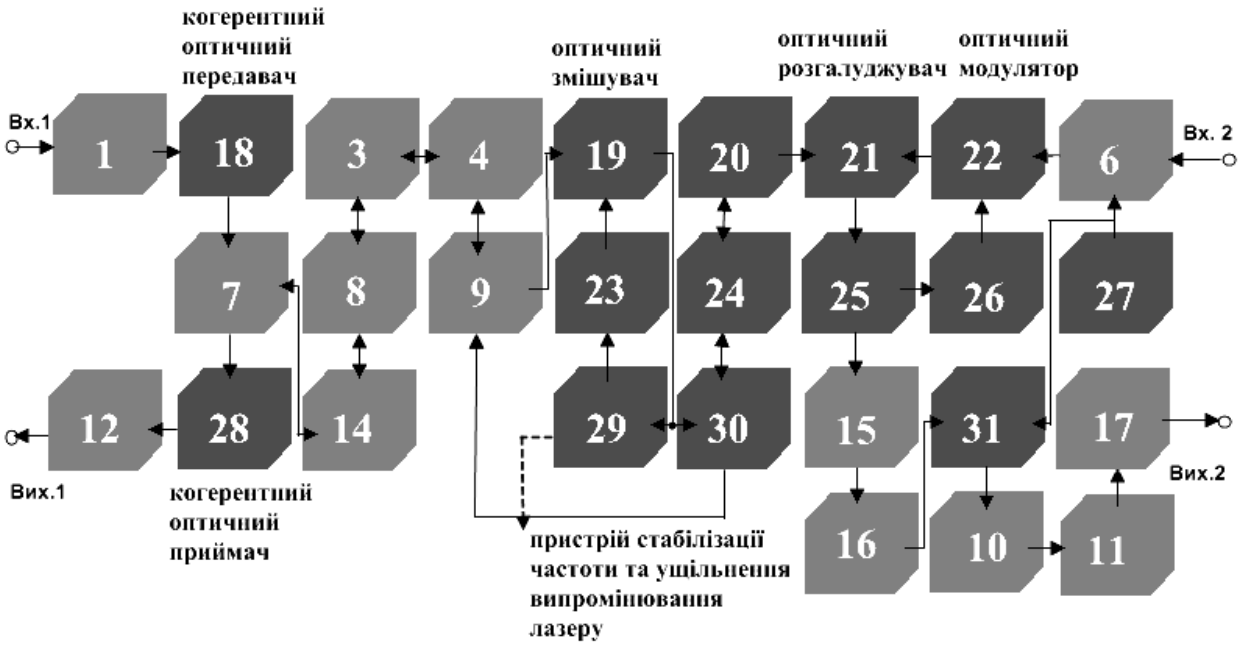

Рисунок 2.2 – Запропонована оптична абонентська лінія зв'язку

Оптична смуга пропускання на другому вході/виході оптичного фільтра – розгалуджувача 3 наближена до оптимального значення можливого для технології DWDM. На даний час це значення дорівнює 0,4 нм і більше.

З виходу другого оптичного розгалуджувача 9 згадана група сигналів надходить на вхід оптичного змішувача 19, на другий вхід якого надходить не модульоване вузько полосне випромінення лазерного гетеродину 23, частота якого контролюється пристроєм стабілізації частоти та забезпечення вузької смуги випромінювання лазеру 29. З виходу оптичного змішувача 19 через третій оптичний розгалуджувач 30 та оптичний підсилювач – розгалуджувач 24 сигнал надходить в третій простір передачі 20, що поєднує нижній проміжний мережевий вузол з даною абонентською установкою. Кожна установка, з'єднана з цим вузлом, отримує одинаковий набір інформаційних сигналів та сигнал лазерний гетеродина 23. Підсилювач – розгалуджувач 24 компенсує втрати потужності сигналів при розгалуженні та затуханні їх в третьому просторі передачі 20.

Пристрій стабілізації частоти та забезпечення вузької смуги випромінювання 29 лазерного гетеродину 23 містить вузько смугові зовнішні резонатори та елементи, що забезпечують стабілізацію температури лазеру, приглушення впливу зовнішніх металічних впливів, фазове авто пристосування частоти лазерного гетеродина 23, яка має бути розміщена в центрі смуги пропускання другого оптичного фільтру – розгалуджувача 3.

Така обробка когерентного оптичного сигналу в нижньому проміжному мережевому вузлі дозволяє уникнути використання в кожній абонентській установці поки ще надто дорогої апаратури (блоки 23 та 29).

Група сигналів, що надійшла з третього простору передачі 20 проходить четвертий оптичний розгалужувач 24 та не симетричний оптичний розгалужувач 25, на виходах якого відтворюються сигнали різного рівня. Сигнал низького рівня з першого виходу проходить фотодетектор 15 та підсилювач 16, и потім потрапляє на перший вхід змішувача 31, на другий вхід якого потрапляє не модульований сигнал від гетеродина сигналу під

несучої частоти 27. На перший вхід змішувача 31 потрапляє декілька сигналів, але на вході фільтра сигналу 10 виділяється лише один сигнал, назначений для даної установки. Це забезпечується фільтрацією однієї бокової оптичної смуги частот після фотодетектора, вибором частоти гетеродина 27 та центральної частоти фільтра 10, частотна характеристика якого відповідає максимальному відношенню сигнал/шум на вході вирішую чого пристрою 17. Демодулятор 11 перетворює форму сигналу до виду, зручного для роботи вирішуючого пристрою 17. Зокрема він може і бути відсутнім. При використанні запропонованої смуги зв'язку для передачі аналогових сигналів вирішуючий пристрій 17 із схеми (рис. 2.2) виключається.

Сигнал що несе інформацію від абонента до вузла доступу, надходить на другий вхід смуги (Вх. 2), що є першим входом модулятора 6, на другий вхід якого потрапляє сигнал від генератора сигналу під несучої частоти 27. Модульований сигнал піднесучої частоти з виходу модулятора 6 потрапляє на перший вхід оптичного модулятора 22, на другий вхід якого потрапляє не модульований оптичний сигнал з виходу формувача сигналу оптичної несучої частоти 26, на вхід якого потрапляє сигнал із другого виходу (високого рівня потужності) несиметричного оптичного розгалужувача 25. Тому на виході оптичного модулятору 22 формується оптичний сигнал, несуча частота якого співпадає з несучою частотою сигналу на виході вузла доступу, призначеного для даної установки. Далі сигнал від абонента проходить послідовно блоки 20, 24, 30, 9, 4, 3, 8, 14, 7. При цьому в блоках 24, 3 та 14 відбувається об'єднання його з сигналами від інших абонентських установок. З виходу першого оптичного розгалужувача 7 сигнал потрапляє на вхід когерентного оптичного приймача 29, який виконує функції, обернені функціям когерентного оптичного передавача 18. З виходу передавача 28 груповий електричний сигнал, проходячи демультиплексор 12, розділяється на першому вході лінії зв'язку (Вих. 1) формується сигнал, що несе інформацію, яка потрапила на вхід другої лінії зв'язку (Вх. 2).

2.3 Розрахунок основних параметрів хвилеводного спектрального мультиплексора

В системі присутній хвилеводний спектральний мультиплексор/демультиплексор (іноді називають хвилеводний спектральний аналізатор).

Виконаємо розрахунок кутової дисперсії в волоконно-оптичній лінії зв'язку.

Розрахунки, що визначають основні характеристики хвилеводного спектрального мультиплексора/демультиплексора, виконаного з одномодових хвилеводів, мають вигляд:

$$D_\varphi = h/\gamma x_0 \lambda b,$$

де D_φ − кутова дисперсія;

b − дисперсійний множник;

h − постійна різниця довжини шляху між сусідніми ступенями (хвилеводами);

x_0 − ширина ступенів (каналів);

γ − ефективний показник заломлення хвилеводу;

λ − довжина хвилі у вакуумі.

Дисперсійний множник (b) може бути представлений в вигляді:

$$b = \Delta\gamma - \lambda(\sigma\Delta\gamma/\sigma\lambda) - \lambda\Sigma_j(\sigma\Delta\gamma/\sigma n_j)(\sigma n_j/\sigma\lambda)$$

$$b = \delta\gamma - \lambda(d\Delta\gamma/d\lambda) \qquad (2.1)$$

де n_j − показники заломлення середовища, що утворює хвилеводи;

$\Delta\gamma$ − різниця ефективних показників заломлення хвилеводу;

$\delta\lambda$ − мінімальний інтервал кут між двома дозволеними по Релею лініями;

$$\Delta\gamma = \gamma_1 - \gamma_2,$$

γ_1 = 1,59 мкм;

γ_2 = 1,49 мкм;

$\Delta\gamma$ = 1,59 - 1,49 = 0,1.

Визначимо мінімальний кут між двома дозволеними лініями, заформулою:

$$\delta\varphi=\lambda/N\gamma x_{0,}$$

де $\lambda = 5*10^{-3}$ нм − довжина хвилі у вакуумі;

x_0 =6,5 мкм^3 − ширина ступенів (каналів);

N = 16 − кількість променів, що інтерферують (каналів).

$$\delta\varphi = 5*10^{-11}/16*1,49*10^{-6}6,5*10^{-6} = 32,3,$$

$$\Delta\varphi=\lambda/\gamma x_0,$$

$$\Delta\varphi = 5*10^{-11}/1,49*10^{-6}*6,5*10^{-6} = 51,6.$$

За формулою (2.1) визначимо дисперсійний множник b;

$b = 32,3*1,49 *10^{-6} - 5*10^{-11}((5*10^{-11}*1 - 0,1*10^{-6} *1)/25*10^{-22}) = 48,13 *10^{-6}$.

Визначимо мінімальний інтервал між двома дозволеними лініями, за формулою:

$$\delta\lambda=\lambda^2/Nhb,$$

де h = 63.1 мкм - постійна різниця довжини шляху між сусідніми ступенями (хвилеводами);

$$\delta\lambda = (5*10^{-11})^2/16*63.1*10^{-6}48,13 *10^{-6} = 0,0001*10^{-10}$$

Визначимо роздільну здатність хвилеводу за формулою:

$$\Re = Nh/\lambda b$$

$\Re = 16*63.1*10^{-6}/5*10^{-11}*63.1*10^{-6} = 4,2 *10^{11}$

Розрахуємо спектральну область дисперсії $\Delta\lambda$:

$$\Delta\lambda=\lambda^2/hb,$$

$$\Delta\lambda = 25*10^{-22}/63.1*10^{-6}*48,13*10^{-6} = 0,82*10^{-12}.$$

Визначимо порядок спектру К:

$$К=\Delta\gamma h/\lambda,$$

$$К=0,1*63.1*10^{-6}/5*10^{-11} = 13*10^{5}$$

Отже кутова дисперсія D_φ :

$$D_\varphi = h/\gamma x_0 \lambda b,$$

$$D_\varphi = 63.1*10^{-6}/ 1,49*10^{-6}6,5*10^{-6}*5*10^{-11}*48,13*10^{-6} = 27*10^{30}$$

Хвилеводні спектральні мультиплексори/демультиплексори є ключем до вирішення проблеми використання всієї надзвичайно широкої смуги пропускання волоконних світлопроводів.

2.4 Порівняльній аналіз існуючої лінії та лінії з використанням запропонованого технічного рішення

В системах з DWDM в оптичному каналі з'являються додаткові джерела втрат – оптичний мультиплексор та демультиплексор. Для сучасних мультиплексорів затухання складає від 1,5 до 5,2 дБ на канал – в залежності від кількості мультиплексованих каналів. Затухання в мультиплексорах може також змінюватися від довжини хвилі λ_m . Теоретичне значення затухання для оптичних мультиплексорів, в залежності від значення числа каналів розраховується за формулою :

$$\acute{\alpha}_m = ((0,99^{m-1})0,98)^{-1},$$

де 0,99 – коефіцієнт відбивання від плівки; 0,98 – коефіцієнт пропускання тонкоплівкового фільтру.

Для порівняння існуючих ліній та запропонованого рішення будемо послідовно нарощувати швидкість від B_1 =2,5 Гбіт/с до B_n = 40 Гбіт/с, та розраховувати допустиму величину затухання в оптичному тракті $\acute{\alpha}_{p\text{-}i\text{-}n}$ (бюджет системи) для:

а) існуючої лінії;

б) лінії з застосуванням запропонованого рішення.

Чутливість оптичного приймача визначається з формули:

$$P_{p\text{-}i\text{-}n} = A_j / \acute{\eta}_m \sqrt{4kT(2\pi C\sum)B^2 (In_2 / 2K + (In_2 (2\pi C\sum)BF_n)/S_m)},$$

де $\acute{\eta}_m = 0,8$ – квантова ефективність;

$A_j = 4,8$ Вт/А – коефіцієнт енергії падаючого фотона;

$C\sum = 0,5$ пФ –сумарна ємкість фотодіоду;

$In_2 = 0,55$; $In_3 = 0,085$ – інтеграли Персонака;

$F_n = 1,5$ – шум-фактор польового транзистору;

$S_m = 35 * 10^{-3}$ – крутизна польового транзистору;

T – температура;

k – стала Больцмана;

K – коефіцієнт, що характеризує глибину інтегрування в вхідному колі фотоприймача (К =10 – 100).

Розраховані результати зведені відповідно у таблицях 2.1 та 2.2. Аналізуючи отримана дані, можна сказати, що в системі з запропонованим технічним рішенням, з точки зору збереження бюджету системи (довжина ділянки регенерації) виглядає більш перспективно. Отже використання запропонованого технічного рішення є доцільним.

Таблиця 2.1 – Затухання в існуючій лінії зв’язку

Швидкість передачі, Гбіт/с	2,5	10	20	30	40
Кількість спектрально ущільнених каналів, m	1	4	8	12	16
Довжина хвилі на якій ведеться передача, λ мкм	1,29	1,35	1,43	1,49	1,52

Продовження таблиці 2.1

Затухання, що вноситься мультиплексором	2	2	2,5	3,5	3,5
Чутливість приймача, $P_{p\text{-}i\text{-}n\ ,дБ}$	-27,09	-27,29	-27,54	-27,89	-28
Бюджет системи, дБ	21,09	21,29	21,54	21,77	22

Таблиця 2.2 – Затухання в лінії з використанням запропонованого технічного рішення

Швидкість передачі, Гбіт/с	2,5	10	20	30	40
Кількість спектрально ущільнених каналів, m	16	32	64	128	256
Довжина хвилі на якій ведеться передача, λ мкм	1,53	1,535	1,54	1,55	1,56
Затухання, що вносить мультиплексором та де мультиплексом, αm	2	2	2	4	14
Чутливість приймача, $P_{p\text{-}i\text{-}n}$	27,09	27,29	27,54	27,89	28
Бюджет системи, дБ	26,92	26,85	26,75	26,63	26,52

2.5 Висновки

В результаті проведеного аналізу існуючих оптичних абонентських ліній зв’язку, виявлено їх недоліки та основні проблеми. Запропоновано ефективне рішення по вдосконаленню оптичних ліній. Запропонована схема реалізації даного рішення. Описано принцип роботи вдосконаленої оптичної абонентської лінії. Проведено обґрунтування технічного рішення. Проведено порівняння існуючої оптичної лінії та лінії з використанням запропонованого технічного рішення.

3 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

В кваліфікаційній роботі було розглянуте питання удосконалення вже існуючих оптичних абонентських ліній зв'язку, шляхом ущільнення довжин хвиль, яку займає одна лінія. Для досягнення поставленої цілі було запропоноване впровадження спеціалізованого устаткування. При реалізації запропонованого рішення, передбачається використання найбільш ефективних методів реорганізації, та досвід роботи спеціалістів в даній сфері.

3.1 Визначення трудомісткості введення запропонованого рішення в існуючу оптичну лінію зв'язку

Визначити трудомісткість введення запропонованого рішення та налаштування лінії зв'язку можна по такій формулі:

$$t = t_{о} + t_{и} + t_{отл} + t_{д}, \text{ чол. -год.} \qquad (3.1)$$

де $t_{о}$ – витрати праці на підготовку та описання визначених завдань;

$t_{и}$ – витрати праці на дослідження алгоритму виконання завдань;

$t_{отл}$ – витрати праці на введення нового устаткування та налаштування модернізованої лінії зв'язку.

$t_{д}$ – витрати праці на підготовку документації по завданню.

Компоненти витрат праці визначаються на базі кількості налаштувань, які проводять провідні спеціалісти з розробки та налаштування волоконно-оптичних ліній.

Умовна кількість налаштувань визначається такою формулою:

$$Q = q \cdot c \qquad (3.2)$$

де q – ймовірна кількість налаштувань;

c – коефіцієнт складності роботи (вимірюється в діапазоні 1,25 …2, 0);

Запропонована кількість налаштувань q=200, коефіцієнт складності роботи $\tilde{n}$ = 1,3.

$$Q = 200 \cdot 1{,}3 = 260$$

Оцінка витрат праці на підготовку та описання завдання визначається на основі експертної оцінки. В цьому випадку t_o = чол. –год.

Витрати праці на вивчення опису завдання визначається з урахуванням уточнень опису та кваліфікації спеціаліста по формулі :

$$t_u = \frac{Q \cdot B}{(75\ldots85)k}, \text{ чол. –год.} \qquad (3.3)$$

де B – коефіцієнт збільшення витрат праці внаслідок не достатнього описання завдання В = 1,2 …1,5;

k – коефіцієнт кваліфікації спеціаліста, що визначається в залежності від стажу роботи по даній спеціальності. Він становить при стажі роботи, років:

до 2 – 0,8;

від 2 до 3 – 1,0;

від 3 до 5 – 1,1 …1,2;

від 5 до 7 – 1,3 …1,4;

вище 7 – 1,5 …1,6.

Коефіцієнт збільшення витрат праці В = 1,2 , коефіцієнт кваліфікації спеціаліста k = 1,6 , оскільки стаж роботи становить 16 років.

$$t_u = \frac{360 \cdot 1{,}2}{80 \cdot 1{,}6} = 3{,}38.$$

Витрати праці на введення та налаштування запропонованого устаткування для модернізації лінії зв’язку, що визначається за формулою:

$$t_{отл} = \frac{Q}{(4\ldots5)k}, \text{ чол. –год.} \qquad (3.4)$$

$$t_{отл} = \frac{360}{5 \cdot 1{,}6} = 45, \text{ чол. –год.}$$

Витрати праці по підготовці документації по визначеному завданню визначаються по формулі:

$$t_{\partial} = t_{\partial p} + t_{\partial o}, \text{ чол. –год.} \quad (3.5)$$

де $t_{\partial p}$ – трудомісткість пошуку необхідних матеріалів,

$$t_{\partial p} = \frac{Q}{(15...20)k}, \text{ чол. –год.} \quad (3.6)$$

$$t_{\partial p} = \frac{360}{20 \cdot 1{,}6} = 11{,}25, \text{ чол. –год.}$$

Необхідно також визначити витрати праці на редагування, друку та оформлення документації. Визначається за такою формулою:

$$t_{\partial o} = 0{,}75 \cdot t_{\partial p}, \text{ чол. –год.} \quad (3.7)$$

$$t_{\partial o} = 0{,}75 \cdot 11{,}25 = 8{,}44 \text{ , чол. –год.}$$

$$t_{\partial} = 11{,}25 + 8{,}44 = 19{,}69, \text{ чол. –год.}$$

Виходячи з результатів всіх проведених розрахунків, шукана трудомісткість введення в існуючу лінію нового устаткування на налаштування мережі буде дорівнювати:

$$t = 2 + 3{,}38 + 45 + 19{,}69 = 70{,}07 \text{ , чол. -год.}$$

3.2 Визначення витрат на введення та налаштування нового устаткування у вже існуючу лінію зв’язку

Капітальні витрати на введення та налаштування нового устаткування в існуючу лінію зв’язку K_B складається з витрат на заробітну платню спеціалістів, які проводять введення та налаштування нового устаткування $B_{ЗП}$ та витрат на вартість нового устаткування $B_{НУ}$, що вводиться в оптичну абонентську лінію зв’язку.

$$K_B = B_{ЗП} + B_{НУ}, \text{ грн.} \quad (3.8)$$

Заробітна платня спеціалістів з ВОЛЗ визначається за такою формулою:

$$B_{ЗП} = t \cdot C_{ПР}, \text{ грн.} \quad (3.9)$$

де t – загальна трудомісткість введення та налаштування нового устаткування, яка може бути визначена з формули (3. 1 – 3.7);

$C_{ПР}$ – середня годинна заробітна платня спеціаліста з нарахуваннями, грн./год.

Середня заробітна платня спеціаліста з нарахуваннями на фонд заробітної платні за місяць становить 10188 грн. При 40 – ка годинній робочій неділі місячний фонд робочого часу дорівнює 160 годинам. Таким чином середня годинна заробітна платня становить:

$$C_{ПР} = 10188/160=63,68 \text{ грн.}$$

$$B_{ЗП} = 70,07 * 63,68 = 4462,06 \text{ грн./год.}$$

Вартість нового устаткування, що вводиться в існуючу лінію визначається за формулою:

$$B_{НУ} = + B_{ЛГ} + B_{ПСЧ} + B_{ГСПЧ}$$

де $B_{ЛГ}$ – вартість лазерного гетеродину;

$B_{ПСЧ}$ – вартість пристрою стабілізації частоти та забезпечення вузької смуги випромінювання лазеру;

$B_{ГСПЧ}$ – вартість генератора сигналу під несучої частоти.

$$B_{НУ} = 4650 + 6700+5340 = 16\ 690$$

Отже, капітальні витрати будуть становити:

$$\hat{E}_{\hat{A}} = 4462,06 + 16,690 = 21\ 152,\ 06 \text{ грн.}$$

3.3 Витрати на ремонт устаткування

Розрахунок витрат на ремонт устаткування визначається по формулі:

$$\text{Врем} = B_{НУ} * \beta/100\%.$$

де β – відсоток на профілактику та ремонт устаткування (9%).

Врем= (16 690)*9%/100% = 1502,1 грн.

3.4 Економічна ефективність від запропонованого удосконалення оптичної лінії зв'язку

При розрахунку економічної ефективності від використання запропонованого технічного рішення в порівнянні з базовим розглянемо сторазове збільшення кількості абонентських установок (N) на ділянці мережі доступу, тобто N:

$$N = 62500,$$

хоча в розглянутому випадку устаткування дозволяє і більше.

В таблиці таблиця 3.1 приведені результати розрахунку вартості ділянки мережі доступу в розрахунку на одного абонента C^{Σ}/N. При цьому кількість верхніх ($N_А$) та нижніх ($N_Б$) проміжних мережевих вузлів обрано з умови мінімуму вартості (C^{Σ}) ділянки мережі доступу як для запропонованого, так і для базового варіанту.

Окрім згаданих вище, в таблиці використовуються наступні позначення $a_Э$ – сторона квадрату – ділянки вищого ярусу; $^{\Delta\lambda}(^{\Delta}f)$ – смуга довжин хвиль (частот) пристроїв DWDM.

Вартість ділянки мережі доступу в розрахунку на одного абонента C^{Σ}/N, отримана в результаті використання запропонованого технічного рішення, становить 1 – 1,5 тис. у. о., що в 4 – 5 рази більше аніж для аналогічної ділянки при використанні базового варіанту (таб. 3.1, п. 3 та 4).

Таблиця 3.1 – Результати розрахунку

№ п/п	N	СА	СБ	NA	NБ	аэ	DWDM		С∑	С∑/N
		тис. у. о.				км	Δλ	Δf		
							нм	ГГц	Млн.у. о.	Тис. у. о.
1	62500	50	50	29	14	0,5	0,63	82	63,8	1,0
2	62500	100	150	39	5	0,72	1,28	166	93	1,5
3	625	-	50		16	2,5	0,4	52	3,0	4,8
4	625	-	100		11	3	0,4	52	3,7	5,9

3.5 Висновки

Основою визначення економічної ефективності в даній роботі є порівняння вартості прокладки нових оптичних абонентських ліній зв'язку та вдосконалення вже існуючих ліній. Розумне рішення полягає в визначенні витрат на прокладку нових ліній та на придбання компонентів по вдосконаленню існуючих.

В даному розділі був проведений розрахунок витрат на введення та налаштування вдосконаленої лінії зв'язку, що склали 21152, 06 грн. Також були проведені розрахунки витрат на ремонт ліній зв'язку, що склали 1502,1 грн. Розраховано вартість ділянки мережі доступу в розрахунку на одного абонента C^{Σ}/N, отримана в результаті використання запропонованого технічного рішення, становить 1 – 1,5 тис. у. о., що в 4 – 5 рази більше ніж для аналогічної ділянки при використанні базового варіанту.

ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі розглянуті особливості технології DWDM. Розглянуто принципи побудови мультисервісних мереж.

В ході роботи розроблена мультисервісна мережа зі щільним хвилевим мультиплексуванням. Запропонована структурна схема оптичної абонентської лінії зв'язку. Технічний результат запропонованої лінії полягає в зменшенні смуги оптичних довжин хвиль, що займає одна лінія. Поставлена мета досягається тим, що в лінію зв'язку включені когерентні передавач та приймач, лазерний гетеродин, пристрої стабілізації частоти та забезпечення вузької лінії випромінювання лазера, оптичні розгалужувачі, оптичний підсилювач-розгалуджувач, несиметричний оптичний розгалужувач, оптичний модулятор, формувач сигналу оптичної несучої частоти, генератор сигналу під несучої частоти, змішувач.

Проведено техніко-економічне обґрунтування розробки з розрахунком основних економічних показників. Позитивний ефект від використання запропонованої оптичної лінії зв'язку полягає в зменшенні смуги частот, що займає одна лінія. Це дозволяє значно збільшити кількість абонентських установок в мережі доступу при використанні заданого обмеженого діапазону довжин хвиль. Сучасні пристрої спектрального ущільнення каналів (DWDM) дозволяють виконати ущільнення оптичних сигналів (каналів) з інтервалами не менш 0.4 нм, тобто приблизно 50 ГГц. Але в цьому інтервалі при використанні когерентних методів обробки і передачі оптичного сигналу, можна розмістити замість одного більш ніж сто оптичних цифрових сигналів зі швидкістю передачі 155 Мбіт/с.

Розроблений пристрій розраховано на роботу у складі цифрових багатоканальних систем передачі, призначених для роботи в мультисервісних мережах.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Слепов Н. Особенности современной технологии WDM // Электроника: НТВ. 2004. № 6. С. 68-76.
2. ITU-T G.694.2. Spectral grids for WDM applications: CWDM wavelength grid (6.02).
3. Hinderthur H., Friedric L. WDM hybrid transmission based on CWDM plus DWDM // Lightwave Europe. July 2003. P. 9-12.
4. ITU-T G.692. Optical interfaces for multi-channel systems with optical amplifiers (10.98, Corr. 1,2-6.02).
5. Bautista J., Shine B. Untangling the wavelength Web: Separating DWDM Channels with Interleaves // Photonics Spectra. February 2001. P. 90-92.
6. Слепов Н.Н. Современные технологии цифровых оптоволоконных сетей связи. 2-е испр. изд. - М.: Радио и связь, 2003.
7. Слепов Н. Фотонно-кристаллическое волокно-уже реальность // Электроника: НТВ. 2004. № 5. С. 80-84.
8. Jun-lchi-Kani et. al. Triple-wavelength-band WDM transmission technologies. - OFC-2002, Anaheim, Paper TuR5, p. 122-123,
9. Borella A., Cancelleri G., Chiaraluce F. Wavelength Division Multiple Access Optical Networks. - Artech House. Boston-London. 1998.
10. CWDM Technology and Applications. White Paper WP011, CIENA Corporation, 2004, p. 1-9.
11. Слепов Н. Особенности, проблемы и перспективы разреженных систем WDM (CWDM) // Электроника: НТВ. 2004. № 7. С. 56-59.
12. ITU-T G.695. Optical Interfaces for Coarse Wave-length Division Multiplexing Applications (2.04).
13. Справочник по волоконно-оптическим линиям связи / Л.М.Андрушко, В.А.Воскресенский, В.Б.Каток и др.; Под. ред. С.В.Свечникова и Л.М.Андрушко. – Техника, 1988. – 239 с.

14. Бутусов М.М., Верник С.М., Балкин С.Л. Волоконно-оптические системы передачи. – М.: Радио и связь, 1992 –416с.

15. Гауэр Д. Оптические системы связи. – М.: Радио и связь, 1989 – 587 с.

16. Макаров Т.В. Волоконно-оптические линии передачи: Учебн. Пособие / Одесский электротехнический институт связи им. А.С. Попова. – Одесса, 1990, – 99 с.

17. Гроднев И. И., Волоконно-оптические линии связи. –М.: Радио и связь, 1990. - 450 с.

18. Брискер А.С., Гусев Ю.М., Ильин В.В. Спектральное уплотнение волоконно-оптических линий ГТС // Электросвязь. – 1990, №1. – с41-42.

19. Брискер А.С., Быстров В.В., Ильин В.В.. Способы увеличения пропускной способности волоконно-оптических линий ГТС // Электросвязь. – 1991, №4. – с28 - 29.

20. Заславский К.Е. Волоконно-оптические системы передачи: Учебн. пособие / СибГАТИ – Новосибирск, 1997 –61с.

21. Черемискин И.В., Чехлова Т.К. Волноводные оптические системы спектрального мультиплексирования / демультиплексирования // Электросвязь. – 2000, №2. – с.23 - 29.

22. Каток В.Б., Руденко І.Е. Сучасні технології з’єднань волоконних світловодів зі складу оптичних кабелів зв’язку // Інформатизація та нові технології. – 1996, №1. – с.41 – 43.

23. Рудов Ю.К., Зингеренко Ю.А., Оробинский С.П., Миронов С.А.. Применение оптических циркуляторов в волоконно-оптических системах передачи // Электросвязь,. – 1999, №6. – с36 - 37.

24. Maier G. Martinelli M., Pattavina A., Salvadori E. Design and cost performance of multistage WDM-PON access networks // Journal of Lightwave Technology – 2000. – Vol.18. – No.2. – P.125-142.

25. Строительство и техническая эксплуатация волоконно-оптических линий связи. / Под ред. Б.В.Попова. – М.: Радио и связь, 1995. – 378 с.

ДОДАТОК А. Перелік документів КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

1 Пояснювальна записка на 60 сторінках.

2 Матеріали кваліфікаційної роботи на оптичному носії:

- Пояснювальна записка Стрижак М.Г.doc
- Презентація.pptx

ДОДАТОК Б. Відгук керівника економічного розділу

Керівник розділу _____ Романюк Н.М.

(підпис) (прізвище, ініціали)

ДОДАТОК В. ВІДГУК КЕРІВНИКА КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

ВІДГУК

на кваліфікаційну роботу ступеня бакалавр студента групи 172-16зск-1
Стрижак М.Г. на тему:
«Удосконалення мультисервісної мережі зв’язку з щільним хвилевим мультиплексуванням»

Мета кваліфікаційної роботи – збільшення пропускної спроможності мультисервісної мережі на основі технології DWDM за рахунок вдосконалення структурної схеми оптичної абонентської лінії зв’язку.

Обрана тема є актуальною у зв'язку з тим, що на сьогоднішній день існує потреба в ущільненні під назвою DWDM (Dense Wavelength Division Multiplexing). Очевидно, що DWDM викликане прагненням збільшити кількість каналів, що передаються. На даний час в устаткуванні систем зв'язку з DWDM, розрахованих для передачі до 32-х каналів, ряд фірм застосовує довжину хвилі 1510 нм, а деякі - 1625 нм. Але із збільшенням кількості каналів, що передаються до 128 і більше виникає необхідність освоєння більш довгохвильової частки оптичного спектру, зокрема L-диапазона (або 4-те вікно прозорості ОВ), в якіий входить довжина хвилі 1625 нм.

В кваліфікаційній роботі розглянуто розробку мультисервісної мережі зі щільним хвилевим мультиплексуванням. Запропоновано структурну схему оптичної абонентської лінії зв’язку. Технічний результат запропонованої лінії полягає в зменшенні смуги оптичних довжин хвиль, що займає одна лінія.

Оформлення кваліфікаційної роботи виконано на відповідному рівні і відповідає вимогам, що пред'являються до робіт даної кваліфікації. В цілому кваліфікаційна робота ступеня бакалавра повністю задовольняє вимогам, що пред'являються і заслуговує оцінки «відмінно», а її автор, Стрижак Мар’яна Григорівна присвоєння кваліфікації технічного фахівця в галузі електроніки та телекомунікацій.

Керівник кваліфікаційної роботи, доц. Магро В.І.

ДОДАТОК Г. Рецензія

РЕЦЕНЗІЯ
на кваліфікаційну роботу ступеня бакалавр студентки групи 172-16зск-1
Стрижак М.Г. на тему:
«Удосконалення мультисервісної мережі зв'язку з щільним хвилевим мультиплексуванням»

Представлена на рецензію кваліфікаційна робота виконана на 60 машинописних сторінках і складається з вступу, трьох розділів і висновку. Кваліфікаційна робота студентки групи 172-16зск-1 Стрижак М.Г. виконана в повному обсязі відповідно до завдання.

Робота присвячена одному з важливих напрямків пов'язаним з оптичними складовими мережі NGN. Розширення спектру послуг, масштабування інфраструктури та обсяги трафіку, що постійно зростають спонукають до розв'язання наукового завдання покращення пропускної спроможності потокового трафіку в мультисервісних мережах за рахунок удосконалення мультисервісної мережі зі щільним хвилевим мультиплексуванням. Тому запропонована тема кваліфікаційної роботи має практичне значення та, безумовно, є актуальною.

Позитивні сторони:

1. Зміст роботи відповідає завданню. Досліджено мультисервісну мережу зі щільним хвилевим мультиплексуванням.
2. Проаналізовано основні моделі оптичних складових мультисервісних мереж зі щільним хвилевим мультиплексуванням.
3. Проведено аналіз факторів, що визначають ефективність інформаційно-телекомунікаційної мережі.
4. Текст викладено грамотно, послідовно. Сформульовано чіткі та змістовні висновки. Графічний матеріал оформлено якісно.

Недоліки:

1. Бажано було б розробити порівняти запропоновану оптичну лінію з іншими існуючими.
2. Бажано було б оцінити параметри якості обслуговування потокового трафіку на основі запропонованого технічного рішення.

Відзначені зауваження не впливають на загальну позитивну оцінку кваліфікаційної роботи.

В цілому кваліфікаційна робота ступеня бакалавр повністю задовольняє вимогам, що пред'являються і заслуговує оцінки «відмінно », а її автор, Стрижак Мар'яна Григорівна, присвоєння кваліфікації технічного фахівця в галузі електроніки та телекомунікацій.

Рецензент,

_____
(підпис)