Міністерство освіти і науки, молоді та спорту України

ОДЕСЬКА НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ ЗВ'ЯЗКУ ім. О.С. ПОПОВА

Кафедра телекомунікаційних систем

Балашов В.О., Барба І.Б., Корнійчук В.І., Лашко А.Г.,
Ляховецький Л.М., Орєшков В.І.

Проектування, будівництво та експлуатація мереж широкосмугового доступу

Навчальний посібник
з дипломного проектування
та виконання магістерських робіт

Одеса – 2012

ББК 32.883
УДК 621.395:681.7.068
П 79

Рекомендовано
Міністерством освіти і науки, молоді та спорту України як навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів, які навчаються за напрямом «Телекомунікації».
(лист № 1/11-11630 від 16.07.12)

Балашов В. О. та ін.

П 79 Проектування, будівництво та експлуатація мереж широкосмугового доступу : [навч. посіб. з дипломного проектування та виконання магістерських робіт] /: [В.О. Балашов, І.Б. Барба, В.І. Корнійчук, А.Г. Лашко, Л.М. Ляховецький, В.І. Орєшков]. − Одеса: РВЦ ОНАЗ ім. О.С. Попова, 2012. − 240 с.

ISBN 978-966-7598-87-7

У зв'язку зі швидким поширенням у світі і великим економічним значенням широкосмугового доступу (ШД) до мережі Інтернет необхідно прискорити проектування і будівництво мережі ШД в Україні. Навчальний посібник, що пропонується, надає методики та рекомендації з проектування, будівництва та експлуатації мереж ШД, що побудовані за технологіями xDSL, DOCSIS, FTTx, які доповнюють типові методики з проектування мереж доступу специфічними вимогами, що викликані використанням цих нових телекомунікаційних технологій.

Навчальний посібник призначено для поглибленої фахової підготовки випускників ВУЗів за напрямом „Телекомунікації" з питань проектування, будівництва та експлуатації сучасних мереж ШД.

Рецензенти:
Рудницький В.М., д.т.н., проф., зав. каф. системного програмування Черкаського державного технологічного університету;
Андреєв А.І., д.т.н., проф., провідний науковий співробітник ДП «Одеський науково-дослідний інститут зв'язку».

ББК 32.883
УДК 621.395:681.7.068

ISBN 978-966-7598-87-7

© Балашов В.О., Барба І.Б., Корнійчук В.І., Лашко А.Г., Ляховецький Л.М., Орєшков В.І., 2012

ЗМІСТ

ВСТУП 6
ЧАСТИНА 1. ПРОЕКТУВАННЯ ШИРОКОСМУГОВОГО ДОСТУПУ ЗА ТЕХНОЛОГІЯМИ XDSL 7
1. СТРУКТУРА ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНОЇ МЕРЕЖІ. ЗАДАЧІ ПРОЕКТУВАННЯ МЕРЕЖІ ШИРОКОСМУГОВОГО ДОСТУПУ 7
2. ПРОЕКТУВАННЯ МЕРЕЖІ ШИРОКОСМУГОВОГО ДОСТУПУ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ КАБЕЛІВ ТЕЛЕФОННОЇ МЕРЕЖІ 10
2.1. Мережі xDSL-доступу 10
2.2. Типове будівництво міської телефонної мережі 10
2.3. Типова структура мережі xDSL-доступу 13
2.4. Види проектування мережі xDSL-доступу 14
2.5. Загальні рекомендації з проектування нових мереж xDSL-доступу 16
2.6. Рішення задач проектування першого класу 22
2.7. Приклад проектування мережі ШД по існуючій телефонній мережі доступу 28
2.7.1. Завдання початкових даних для проектування 29
2.7.2. Визначення потенційних можливостей існуючої мережі 33
2.7.3. Оцінка впливу запланованої ЦСП на роботу існуючих ЦСП мережі 35
2.7.4. Методика розрахунку економічних показників 40
2.8. Порядок реалізації проекту 43
2.9. Приклад розв'язання задач проектування другого класу 44
2.10. Приклад проектування нової мережі xDSL-доступу 48
2.10.1. Зміст проекту 48
2.10.2. Вихідні дані 48
2.10.3. Послідовність кроків проектування нової мережі ЦАЛ 48
2.10.4. Методика розрахунку економічних показників 55
2.11. Використання магістральних кабелів великої ємності 57
3. ОСОБЛИВОСТІ БУДІВНИЦТВА XDSL-ЛІНІЙ 58
3.1. Вимоги до будівництва та монтажу абонентських ліній 58
3.2. Особливості реконструкції абонентських ліній кросів, розподільних шаф, муфт, розподільних коробок 59
3.3. Правила безпеки при роботах на кабельних лініях зв'язку 63
3.4. Рекомендації з організації електроживлення та заземлення 63
4. ОСОБЛИВОСТІ ЕКСПЛУАТАЦІЇ XDSL-ЛІНІЙ 66
4.1. Попередня оцінка технічної можливості організації xDSL-лінії 66
4.2. Введення xDSL-ліній в експлуатацію 70
4.3. Порядок здавання і приймання абонентських ліній 72
4.4. Контрольно-профілактичні роботи на мережі xDSL-ліній 74
4.5. Заходи з усунення пошкоджень xDSL-ліній 75
4.6. Заходи з покращання параметрів абонентської лінії 76
4.7. Порядок використання ємності багатопарних кабелів для організації xDSL-ліній 79
5. ДОВІДКОВІ МАТЕРІАЛИ (до частини 1) 86
5.1. Характеристики лінійних інтерфейсів обладнання xDSL-доступу 86

5.2. Опис програмного комплексу з проектування ПЗ „Tiora”. Керівництво з користування програмним комплексом ... 97
5.2.1. Призначення програмного забезпечення ПЗ „Tiora” ... 97
5.2.2. Можливості ПЗ „Tiora” ... 97
5.2.3. Інтерфейси ПЗ „Tiora” ... 98
5.2.4. Побудова структури мережі ... 100
5.2.5. Задавання параметрів об’єктів ... 101
5.2.6. Менеджер кабелів ... 106
5.2.7. Застосування ПЗ „Tiora”. Визначення потенційних можливостей існуючої мережі ... 110
5.2.8. Визначення впливу нової СП на роботу мережі ... 110
5.2.9. Зниження перехідних впливів на ділянках мережі ... 111
5.2.10. Проектування нової ділянки мережі ... 111
5.3. Електричні параметри кабелів, обладнання кросів АТС та кінцевого кабельного обладнання ... 112
5.3.1. Електричні параметри передавання кабелів ... 112
5.3.2. Параметри передачі кабелів у широкому діапазоні частот ... 118
5.3.3. Параметри взаємного впливу ... 119
5.3.4. Нормування електричних параметрів абонентських ліній ... 125
5.4. Вимоги щодо безпеки та охорони праці; електромагнітних впливів обладнання xDSL-ліній на навколишнє середовище ... 127
Література ... 129
ЧАСТИНА 2. ПРОЕКТУВАННЯ ОПТИЧНОЇ МЕРЕЖІ ДОСТУПУ ... 133
6. ВАРІАНТИ ПОБУДОВИ, СТРУКТУРА ТА ТЕХНОЛОГІЇ ОПТИЧНИХ МЕРЕЖ ДОСТУПУ ... 134
6.1. Варіанти побудови оптичних мереж доступу FTTx ... 134
6.2. Технології оптичних мереж доступу ... 137
6.2.1. Технологія оптичного доступу мікро-SDH ... 137
6.2.2. Технологія активних оптичних мереж Ethernet ... 139
6.2.3. Технології пасивних оптичних мереж доступу ... 140
6.3. Структура оптичної мережі доступу ... 143
7. ПРОЕКТУВАННЯ ОПТИЧНОЇ МЕРЕЖІ ДОСТУПУ ... 145
7.1. Загальні підходи до проектування ОМД ... 145
7.2. Приклад вибору варіанта побудови оптичної ділянки мережі широкосмугового абонентського доступу ... 145
7.3. Особливості проектування пасивних оптичних мереж доступу ... 149
7.4. Вибір топології побудови мережі. Стратегія розміщення та типи оптичних розгалужувачів ... 151
7.5. Вибір типу волоконно-оптичного кабелю ... 153
7.6. Вибір роз’ємних з’єднувачів ... 154
7.7. Розрахунок оптичного бюджету лінії PON та вибір класу активного обладнання ... 155
7.8. Розрахунок техніко-економічних показників PON ... 162
8. БУДІВНИЦТВО ОПТИЧНИХ МЕРЕЖ ДОСТУПУ ... 165
8.1. Особливості будівництва оптичної мережі абонентського доступу на базі технології PON ... 165
8.2. Прокладання оптичного кабелю в каналах кабельної каналізації. Монтаж муфт ... 166

8.3. Прокладання оптичного кабелю всередині будівель ... 168
8.4. Будівництво абонентської ділянки оптичної мережі доступу ... 170
8.5. Вимірювання в оптичних мережах в процесі будівництва ... 170
9. ЕКСПЛУАТАЦІЯ ОПТИЧНИХ МЕРЕЖ ДОСТУПУ ... 173
9.1. Управління мережею ... 174
9.2. Збір аварійної сигналізації від обладнання мережі ... 174
9.3. Профілактичні вимірювання ... 175
9.4. Пошук і усунення несправностей в мережі PON ... 175
9.5. Огляд і профілактичне обслуговування пасивного обладнання ... 177
9.6. Виміри при підключенні нового абонентського пристрою ... 177
10. ДОВІДКОВІ МАТЕРІАЛИ (до частини 2) ... 178
10.1. Пасивні компоненти мереж доступу ... 178
10.1.1. Оптичні волокна ... 178
10.1.2. Оптичні розгалужувачі ... 178
10.1.3. Оптичні з'єднувачі ... 181
10.1.4. Спектральні мультиплекс ори ... 183
Література ... 185

ЧАСТИНА 3. ПРОЕКТУВАННЯ ОПТИЧНОЇ ДІЛЯНКИ ГІБРИДНОЇ ВОЛОКОННО-КОАКСІАЛЬНОЇ МЕРЕЖІ ДОСТУПУ ... 187
11. ПОБУДОВА ГІБРИДНОЇ МЕРЕЖІ ДОСТУПУ ... 188
11.1. Доступ мережами кабельного телебачення ... 188
11.2. Гібридна волоконно-коаксіальна мережа доступу ... 188
11.3. Топології оптичних мереж доступу ... 192
12. РОЗРАХУНОК ОПТИЧНОЇ ДІЛЯНКИ ГІБРИДНОЇ МЕРЕЖІ ... 193
12.1. Основні вимоги до проектування ... 193
12.2. Розрахунок зіркоподібної мережі ... 297
12.3. Розрахунок мережі типу „шина” ... 200
12.4. Розрахунок деревоподібної мережі ... 203
12.5. Діаграма рівня потужності ... 210
13. РОЗРОБКА ПОВНОЇ СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ МЕРЕЖІ ... 213
13.1. Розробка структурної схеми мережі ... 213
13.2. Вибір активного обладнання висхідного каналу ... 215
13.3. Організація станційної кабельної інфраструктури ... 216
13.4. Перелік обладнання для будівництва мережі ... 220
14. ДОВІДКОВІ МАТЕРІАЛИ (до частини 3) ... 222
14.1. Активні компоненти мереж HFC ... 222
14.1.1. Передавальні пристрої ... 222
14.1.2. Приймальні пристрої ... 225
14.1.3. Оптичні вузли ... 228
14.1.4. Волоконно-оптичні підсилювачі ... 228
14.2. Параметри й ціни оптичного обладнання ... 229
Література ... 231

СПИСОК СКОРОЧЕНЬ ... 232
ГЛОСАРІЙ ... 235
Предметний покажчик ... 239

ВСТУП

На сьогодні рівень доступності населенню ресурсів мережі Інтернет та її інформаційних послуг вважається найважливішою характеристикою економічного розвитку держави. Показники розвитку широкосмугового доступу (ШД) увійшли до переліку обов'язкових показників розвитку економіки, які відслідковуються аналітичними агентствами.

Нині доступ абонентів до телекомунікаційної мережі забезпечується за допомогою мереж доступу: безпроводових, побудованих із застосуванням різноманітних радіотехнологій (GSM, UMTS, CDMA, WiMax, Wi-Fi тощо) або проводових (xDSL, DOCSIS, FTTx, PLC), що використовують як середовище для передавання сигналів різні металеві й оптичні кабелі зв'язку, кабелі електропостачання й електропроводки. ШД по кабелях займає у світі понад 95% усіх підімкнень. До ШД відносять, як правило, доступ зі швидкістю, більшою за 1 Мбіт/с на одне підімкнення (одну лінію зв'язку).

Найпоширенішим у світі видом ШД є доступ, що використовує добре розвинену мережу абонентських ліній (АЛ) місцевої телефонної мережі. Із загального числа ліній ШД у світі на початок 2009 року 266 млн. ліній (64,8 %) було побудовано на АЛ місцевої мережі з використанням спеціально розроблених для цих цілей технологій передавання – xDSL (Digital Subscriber Line), характеристики яких регламентовані рекомендаціями МСЕ-Т G.991 – G.993. За оцінками iks-consulting в Україні на 30 червня 2011 року загальна кількість абонентів ШД (приватних і корпоративних) склала близько 5,3 мільйона, з яких 4,6 мільйона – домашні користувачі. На кінець II кв. 2011 року рівень проникнення ШД в Україні склав 26 %. Таким чином, на 100 жителів припадає 9 ліній ШД, тоді як у світі цей показник складає у середньому 30 ліній. Більше половини ринку ШД України сьогодні належить технології xDSL, потім йдуть кабельні модеми (технологія DOCSIS) і безпроводовий доступ. Останнім часом у зв'язку з розширенням відеопослуг набуває розповсюдження ШД по оптичному кабелю за технологіями FTTx.

У зв'язку з великим економічним значенням і швидким розповсюдженням у світі ШД до мережі Інтернет необхідно прискорити проектування і будівництво мережі ШД в Україні. Пропонований навчальний посібник з проектування, будівництва та експлуатації мереж ШД надає методики та рекомендації з проектування та будівництва проводових мереж за технологіями xDSL, DOCSIS, FTTx, які доповнюють типові методики з будівництва мереж доступу специфічними вимогами, що викликані використанням нових технологій.

У першій частині посібника надано методику та рекомендації, які доповнюють типові методики проектування та будівництва абонентських телефонних ліній специфічними вимогами, що викликані використанням їх для xDSL-доступу. Тобто телефонна лінія проектується для подвійного призначення. Це забезпечить економічно ефективний підхід до будівництва телефонної мережі. Таким чином, надані методичні рекомендації з проектування цифрових ліній xDSL-доступу є додатковими вимогами, що повинні враховуватися при проектуванні телефонних міських мереж згідно з Відомчими будівельними нормами ВБН В2.2-45-1-2004.

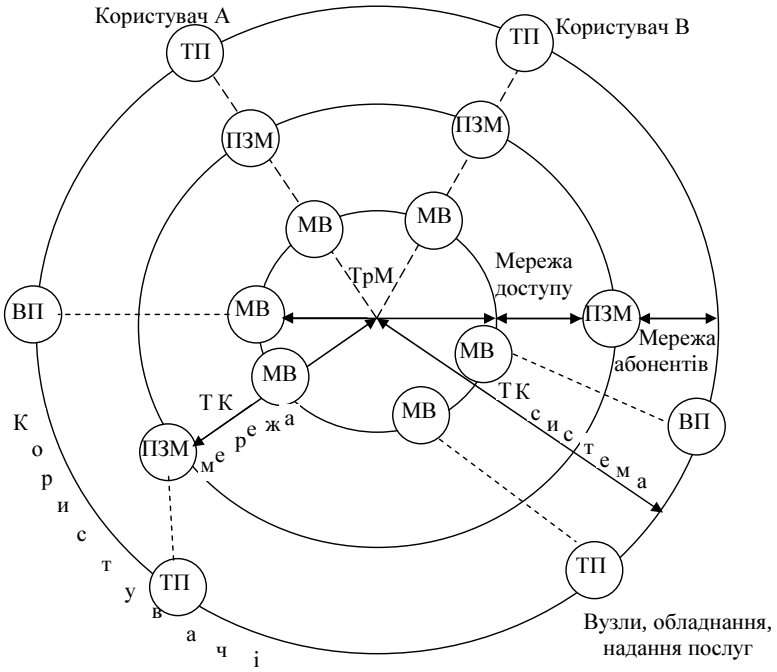
Друга частина посібника присвячується особливостям проектування та будівництва оптичних мереж ШД за технологією FTTx. Наведені методики та приклади проектування прямого та зворотного каналів пасивних оптичних мереж (PON – Pasive Optical Network) аналітичними та програмними засобами.

У третій частині посібника викладено особливості проектування мереж ШД згідно зі специфікацією Euro-DOCSIS. Наведено методику та приклади проектування оптичної ділянки гібридної волоконно-коаксіальної мережі кабельного телебачення (технологія HFC – Hybrid Fiber-Coax) з топологіями „зірка", „шина", „дерево".

ЧАСТИНА 1
ПРОЕКТУВАННЯ ШИРОКОСМУГОВОГО ДОСТУПУ ЗА ТЕХНОЛОГІЯМИ XDSL

1. СТРУКТУРА ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНОЇ МЕРЕЖІ. ЗАДАЧІ ПРОЕКТУВАННЯ МЕРЕЖІ ШИРОКОСМУГОВОГО ДОСТУПУ

Телекомунікаційну (ТК) систему та її складові можна представити у вигляді трьох площин, обмежених концентричними колами: в центрі розташована площина транспортної мережі зв'язку, вище площина мережі доступу і далі – площина мережі абонентів (користувачів) (рис. 1.1).



ТрМ – транспортна мережа;
ТК – телекомунікаційна мережа (система);
ТП – термінальні (кінцеві) пристрої;
ВП – вузол послуг;
МВ – мережний вузол;
ПЗМ – пункт закінчення мережі;
– – шлях з'єднання

Примітка. Комутаційні вузли транспортної мережі на рисунку не наведені.

Рис. 1.1. Телекомунікаційна мережа

На зовнішній оболонці цієї гіпотетичної системи зв'язку розташовані, об'єднані мережею користувача (провайдера), різноманітні джерела інформації,

термінали споживачів послуг телекомунікацій та інформаційних ресурсів системи зв'язку. У простому випадку термінал – це телефонний апарат, підімкнений в розетку, у складному – це внутрішня локальна мережа домашня або підприємства, така, що містить ряд різноманітних термінальних пристроїв, функціонує за власними протоколами, і підімкнена через відповідне обладнання до мережного закінчення в кінцевому пункті телекомунікаційної мережі. Як середовище передачі сигналів в основному використовуються структуровані кабельні системи. Можливе застосування також волоконно-оптичних безпровідних технологій.

Мережі доступу забезпечують взаємне з'єднання кінцевих пунктів телекомунікаційної мережі з найближчим вузлом транспортної мережі. Кінцевий пункт мережі (мережне закінчення) є межею відповідальності оператора (провайдера), що надає телекомунікаційні послуги.

Транспортна мережа забезпечує передавання сигналів між мережними вузлами з потрібними швидкістю й якістю. На цей час вона розвивається як універсальна мультисервісна широкосмугова цифрова мережа на базі переважно оптичних систем передачі синхронної ієрархії, а також супутникових і радіорелейних ліній передачі.

Кожна зі складових телекомунікаційної системи характеризується власними технологіями передачі і маршрутизації (комутації) сигналів, протоколами, інтерфейсами взаємодії й управління. Критерій їх взаємодії – забезпечення передавання сигналів між термінальними пристроями із заданою якістю.

Телекомунікаційна система – система, що включає власне, телекомунікаційну мережу й усю сукупність термінального обладнання та вузлів надання послуг, яке фізично і логічно з’єднано з мережею.

Примітка. Прикладами телекомунікаційних систем служать, наприклад, система телефонного зв'язку, система мобільного зв'язку, система супутникового зв'язку та ін.

Телекомунікаційна мережа – комплекс об'єднаних в єдиному технологічному процесі мережних вузлів і ліній передачі, який забезпечує передавання сигналів між мережними закінченнями з потрібними швидкістю й якістю.

Примітка. ТК система відрізняється від ТК мережі наявністю термінального обладнання вузлів надання різного роду телекомунікаційних та інформаційних послуг.

Транспортна мережа – телекомунікаційна мережа, яка забезпечує взаємне з’єднання мереж доступу і передачу сигналів між ними без проміжного накопичення.

Мережа доступу – частина телекомунікаційної мережі, яка забезпечує взаємне з’єднання кінцевого пункту мережі з найближчим вузлом транспортної мережі.

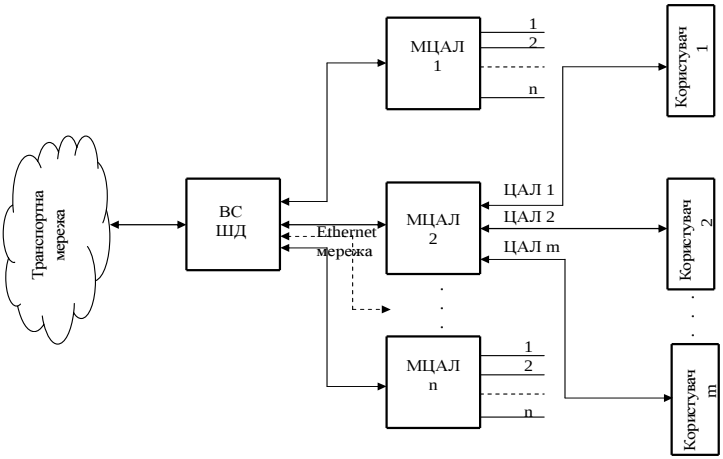
Мережа абонента (користувачів) (мережа термінального обладнання, будинкова мережа, локальна мережа і т. д.) – частина ТК системи, що включає вузли надання послуг, термінальне обладнання користувачів, мультиплексори, роутери, сервери та інше обладнання, які об'єднані каналами зв'язку в єдину мережу користувача, підімкнену до кінцевого пункту мережі доступу.

Пункт закінчення мережі (ПЗМ) – пункт, де здійснюється фізичне і логічне підімкнення за стандартними інтерфейсами термінального обладнання користувачів до телекомунікаційної мережі.

Мережний вузол – комутаційна станція, комутатор, маршрутизатор включені за допомогою широкосмугових каналів зв'язку у систему мережних вузлів, що взаємодіють за певними протоколами з метою передавання сигналів між вузлами з необхідною якістю.

Вузол послуг (ВП**)** – обладнання телекомунікаційної мережі або підімкнене до ТК мережі, яке надає користувачеві певні інформаційні послуги.

Узагальнена схема мережі широкосмугового доступу (ШД) наведена на рис. 1.2.



ВСШД – віддалений сервер широкосмугового доступу (Broadband Remote Access Server - BRAS);

МЦАЛ – мультиплексор цифрових абонентських ліній (Digital Subscriber Line Access Multiplexer - DSLAM);

ЦАЛ – цифрова абонентська лінія (оптична або електрична)

Рис. 1.2. Узагальнена схема мережі широкосмугового доступу

У загальному випадку мережа ШД складається з цифрових абонентських ліній (ЦАЛ), побудованих за одною з провідних технологій і з'єднуючих обладнання користувачів з мультиплексором ЦАЛ. Мультиплексор ЦАЛ об'єднує цифрові потоки різних ЦАЛ в єдиний, і передає його на віддалений сервер (ВС) ШД. Функції ВС ШД наступні: мультиплексує цифрові потоки DSLAM та забезпечує агрегацію PPPoE- сесій (PPPoE – Point-to-Point Protocol over Ethernet) абонентів. Взаємодія BRAS з AAA-системою (AAA – Authentication, Authorization and Accounting) забезпечує автентифікацію, авторизацію та облік наданих послуг за кожним абонентом. На основі отриманої від AAA-системи інформації BRAS формує політику обслуговування абонентів.

2. ПРОЕКТУВАННЯ МЕРЕЖІ ШИРОКОСМУГОВОГО ДОСТУПУ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ КАБЕЛІВ ТЕЛЕФОННОЇ МЕРЕЖІ

2.1. Мережі xDSL-доступу

Використання кабелів телефонної мережі для побудови ЦАЛ є найекономічнішим переважним варіантом, якщо швидкість передавання інформації по ЦАЛ не перевищує близько 20 Мбіт/с. На цей час є технології, що дозволяють передавати інформацію по стандартних телефонних кабелях понад 100 Мбіт/с. Для цілей побудови ЦАЛ з використанням телефонних кабелів розроблені спеціальні технології передачі – xDSL (Рекомендація МСЕ G 991 – G 993), основні характеристики систем передачі (СП) технологій xDSL наведені в п. 5.1. Мережі ШД побудовані із застосуванням цих технологій, надалі називатимемо мережами xDS-доступу.

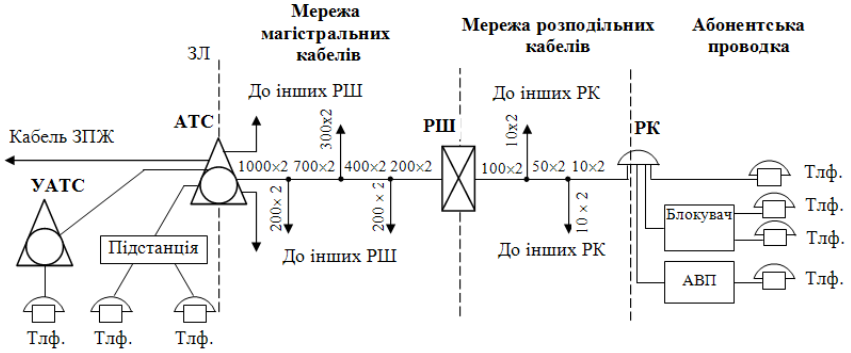
Основна складність проектування мережі xDSL-доступу полягає в тому, що кабелі, які використовуються на телефонній мережі, є багатопарними, з невисокими перехідними загасаннями між парами. Це призводить до того, що перехідні завади мережі паралельно працюючих ЦАЛ суттєво впливають на їх характеристики.

Якщо взяти до уваги, що часто паралельно працюючих в одному кабелі ЦАЛ може досягати сотень, то очевидно, що проектування мережі вимагає застосування спеціальних засобів проектування. Таким засобом є програмне забезпечення «Tiora», розроблене спеціально для цілей проектування ЦАЛ з xDSL-технологіями передачі (п. 5.2).

Об'єктом проектування є ЦАЛ, що поєднує обладнання користувача і мультиплексор ЦАЛ. Конструктивно ЦАЛ складається з лінії зв'язку, побудованою на оптичному, коаксіальному або телефонному кабелі (або їх комбінації – гібридні лінії зв'язку) і приймально-передавальному (П-П) обладнанні (модемах), включеному на кінцях лінії. У відповідності з типом кабелю ЦАЛ класифікують як оптичні, коаксіальні, гібридні і кабельні телефонні лінії. Оскільки П-П обладнання стандартизовано відповідними рекомендаціями МСЕ, то метою проектування є, за заданою довжиною АЛ і типом кабелю, визначення допустимої швидкості передавання, або, якщо задана необхідна швидкість передавання по ЦАЛ, то визначенню підлягають параметри кабельної лінії: довжина, тип кабелю, діаметр жил.

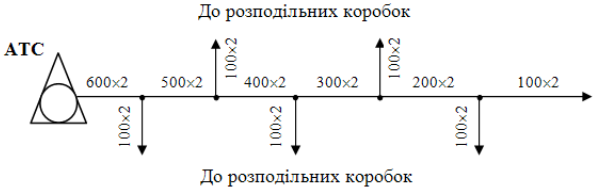
2.2. Типова побудова міської телефонної мережі

Місцева мережа зв'язку включає міську, сільську й комбіновану телефонні мережі [КНД 45-076-98]. Міська телефонна мережа (МТМ) складається з автоматичних телефонних станцій (АТС), які з'єднуються за допомогою з`єднувальних ліній (ЗЛ) і мережі абонентських ліній (АЛ), що забезпечують доступ окремих користувачів (абонентів) до АТС. Мережа АЛ будується за шафовою і безшафовою системами. Схеми побудови мережі АЛ за шафовою і безшафовою системами зображені на рис. 2.1.



АТС – автоматична телефонна станція; РШ – розподільна шафа; РК – розподільна коробка;
УАТС – установча АТС; АВП – абонентський високочастотний пристрій; ЗПЖ – зона прямого живлення; ЗЛ – з'єднувальна лінія

а)



б)

Рис. 2.1. Приклади схем шафової (***а***) і безшафової (***б***) систем побудови мережі АЛ МТМ

При шафовій системі побудови мережа АЛ складається із сукупності ліній від автоматичної телефонної станції до телефонних апаратів абонентів і поділяється на магістральну і розподільну ділянки й абонентську проводку. Типова структура АЛ телефонної мережі показана на рис. 2.2.

Безшафова система побудови мережі АЛ (рис. 2.1, б) забезпечує більшу гнучкість за рахунок паралельного ввімкнення кабелів. При цьому окремі пари кабелю вмикаються паралельно в декількох розподільних коробках.

При шафовій системі побудови мережі (рис. 2.1, а) від АТС у різних напрямах виходять великі за ємністю кабелі (до 1200 – 2400 пар), які в розгалужених муфтах (рукавичках) поділяються на кабелі меншої ємності. Ці кабелі разом з лінійним обладнанням становлять магістральну мережу. Кабелі магістральної мережі вмикаються в розподільні шафи (РШ) ємністю 1200 × 2 або 600 × 2. З розподільних шаф виходять кабелі меншої ємності (100 – 50 пар), які розгалужуються в муфтах і підходять до розподільних коробок (РК) ємністю до 10 пар. Ці кабелі разом з лінійним обладнанням становлять розподільну мережу. Від розподільних коробок до телефонних апаратів абонентів прокладаються однопарні кабелі – абонентська проводка.

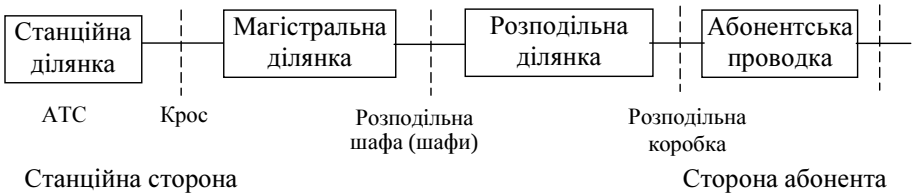


Рис. 2.2. Типова структура АЛ телефонної мережі

Навколо АТС зазвичай розташовується зона прямого живлення, що має приблизно форму кола радіусом 300...500 м (рис. 2.3).

Всі телефонні апарати (Тлф), які розташовані в зоні прямого живлення, вмикаються в АТС за допомогою окремих кабелів через РК, минаючи РШ. В одному кабелі не повинні міститися пари, призначені для обслуговування абонентів зони прямого живлення, і пари, призначені для обслуговування абонентів зоною прямого живлення.

На відміну від розподільної мережі й зони прямого живлення, кабелі магістральної мережі повинні утримуватись під надмірним повітряним тиском, що забезпечує кращі значення електричних параметрів протягом тривалого часу експлуатації.

У кабельну шахту АТС від захисних смуг кроса подаються кабелі ємністю 100 пар, де вони з'єднуються з лінійними кабелями великої ємності (до 1200 пар і більше) у розгалужувальних муфтах. Лінійні кабелі виходять із шахти через станційний колодязь і розходяться у різних напрямах району по кабельній каналізації. РШ установлюються в житлових й адміністративних будинках, на вулицях міста й обладнуються кабельними боксами 100 × 2. Магістральні кабелі з віддаленням від АТС послідовно розпаюються в

„рукавичках” на кабелі меншої ємності – до 100 пар, які вводяться в РШ. Розподільна мережа будується на кабелях меншої ємності, як правило, до 10 пар. Останні вмикаються в РК, що розміщені в кабельних стояках, на стінах приміщень і горищах. Від РК прокладається провід однопарної абонентської проводки, що закінчуються роз’єднувачами, в які вмикаються телефонні апарати, таксофони та інша апаратура, установлена в квартирах і приміщеннях адміністративних будинків.

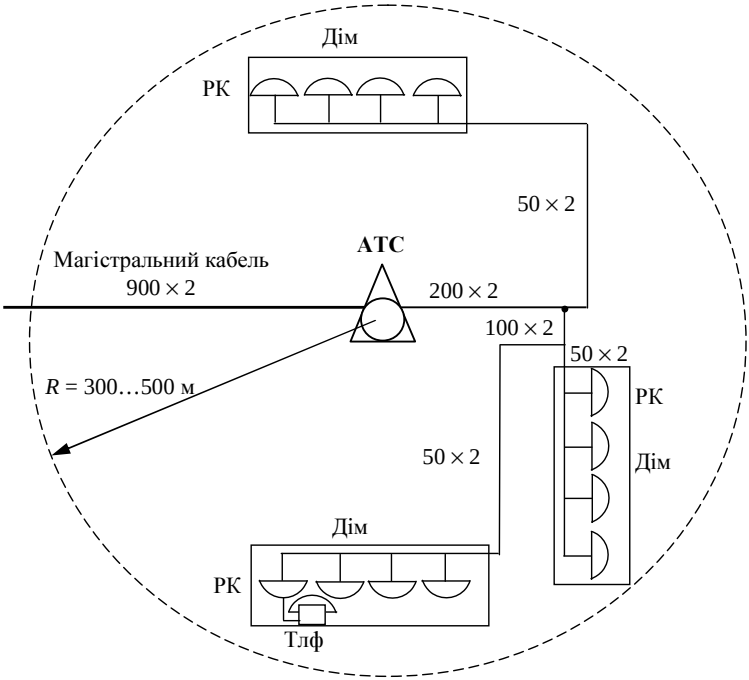


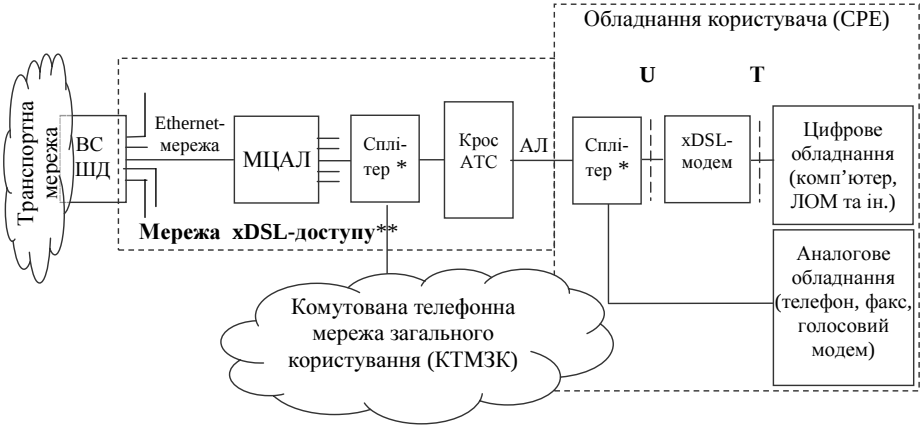
Рис. 2.3. Варіант фрагмента мережі абонентських ліній

2.3. Типова структура мережі xDSL-доступу

Типова структура мережі xDSL-доступу зображена на рис. 2.4.

На рис. 2.4 мережа xDSL-доступу – це частина мережі електрозв’язку, що обмежена еталонною точкою U (або T) та BRAS (у тій його частині, що мультиплексує цифрові потоки МЦАЛ). У якості обладнання користувача можуть виступати xDSL-модем, локальна комп’ютерна мережа, персональний комп'ютер та інші пристрої.

Модем xDSL установлюється у приміщенні користувача і може включати функції маршрутизатора, моста та/або комутатора.



ВСШД – віддалений сервер широкосмугового доступу (Broadband Remote Access Server – BRAS);

МЦАЛ – мультиплексор цифрових абонентських ліній (Digital Subscriber Line Access Multiplexer – DSLAM);

АТС – автоматична телефонна станція;

АЛ – абонентська лінія

* Сплітер не використовується у симетричних видах xDSL (HDSL, SHDSL). Сплітер може бути вбудованим у DSLAM та xDSL-модем.

** У деяких випадках мережа xDSL-доступу може закінчуватись у точці „T".

Рис. 2.4. Структура мережі xDSL-доступу

Сплітер представляє собою фільтр, що відділяє високочастотні сигнали xDSL від низькочастотних телефонних сигналів (смуга частот від 0,3 до 3,4 кГц) або сигналів ISDN (від 0 до 80 кГц).

МЦАЛ термінує сигнали xDSL. Це перший елемент мережі доступу, де відбувається агрегація трафіка множини цифрових абонентських ліній.

Ethernet-мережа (на рис. 2.4) – це частина мережі xDSL-доступу, яка обмежена множиною МЦАЛ та ВСШД і використовує технологію передавання Ethernet.

2.4. Види проектування мережі xDSL-доступу

При проектуванні мережі xDSL-доступу по багатопарних телефонних кабелях з металевими жилами виникають задачі двох основних класів.

До першого класу відносяться задачі проектування мережі xDSL-доступу з використанням АЛ вже існуючої телефонної мережі з визначеними параметрами і характеристиками, діючими на мережі з різноманітними системами передачі (xDSL-лініями, системами охоронної, протипожежної сигналізації, модемами, системами цифрового ущільнення та ін.).

До другого класу відносяться задачі проектування мережі xDSL-доступу одночасно з проектуванням традиційної телефонної мережі – нове будівництво, розвиток існуючої телефонної мережі.

В обох класах можливі різні поставлення задач.

Найбільш розповсюдженими (актуальними) задачами проектування першого класу є наступні:

Задача 1.1. Задані параметри існуючої телефонної мережі, існуючої мережі xDSL-доступу (якщо вона є), побудованої на базі цієї телефонної мережі, і вимоги до проектованої (планованої) мережі xDSL-доступу. Треба визначити, чи можливо реалізувати плановану мережу xDSL-доступу.

Задача 1.2. Виникає у випадку неможливості вирішити у повному обсязі задачу 1.1. У цьому випадку можливі такі варіанти проектування: зниження бажаних швидкостей передавання по xDSL-лініях, зменшення кількості планованих xDSL-ліній, прокладання кабелю з підвищеним перехідним загасанням на найбільш критичних (до перехідних завад) ділянках кабельної мережі. Таким чином, задача полягає у визначенні, скільки і які саме xDSL-лінії із заданими швидкостями передавання можна організувати або які максимальні швидкості передавання можуть бути забезпечені кожною xDSL-лінією із заданої сукупності xDSL-ліній. При цьому нові xDSL-лінії не повинні порушувати працездатність вже працюючих xDSL-ліній.

Серед задач другого класу можливі наступні: по-перше, це розвиток існуючої телефонної мережі шляхом прокладання нових кабелів від діючої комутаційної станції (КС) до абонентів (задача 2.1); по-друге, це будівництво нової телефонної мережі, включаючи телефонні станції, підстанції, виносні абонентські модулі та кабелі (задача 2.2).

Основні задачі проектування наступні:

Задача 2.1. Задані характеристики проектованої телефонної мережі та мережі xDSL-доступу: проектована кількість телефонів, xDSL-ліній з відповідними швидкостями передавання, кількість розподільних коробок (РК), відстані від існуючої КС до груп компактно розташованих абонентів (ГКРА). Необхідно визначити довжини і типи кабелів на магістральних і розподільних ділянках проектованої мережі.

Задача 2.2. Задані характеристики проектованої телефонної мережі та мережі xDSL-доступу: проектована кількість телефонів, xDSL-ліній з відповідними швидкостями передавання, кількість розподільних коробок (РК), місця розташування груп компактно розташованих абонентів (ГКРА). Необхідно визначити місця розташування планованих КС, підстанцій і т.д., а також довжини і типів кабелів на магістральних і розподільних ділянках проектованої мережі.

Можливі також інші постановлення задач другого класу, які можуть розглядатися як варіанти задач 2.1 або 2.2, наприклад, такі:

а) при заданому відсотку пар кабелів, завантажених xDSL-лініями із заданими однаковими швидкостями передавання, визначити довжини і типи кабелів на магістральних і розподільних ділянках проектованої мережі (варіант задачі 2.1);

б) при заданому відсотку пар кабелів, завантажених xDSL-лініями із заданими однаковими швидкостями передавання, визначити місця розташування планованих КС, підстанцій і т.д., а також довжини і типів кабелів на магістральних і розподільних ділянках проектованої мережі (варіант задачі 2.2).

2.5. Загальні рекомендації з проектування нових мереж xDSL-доступу

Проектування починається з видачі Замовником задач, що містить вихідні дані для проектування:

1. Загальна кількість об'єктів, що телефонізуються (квартир, офісів, підприємств, організацій) із зазначенням категорій абонентів (бізнес, котедж, багатоквартирні будинки, малоповерхова неелітна місцевість).

2. Плановане число абонентів, що будуть підключатися до мережі ШД за етапами, з можливими швидкостями доступу (дані надаються планово-економічними службами Замовника).

3. Основна швидкість доступу.

4. Прив'язка об'єктів до карти району, що телефонізується.

5. Дані про існуючу телефонну мережу, план кабельної каналізації.

Усі об'єкти телефонізації зручно поділити на наступні категорії:

Категорія 1. Бізнес-центри, великі підприємства. Характеризуються великими необхідними швидкостями передавання, високою платоспроможністю та високою концентрацією користувачів.

Категорія 2. Елітна котеджна забудова. Характеризується тим самим, що і категорія 1 за винятком високої концентрації користувачів.

Категорія 3. Багатоповерхова квартирна забудова. Висока концентрація користувачів, але платоспроможність середня.

Категорія 4. Малоповерхова, неелітна житлова і дачна забудова. Мала концентрація користувачів, невеликий попит на високі швидкості доступу.

Проектування телефонної мережі здійснюється з позицій забезпечення вимог мережі xDSL-доступу, які набагато жорсткіші ніж вимоги до телефонних АЛ.

Проектування здійснюється за допомогою програмного забезпечення (ПЗ) «Тіора» (див. розд. 5.2) і складається з двох етапів. На першому етапі розробляється попередній проект, який на другому етапі уточнюється за допомогою ПЗ «Тіора».

На першому етапі визначається загальна структура мережі, що проектується. При цьому необхідно керуватися наступними критеріями.

1. Необхідно мінімізувати капітальні витрати на будівництво мережі.

2. У зв'язку з обмеженнями на довжину АЛ, що накладаються системами передачі xDSL, мережа ШАД на базі електричних телефонних кабелів повинна, як правило, будуватися з використанням ВМК – виносних модулів комутації (рис. 2.5).

3. Зв'язок (з'єднувальна лінія) між АТС і ВМК здійснюється за допомогою волоконно-оптичної системи передачі (ВОСП).

4. Абонентські лінії, що з'єднують ВМК з абонентами, будуються з використанням кабелів типу ТП діаметром 0,64; 0,5; 0,4 мм або кабелів типу «Вита пара» за традиційними шафовою або без шафовою схемами (див. рис. 2.1).

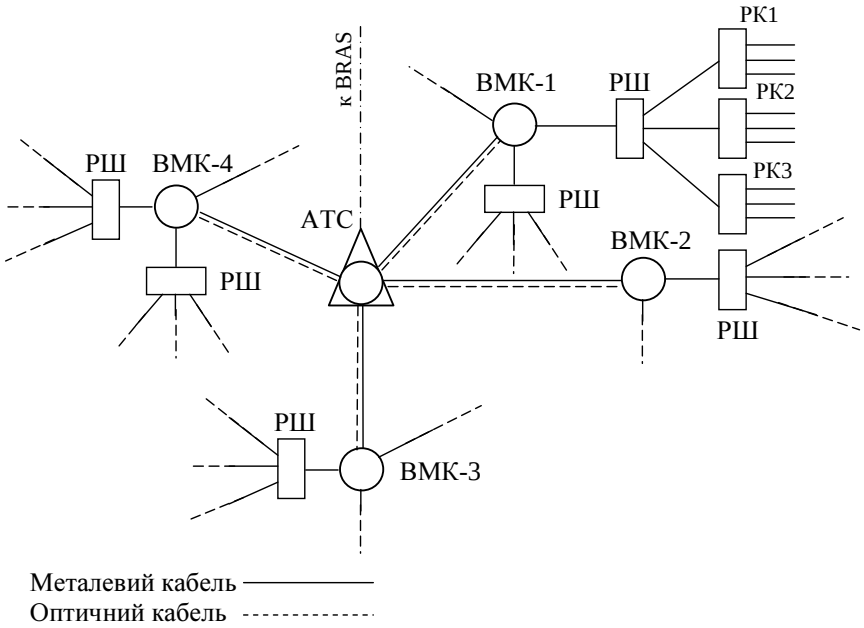


Рис. 2.5. Фрагмент мережі ШАД

5. Абонентська проводка виконується кабелем типу «Вита пара».

6. ВМК комплектується мультиплексорами МЦАЛ у необхідній кількості та акумуляторною батареєю для живлення у випадку пошкодження мережі живлення 220 В.

7. Питання про економічну доцільність установлення ВМК повинно вирішуватися з урахуванням капітальних витрат на установлення, вартості альтернативних рішень (прокладання кабелю ТП з малим завантаженням системами передачі ADSL2+ або кабелю з покращеними частотними характеристиками) і перспектив розвитку.

Попереднє проектування починається з виділення ГКРА та визначення їх категорій. Для кожної з груп залежно від категорії задається основна (максимальна) швидкість доступу (профіль доступу) і за табл. 2.1...2.10 визначається максимальна довжина АЛ мережі ШАД. При цьому вважається, що абонентська проводка здійснюється обвитою парою, довжина якої не перевищує 30 м.

Для категорій користувачів 1, 2, якщо не задані інші умови, рекомендується спиратися на такі вихідні дані: максимальна швидкість передавання – 19,6 Мбіт/с, 100% підімкнення абонентів телефонної мережі до мережі ШАД (якщо задані швидкості у деяких користувачів будуть нижчі, то все одно необхідно виходити з максимальної).

У цьому випадку відповідно до табл. 2.1 довжина ЦАЛ становить 140 – 270 м і магістральна ділянка практично відсутня, тому доцільно

застосовувати ВМК. ВМК розміщується в центрі проектованого фрагмента мережі ШАД. Розподільна ділянка будується на кабелі ТП 10 × 2 з діаметром жил 0,5 мм довжиною до 270 м при 100% завантаженні кабелю системами передачі ADSL2+ або до 600 м при 50% завантаженні кабелю. Якщо в окремих випадках необхідно збільшити довжину ЦАЛ, то треба відповідно до табл. 2.1...2.10 вибрати тип та завантаження кабелю.

До ВМК можуть підмикатися абоненти з більш високими швидкостями передавання – до 24 Мбіт/с або до 50 Мбіт/с. При цьому їх підімкнення рекомендується здійснювати окремим кабелем відповідної довжини.

Довжина АЛ визначається в залежності від швидкості доступу і відсотка завантаження кабелю системами передачі ADSL2+ відповідно до табл. 2.1...2.10.

Для користувачів категорій 3 і 4 потрібно, якщо не задано інше, виходити з максимальної швидкості доступу 9,8 Мбіт/с, що дозволяє надавати послугу Triple Play. При 100% завантаженні 100-парного кабелю типу ТП (табл. 2.1) загальна довжина магістральної й розподільної ділянок АЛ становить від 1,6 км для кабелю з діаметром жил 0,4 мм до 2 км для кабелю з діаметром жил 0,5 мм.

Якщо обмежитися середньою довжиною АЛ 1,6 км (кабель ТП×100×0,4), то ВМК повинні бути розташовані на відстані 3,2 км один від одного, щоб покрити рівномірно територію населеного району мережею доступу.

ВМК, очевидно, необхідно розміщувати в межах вказаної відстані в місцях найбільшої концентрації потенційних користувачів. Вибір місць розташування РШ, РК здійснюється з урахуванням співвідношення оптимальних довжин магістральної і розподільної ділянок мережі доступу.

Співвідношення довжин ділянок $l_{\text{м}}$ (магістральної ділянки), $l_{\text{р}}$ (розподільної ділянки), $l_{\text{а}}$ (абонентської проводки) обирається зі співвідношення капітальних витрат на їх будівництво.

Якщо капітальні витрати відомі, то необхідно мінімізувати загальні витрати на будівництво мережі ШАД:

$$C = l_{\text{м}} C_{\text{м}} + C^{n}_{\text{ра}} \sum_{i=1}^{n} l_{\text{ра},i}, \tag{2.1}$$

де $C_{\text{м}}$ та $C^{n}_{\text{ра}}$ − вартість будівництва питомого метра магістральної, розподільної й абонентської ділянок відповідно;

$l_{\text{ра},i}$ − сумарна довжина розподільної ділянки та абонентської проводки i-го відгалуження магістрального кабелю;

n − кількість відгалужень магістрального кабелю, тобто кількість кабелів розподільної ділянки, на які поділяється магістральний кабель.

Мінімум (2.1) досягається за умови:

$$l_{\text{м}} C^{n}_{\text{м}} = C^{n}_{\text{ра}} \sum_{i=1}^{n} l_{\text{ра},i}, \tag{2.2}$$

або

$$\frac{l_{\text{м}}}{\sum_{i=1}^{n} l_{\text{ра},i}} = \frac{C_{\text{ра}}^{n}}{C_{\text{м}}}.$$

На другому етапі проектування отримані характеристики ШАД вводяться в програму проектування «Tiora» і здійснюється перевірка характеристик ЦАЛ та їх оптимізація.

Таблиця 2.1

Довжина ліній ADSL 2+ при спектральній щільності потужності шуму мінус 120 дБм/Гц і 100% завантаженні кабелю пучкової скрутки

Швидкість, кбіт/с	**ТП 100×2**			**ТП 50×2**			**ТП 10×2**		
	0,64	0,5	0,4	0,64	0,5	0,4	0,64	0,5	0,4
19648/928	0,14	0,14	0,14	0,19	0,19	0,19	0,27	0,27	0,27
14720/928	0,90	0,88	0,84	1,18	1,12	1,02	1,53	1,35	1,16
9824/928	2,62	2,06	1,68	2,73	2,12	1,73	2,82	2,18	1,78
4896/928	4,19	3,2	2,56	4,24	3,23	2,57	4,29	3,26	2,6
2464/608	5,35	4,05	3,17	5,38	4,06	3,18	5,43	4,09	3,19
1248/608	6,41	4,79	3,68	6,42	4,82	3,69	6,49	4,85	3,71
608/320	7,34	5,43	4,11	7,35	5,47	4,14	7,46	5,5	4,15

Таблиця 2.2

Довжина ліній ADSL 2+ при спектральній щільності потужності шуму мінус 120 дБм/Гц і 50% завантаженні кабелю пучкової скрутки

Швидкість, кбіт/с	**ТП 100×2**			**ТП 50×2**			**ТП 10×2**		
	0,64	0,5	0,4	0,64	0,5	0,4	0,64	0,5	0,4
19648/928	0,31	0,31	0,32	0,43	0,43	0,42	0,61	0,6	0,58
14720/928	1,67	1,41	1,2	1,89	1,53	1,28	2,06	1,63	1,34
9824/928	2,86	2,21	1,8	2,93	2,26	1,83	3,01	2,31	1,86
4896/928	4,3	3,26	2,6	4,33	3,28	2,61	4,37	3,3	2,62
2464/608	5,43	4,09	3,19	5,45	4,11	3,2	5,47	4,12	3,21
1248/608	6,47	4,83	3,7	6,5	4,85	3,71	6,54	4,88	3,72
608/320	7,45	5,5	4,15	7,46	5,52	4,16	7,54	5,56	4,18

Таблиця 2.3

Довжина ліній ADSL 2+ при спектральній щільності потужності шуму мінус 120 дБм/Гц і 30% завантаженні кабелю пучкової скрутки

Швидкість, кбіт/с	**ТП 100×2**			**ТП 50×2**			**ТП 10×2**		
	0,64	0,5	0,4	0,64	0,5	0,4	0,64	0,5	0,4
19648/928	0,57	0,56	0,55	0,8	0,77	0,72	1,13	1,0	0,87
14720/928	2,03	1,61	1,33	2,15	1,69	1,38	2,27	1,75	1,43
9824/928	3,0	2,3	1,86	3,06	2,34	1,88	3,12	2,37	1,9
4896/928	4,36	3,29	2,62	4,38	3,31	2,62	4,4	3,33	2,63
2464/608	5,47	4,11	3,21	5,49	4,12	3,21	5,51	4,14	3,23
1248/608	6,52	4,86	3,71	6,53	4,88	3,72	6,57	4,9	3,74
608/320	7,51	5,53	4,16	7,52	5,55	4,18	7,58	5,59	4,2

Таблиця 2.4

Довжина ліній ADSL 2+ при спектральній щільності потужності шуму мінус 120 дБм/Гц і 10% завантаженні кабелю пучкової скрутки

Швидкість, кбіт/с	**ТП 100×2**			**ТП 50×2**			**ТП 10×2**		
	0,64	0,5	0,4	0,64	0,5	0,4	0,64	0,5	0,4
19648/928	1,63	1,28	1,04	1,79	1,38	1,12	1,95	1,47	1,18
14720/928	2,42	1,85	1,49	2,49	1,89	1,51	2,54	1,92	1,54
9824/928	3,18	2,41	1,93	3,22	2,43	1,94	3,25	2,46	1,95
4896/928	4,42	3,34	2,64	4,44	3,35	2,64	4,46	3,36	2,65
2464/608	5,52	4,15	3,23	5,53	4,16	3,24	5,56	4,19	3,26
1248/608	6,60	4,91	3,75	6,62	4,92	3,76	6,65	4,98	3,79
608/320	7,6	5,6	4,21	7,64	5,62	4,22	7,73	5,7	4,26

Таблиця 2.5

Довжина ліній ADSL 2+ при спектральній щільності потужності шуму мінус 100 дБм/Гц і 100% завантаженні кабелю пучкової скрутки

Швидкість, кбіт/с	**ТП 100×2**			**ТП 50×2**			**ТП 10×2**		
	0,64	0,5	0,4	0,64	0,5	0,4	0,64	0,5	0,4
19648/928	0,1	0,1	0,09	0,13	0,12	0,12	0,17	0,16	0,15
14720/928	0,65	0,8	0,6	0,7	0,6	0,53	0,8	0,6	0,56
9824/928	1,5	1,2	1	1,5	1,2	0,9	1,6	1,2	0,9
4896/928	2,5	1,9	1,5	2,5	1,9	1,4	2,5	1,9	1,4
2464/608	3,3	2,5	2	3,3	2,5	2	3,4	2,5	2
1248/608	4,1	3,1	2,3	4,1	3,1	2,3	4,1	3,1	2,3
608/320	4,9	3,6	2,7	4,9	3,6	2,7	4,9	3,6	2,7

Таблиця 2.6

Довжина ліній ADSL 2+ при спектральній щільності потужності шуму мінус 100 дБм/Гц і 50% завантаженні кабелю пучкової скрутки

Швидкість, кбіт/с	**ТП 100×2**			**ТП 50×2**			**ТП 10×2**		
	0,64	0,5	0,4	0,64	0,5	0,4	0,64	0,5	0,4
19648/928	0,19	0,17	0,16	0,24	0,21	0,19	0,29	0,26	0,23
14720/928	0,8	0,6	0,57	0,9	0,7	0,6	0,9	0,7	0,6
9824/928	1,6	1,2	0,9	1,6	1,2	1	1,6	1,2	1
4896/928	2,5	1,9	1,5	2,5	1,9	1,5	2,6	1,9	1,5
2464/608	3,3	2,5	2	3,4	2,5	2	3,4	2,5	2
1248/608	4,1	3,1	2,3	4,1	3,1	2,3	4,1	3,1	2,3
608/320	4,9	3,6	2,7	4,9	3,6	2,7	4,9	3,6	2,7

Таблиця 2.7

Довжина ліній ADSL 2+ при спектральній щільності потужності шуму мінус 100 дБм/Гц і 30% завантаженні кабелю пучкової скрутки

Швидкість, кбіт/с	**ТП 100×2**			**ТП 50×2**			**ТП 10×2**		
	0,64	0,5	0,4	0,64	0,5	0,4	0,64	0,5	0,4
19648/928	0,28	0,25	0,22	0,24	0,21	0,19	0,4	0,32	0,27
14720/928	0,9	0,7	0,6	0,9	0,7	0,6	1	0,8	0,6
9824/928	1,6	1,2	1	1,6	1,2	1	1,6	1,2	1
4896/928	2,6	1,9	1,5	2,5	1,9	1,5	2,6	1,9	1,5
2464/608	3,4	2,5	2	3,4	2,5	2	3,4	2,5	2
1248/608	4,1	3,1	2,3	4,1	3,1	2,3	4,1	3,1	2,3
608/320	4,9	3,6	2,7	4,9	3,6	2,7	4,9	3,6	2,7

Таблиця 2.8

Довжина ліній ADSL 2+ при спектральній щільності потужності шуму мінус 130 дБм/Гц і 100% завантаженні кабелю пучкової скрутки

Швидкість, кбіт/с	**ТП 100×2**			**ТП 50×2**			**ТП 10×2**		
	0,64	0,5	0,4	0,64	0,5	0,4	0,64	0,5	0,4
19648/928	0,14	0,14	0,14	0,2	0,19	0,19	0,27	0,27	0,27
14720/928	0,9	2,4	0,8	1,2	1,1	1,1	1,6	1,5	1,3
9824/928	3	3,7	2	3,2	2,5	2	3,3	2,6	2,1
4896/928	4,9	4,7	3	5	3,8	3	5,1	3,8	3,1
2464/608	6,3	5,6	3,7	6,3	4,8	3,7	6,4	4,8	3,7
1248/608	7,4	6,3	4,3	7,5	5,6	4,3	7,5	5,6	4,3
608/320	8,4	6,8	4,7	8,5	6,3	4,7	8,6	6,3	4,8

Таблиця 2.9

Довжина ліній ADSL 2+ при спектральній щільності потужності шуму мінус 130 дБм/Гц і 50% завантаженні кабелю пучкової скрутки

Швидкість, кбіт/с	**ТП 100×2**			**ТП 50×2**			**ТП 10×2**		
	0,64	0,5	0,4	0,64	0,5	0,4	0,64	0,5	0,4
19648/928	0,31	0,31	0,31	0,43	0,43	0,43	0,62	0,62	0,61
14720/928	1,8	1,6	1,4	2,2	1,8	1,5	2,5	2	1,6
9824/928	3,4	2,6	2,1	3,5	2,7	2,2	3,6	2,8	2,2
4896/928	5,1	3,8	3,1	5,1	3,9	3,1	5,2	3,9	3,1
2464/608	6,4	4,8	3,7	6,4	4,8	3,7	6,4	4,9	3,8
1248/608	7,5	5,6	4,3	7,6	5,6	4,3	7,6	5,7	4,3
608/320	8,5	6,3	4,8	8,6	6,3	4,8	8,6	6,4	4,8

Таблиця 2.10

Довжина ліній ADSL 2+ при спектральній щільності потужності шуму мінус 130 дБм/Гц і 30% завантаженні кабелю пучкової скрутки

Швидкість, кбіт/с	**ТП 100×2**			**ТП 50×2**			**ТП 10×2**		
	0,64	0,5	0,4	0,64	0,5	0,4	0,64	0,5	0,4
19648/928	0,58	0,58	0,57	0,8	0,8	0,8	1,2	1,1	1
14720/928	2,4	1,9	1,6	2,6	2	1,7	2,8	2,1	1,7
9824/928	3,6	2,7	2,2	3,7	2,8	2,3	3,8	2,9	2,3
4896/928	5,2	3,9	3,1	5,2	3,9	3,1	5,3	4	3,1
2464/608	6,4	4,8	3,8	6,5	4,9	3,8	6,5	4,9	3,8
1248/608	7,6	5,7	4,3	7,6	5,7	4,3	7,7	5,7	4,3
608/320	8,6	6,4	4,8	8,6	6,4	4,8	8,7	6,4	4,8

2.6. Рішення задач проектування першого класу

Блок-схема алгоритму проектування для задачі 1.2 наведена на рис. 2.6. Алгоритм проектування описаний нижче:

1) Задаємо вихідні дані (блок 1).

2) За допомогою ПЗ за вихідними даними розраховуємо характеристики існуючих (якщо вони є) та проектованих xDSL-ліній (блоки 2, 3).

3) За результатами розрахунків ПЗ отримуємо відповідь на питання: чи можливо організувати xDSL-лінії із заданими параметрами (блок 4)?

4) У випадку негативного результату необхідно на ділянках РШ – РК фрагментів мережі (саме на яких результат є негативний) запланувати заміну даного кабелю на кабель з більшим діаметром жил, з більшою кількістю пар, з підвищеними перехідними загасаннями між парами або прокладання додаткового кабелю (блоки 5, 6). Провести повторний розрахунок.

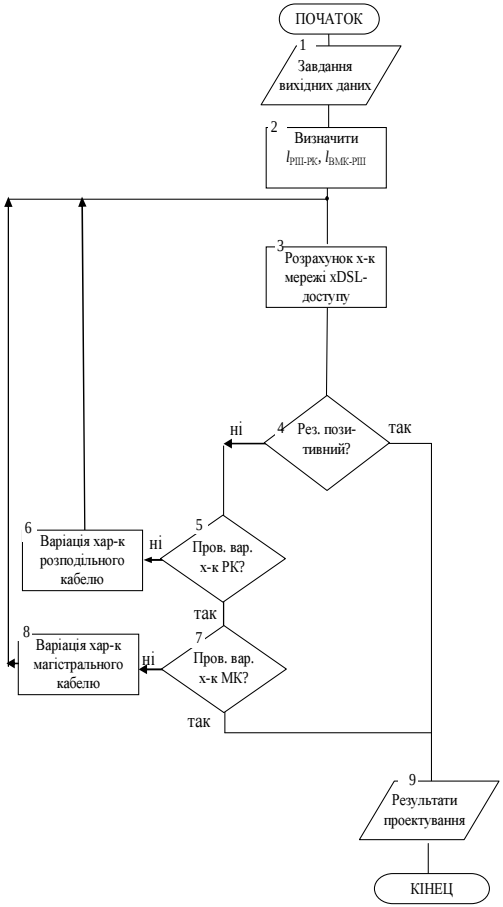


Рис. 2.6. Блок-схема алгоритму проектування задач першого класу

5) У випадку негативного повторного результату необхідно на ділянках КС – РШ фрагментів мережі (саме на яких результат є негативний) запланувати заміну даного кабелю на кабель з більшим діаметром жил, з підвищеними перехідними загасаннями між парами або прокладання додаткового кабелю (блоки 7, 8). Провести повторний розрахунок вдруге.

6) На основі результатів роботи програми сформувати проект (блок 9).

Для задачі 1.1 алгоритм має скорочений вигляд – відсутні п. 4 та 5.

При розв’язанні задач першого класу замовником задаються наступні вихідні дані:

1) Структура ділянки існуючої телефонної мережі, на базі якої планується створити мережу ШАД, задається таблицею (приклад – табл. 2.11).

Таблиця 2.11

Довжини та типи кабелю для кожної ділянки кабельної мережі

Ділянка кабельної мережі (лінія)	Довжина ділянки (лінії), км	Тип використовуваного кабелю	Діаметр жил пар кабелю, мм
КС – РШ (Лінія 1)	2	ТПП 100×2 (повивна скрутка осердя)	0,5
РШ – РК1 (Лінія 2)	0,5	ТПП 20×2 (повивна скрутка осердя)	0,4
РШ – РК2 (Лінія 3)	0,3	ТПП 10×2 (пучкова скрутка осердя)	0,4

Примітка. Для зручності користування програмним забезпеченням (ПЗ) „Tiora" кожна з ділянок кабельної мережі отримує назву «Лінія» з відповідним номером, наприклад, у даному випадку ділянка між КС та РШ названа «Лінія 1», ділянка РШ – РК1 – «Лінія 2» і т.д.

2) Характеристики існуючої мережі xDSL-доступу (якщо вона є) задаються таблицею (приклад – табл. 2.12). Стандартизований набір швидкостей передавання „вверх" (upstream) та „донизу" (downstream) називають профілем лінії.

Таблиця 2.12

Характеристики існуючих xDSL-ліній

Назва абонента	Тип xDSL-лінії	Швидкість передавання по xDSL-лінії, кбіт/с		Номер пари на Лінії 1	Номер пари на Лінії 2	Номер пари на Лінії 3
		upstream	downstream			
Абонент 1-1	ADSL	256	2048	20	10	-
Абонент 1-2	ADSL	256	2048	97	8	-
Абонент 2-1	ADSL	512	4096	92	-	4
Абонент 2-2	ADSL	512	4096	79	-	1

Примітка. У даній таблиці:

1. „Номер пари" означає номер пари кабелю, використовуваної існуючою xDSL-лінією (при цьому застосовується стандартна нумерація пар)

2. Абонент 1–1 – перший абонент (xDSL- лінія) першого кабелю.

3) Характеристики проектованої (планованої) мережі xDSL-доступу задаються таблицею (приклад – табл. 2.13).

4) Рівень спектральної щільності потужності шуму на станційній стороні в даному прикладі складає мінус 120 дБм/Гц; рівень спектральної щільності потужності шуму на абонентській стороні в даному прикладі також складає мінус 120 дБм/Гц (за допомогою ПЗ „Tiora" можна задавати довільний рівень шумів).

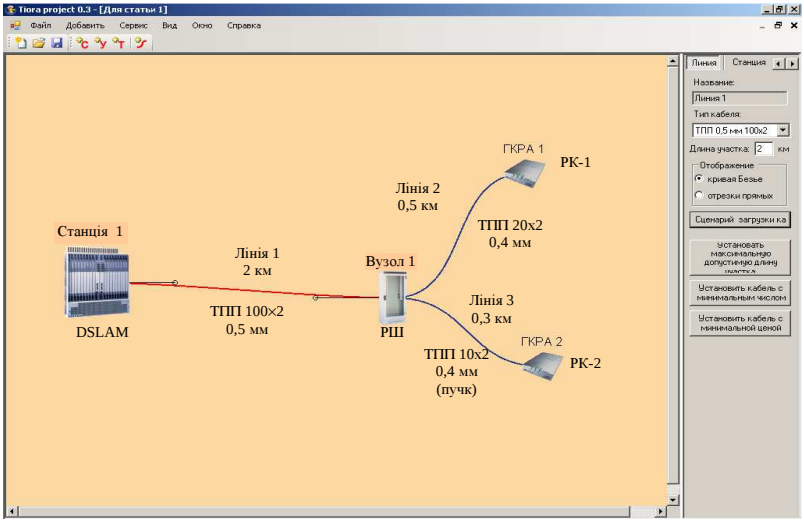
Таблиця 2.13

Характеристики xDSL-ліній, що планується установити

Назва абонента	Тип xDSL-лінії	Швидкість передавання по xDSL-лінії, кбіт/с	
		upstream	downstream
Абонент 1-3	ADSL 2+	928	14720
Абонент 1-4	ADSL 2+	928	14720
Абонент 1-5	ADSL 2+	768	4896
Абонент 2-3	ADSL 2+	768	6144
Абонент 2-4	ADSL 2+	768	10240

У даному прикладі вважається, що АЛ складаються тільки з магістральної та розподільної ділянок, розташованих між КС і РШ та між РШ і РК відповідно. Але структура мережі може бути і складнішою.

Вихідні дані щодо структури проектованої ділянки існуючої телефонної мережі вносяться в ПЗ «Tioга» та відображаються у вигляді графічного зображення на екрані ПЕОМ (рис. 2.7).



Примітка. Під ГКРА (група компактно розташованих абонентів) мається на увазі сукупність xDSL-модемів, підімкнених до однієї РК.

Рис. 2.7. Приклад структури мережі ШАД, побудованої за допомогою ПЗ «Tioга»

Формулювання завдання залежить від виду розв'язуваної задачі (*задача 1.1 чи 1.2*):

1) Визначити, чи можливо організувати задану сукупність xDSL-ліній із заданими швидкостями передавання (у низхідному та висхідному напрямах) при заданій мережі xDSL-доступу.

2) Визначити оптимальний (за критерієм мінімізації перехідних завад між використовуваними для передавання xDSL-сигналів парами кабелю) варіант завантаження пар кабелю xDSL-лініями на кожній лінії (саме при цьому варіанті завантаження мають бути розраховані швидкості передавання).

3) Якщо це неможливо, то визначити, скільки і які саме xDSL-лінії із заданими швидкостями передавання можна організувати або які максимальні швидкості передавання можуть бути забезпечені кожною xDSL-лінією із заданої сукупності xDSL-ліній.

4) Які кроки можна вжити для виконання вимог вихідних даних: прокладання кабелю з більшим діаметром жил, з більшою кількістю пар, з підвищеним перехідним загасанням на найбільш критичних (до перехідних завад) ділянках кабельної мережі.

Обов'язковою для задач першого класу є додаткова умова: нові xDSL-лінії не повинні порушувати працездатність вже працюючих xDSL-ліній.

Пункти 1) та 2) характерні для задачі 1.1, а для задачі 1.2 – пункти 3) та 4).

Результатами роботи ПЗ «Tiora» є:

1) Розраховані швидкості передавання інформації у низхідному та висхідному напрямах для кожної планованої та для кожної існуючої xDSL-лінії, які наведено для даного прикладу в табл. 2.14. Також з метою порівняння у табл. 2.14 наведено значення заданих швидкостей передавання для кожної планованої та існуючої xDSL-лінії.

Таблиця 2.14

Швидкості передавання для кожної xDSL-лінії

Назва абонента	Тип xDSL-лінії	Задана швидкість по xDSL-лінії		Розрахована (максимально досяжна) швидкість по xDSL-лінії		Існуюча чи планована xDSL-лінія
		up-stream	down-stream	up-stream	down-stream	
Абонент 1-1	ADSL	256	2048	1184	7136	існуюча
Абонент 1-2	ADSL	256	2048	1184	7136	існуюча
Абонент 1-3	ADSL 2+	928	14720	1216	8096	планована
Абонент 1-4	ADSL 2+	928	14720	1216	8128	планована
Абонент 1-5	ADSL 2+	768	4896	1024	7552	планована
Абонент 2-1	ADSL	512	4096	1376	7552	існуюча
Абонент 2-2	ADSL	512	4096	1376	7584	існуюча
Абонент 2-3	ADSL 2+	768	6144	1376	9184	планована
Абонент 2-4	ADSL 2+	768	10240	1376	9184	планована

Якщо розрахована швидкість передавання для кожної з планованих xDSL-ліній перевищує задану швидкість передавання і при цьому не порушується працездатність вже працюючих xDSL-ліній, то відповідь на питання задачі 1.1 є позитивною.

Примітка. Для виконання додаткової умови щодо працездатності працюючих xDSL-ліній необхідно, щоб розраховані швидкості передавання перевищували задані (реальні) швидкості передавання для кожної існуючої xDSL-лінії. У даному прикладі (див. табл. 2.14) ця умова виконується.

Якщо задана швидкість передавання хоч в одному з напрямів перевищує розраховану швидкість передавання, то відповідь на питання задачі 1.1 є негативною.

2) Оптимальний (за критерієм мінімізації перехідних завад між використовуваними для передавання xDSL-сигналів парами кабелю) варіант завантаження пар кабелю xDSL-лініями на кожній лінії представлений для даного прикладу в табл. 2.15.

Таблиця 2.15

Оптимальне завантаження пар кабелю

Назва абонента	Тип xDSL-лінії	Номер пари на Лінії 1	Номер пари на Лінії 2	Номер пари на Лінії 3	Існуюча чи планована xDSL-лінія
Абонент 1-1	ADSL	20	10	–	існуюча
Абонент 1-2	ADSL	97	8	–	існуюча
Абонент 1-3	ADSL 2+	11	17	–	планована
Абонент 1-4	ADSL 2+	1	13	–	планована
Абонент 1-5	ADSL 2+	87	1	–	планована
Абонент 2-1	ADSL	92	–	4	існуюча
Абонент 2-2	ADSL	79	–	1	існуюча
Абонент 2-3	ADSL 2+	16	–	3	планована
Абонент 2-4	ADSL 2+	71	–	2	планована

Для розв’язання задачі 1.2 звернемося знов до табл. 2.14. Порівняння заданих і розрахованих швидкостей дозволяє дійти висновку про неможливість забезпечення швидкості 14720 кбіт/с (downstream) абонентам 1...3 і 1...4 та швидкості 10240 кбіт/с (downstream) абонента 2...4. В цій ситуації треба запропонувати цим абонентам тимчасово розраховані швидкості передавання та проаналізувати можливості забезпечення замовленими швидкостями передавання в подальшому.

Таким чином, із заданими (бажаними) швидкостями передавання можуть бути організовані xDSL-лінії тільки до абонентів 1–5 та 2–3. Максимальні швидкості передавання, які можуть бути забезпечені, наведено у другому справа стовпчику табл. 2.14.

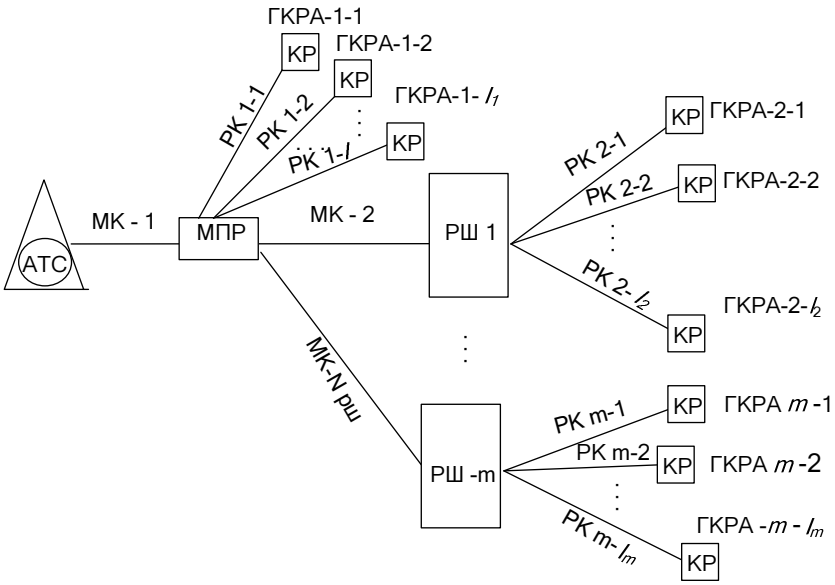
Прокладання додаткового кабелю ТПП–10 × 0,5 (повивна скрутка осердя) на розподільній ділянці РШ – РК-2 та перекросування на неї абонента 2–4 дозволяє забезпечити його замовленою швидкістю (максимально можлива швидкість при цьому складає 10848 кбіт/с).

Забезпечення потрібними швидкостями абонентів 1–3 та 1–4 потребує прокладання додаткових кабелів як на розподільній ділянці (РШ – РК-1) типу ТПП-20 х 0,64 (повивна скрутка осердя), так і на магістральній ділянці (КС – РШ) типу ТПП-100 х 0,64 (повивна скрутка осердя). Максимально можлива швидкість складає 15040 кбіт/с.

За результатами розрахунків ПЗ „Tioга” формує звіт у файлі формату HTML, для цього у меню ФАЙЛ потрібно вибрати СОХРАНИТЬ ОТЧЁТ – ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ 1.

2.7. Приклад проектування мережі ШД по існуючій телефонній мережі доступу

Розглянемо порядок проектування ЦАЛ ШД (задача 1.1) по існуючій телефонній мережі доступу. Покладається, що задані початкові дані для проектування: схема розміщення АТС, розподільних шаф, абонентів, типи і довжини магістральних і розподільних кабелів і завантаження їх системами передачі різного призначення. Задано також проектоване число ЦАЛ, їх швидкості передавання, і номери РШ, до яких підімкнені користувачі цих ЦАЛ. Умовний фрагмент існуючої телефонної мережі доступу наведений на рис. 2.8.



АТС – автоматична телефонна станція; МК – магістральний кабель;
МПР – муфта поліетиленова розподільна; РШ – розподільна шафа;
РК – розподільний кабель; КР – коробка розподільна;
ГКРА – група компактно розташованих абонентів;
m – число розподільних шаф, l_m – коробок розподільних, підключених до КР.

Рис. 2.8. Приклад фрагмента телефонної мережі абонентського доступу

2.7.1. Завдання початкових даних для проектування

Замовником задаються наступні вихідні дані:

1) Структура ділянки існуючої телефонної мережі, на базі якої планується створити мережу ШАД, задається таблицею (приклад – табл. 2.16).

Таблиця 2.16

Довжини та типи телефонного кабелю ділянок діючої кабельної мережі

Ділянка кабельної мережі (лінія)	Довжина ділянки (лінії), км	Тип використовуваного кабелю	Діаметр жил пар кабелю, мм
КС – МПР (Лінія 1)	0,75	ТПП 300х2 (пучкова скрутка осердя)	0,64
МПР – РШ-2 (Лінія 2)	1,2	ТПП 100х2 (пучкова скрутка осердя)	0,64
МПР – РШ-3 (Лінія 3)	1,3	ТПП 100х2 (пучкова скрутка осердя)	0,64
МПР – ГКРА -1-1 (Лінія 4)	0,3	ТПП 20х2 (повивна скрутка осердя)	0,4
МПР – ГКРА -1-2 (Лінія 5)	0,28	ТПП 10х2 (пучкова скрутка осердя	0,5
РШ2 – ГКРА -2-1 (Лінія 6)	0,28	ТПП 10х2 (повивна скрутка осердя)	0,4
РШ2 – ГКРА -2-2 (Лінія 7)	0,26	ТПП 20х2 (пучкова скрутка осердя)	0,5
РШ2 – ГКРА -2-3 (Лінія 8)	0,24	ТПП 10х2 (повивна скрутка осердя)	0,32
РШ2 – ГКРА -2-4 (Лінія 9)	0,22	ТПП 20х2 (пучкова скрутка осердя)	0,4
РШ3 – ГКРА -3-1 (Лінія 10)	0,26	ТПП 20х2 (повивна скрутка осердя)	0,4
РШ3 – ГКРА -3-2 (Лінія 11)	0,24	ТПП 10х2 (пучкова скрутка осердя)	0,5
РШ3 – ГКРА -3-3 (Лінія 12)	0,22	ТПП 20х2 (повивна скрутка осердя)	0,32
РШ3 – ГКРА -3-4 (Лінія 13)	0,2	ТПП 10х2 (пучкова скрутка осердя)	0,4
РШ3 – ГКРА -3-5 (Лінія 14)	0,18	ТПП 20х2 (повивна скрутка осердя)	0,5
РШ3 – ГКРА -3-6 (Лінія 15)	0,16	ТПП 10х2 (пучкова скрутка осердя)	0,32

Примітка. Для зручності користування програмним забезпеченням (ПЗ) „Tiora” кожна з ділянок кабельної мережі отримує назву «Лінія» з відповідним номером, наприклад, у даному випадку ділянка між КС та МПР названа «Лінія 1» (рис. 2.9).

2) Характеристики існуючої мережі xDSL-доступу (якщо вона є) задаються таблицею (приклад – табл. 2.17).

3) Характеристики проектованої (планованої) мережі xDSL-доступу задаються таблицею (приклад – табл. 2.18).

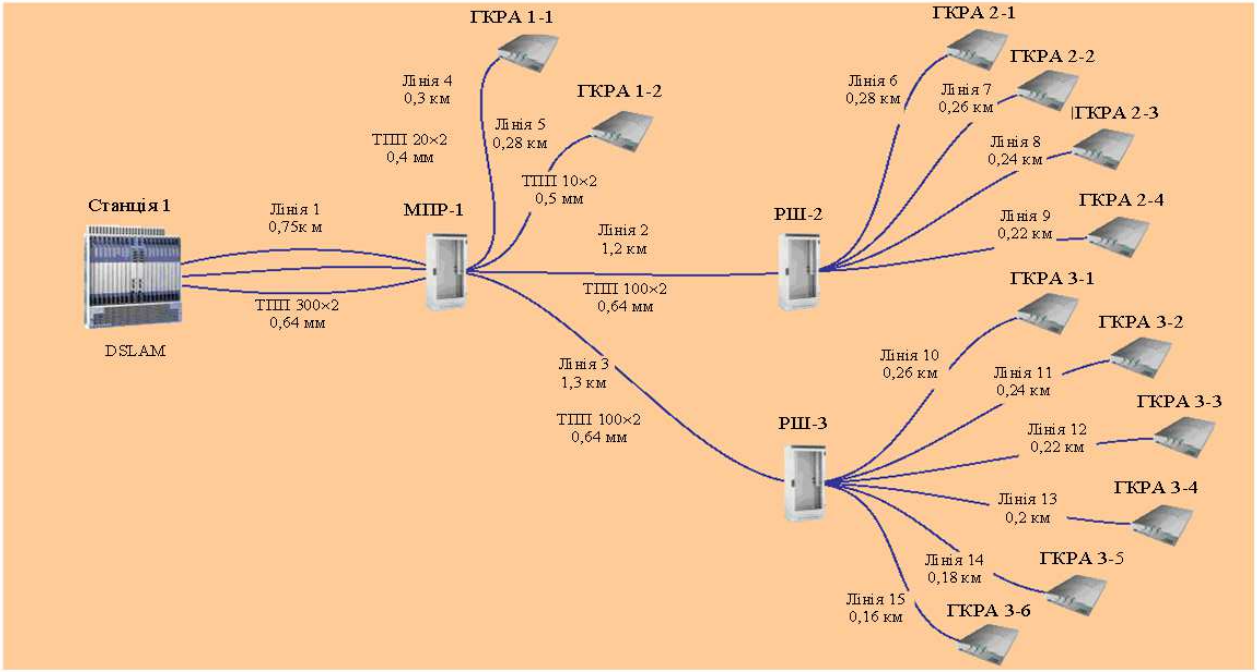


Рис. 2.9. Приклад структури мережі ШАД, побудованої за допомогою ПЗ «Tiora»

Таблиця 2.17

Характеристики існуючих xDSL-ліній

Назва абонента ГКРА-X-Y-Z	Тип xDSL-лінії	Задана швидкість передавання по xDSL-лінії, кбіт/с		Спектральна щільність, дБ/Гц	
		upstream	downstream	станція	абонент
ГКРА 1-1-1	ADSL 2	448	5824	-120	-130
1-1-2	ADSL 2	408	5224	-120	-130
1-1-3	ADSL 2	368	4624	-120	-130
1-1-4	ADSL 2	328	4024	-120	-130
ГКРА 1-2-1	ADSL 2+	478	9424	-120	-130
ГКРА 2-1-1	ADSL 2	448	5824	-120	-130
2-1-2	ADSL 2	408	5224	-120	-130
2-1-3	ADSL 2	368	4624	-120	-130
2-1-4	ADSL 2	328	4024	-120	-130
ГКРА 2-2-1	ADSL 2+	478	9424	-120	-130
ГКРА 2-3-1	ADSL 2	368	4624	-120	-130
2-3-2	ADSL 2	328	4024	-120	-130
2-3-3	ADSL 2	288	3424	-120	-130
2-3-3	ADSL 2	248	2824	-120	-130
ГКРА 2-4-1	ADSL 2+	378	7024	-120	-130
ГКРА 3-1-1	ADSL 2	448	5824	-120	-130
3-1-2	ADSL 2	408	5224	-120	-130
3-1-3	ADSL 2	368	4624	-120	-130
3-1-4	ADSL 2	328	4024	-120	-130
ГКРА 3-2-1	ADSL 2+	478	9424	-120	-130
ГКРА 3-3-1	ADSL 2	368	4624	-120	-130
3-3-2	ADSL 2	328	4024	-120	-130
3-3-3	ADSL 2	288	3424	-120	-130
3-3-4	ADSL 2	248	2824	-120	-130
ГКРА 3-4-1	ADSL 2+	378	7024	-120	-130
ГКРА 3-5-1	ADSL 2	288	3424	-120	-130
3-5-2	ADSL 2	248	2824	-120	-130
3-5-3	ADSL 2	208	2224	-120	-130
3-5-4	ADSL 2	168	1624	-120	-130
ГКРА 3-6-1	ADSL 2+	278	4624	-120	-130

4) Рівень спектральної щільності потужності шуму на станційній стороні в даному прикладі складає мінус 120 дБм/Гц; рівень спектральної щільності потужності шуму на абонентській стороні в даному прикладі також складає мінус 130 дБм/Гц (ПЗ «Tiora» дозволяє задавати довільний рівень шумів). Цей параметр визначається в завданні на проектування.

У даному прикладі вважається, що АЛ складаються тільки з магістральної та розподільної ділянок, розташованих між КС і РШ та між РШ і РК відповідно. Але структура мережі може бути і складнішою.

Вихідні дані щодо структури проектованої ділянки існуючої телефонної мережі вносяться в ПЗ «Tiora» та відображаються у вигляді графічного зображення на екрані ПЕОМ (рис. 2.9).

Таблиця 2.18

Характеристики xDSL-ліній, що планується установити

ГКРА-X-Y-Z	Тип xDSL-лінії	Задана швидкість передавання по xDSL-лінії, кбіт/с		Спектральна щільність, дБ/Гц	
		upstream	downstream	станція	абонент
ГКРА 1-1-5	ADSL 2	448	5824	-120	-130
1-1-6	ADSL 2	408	5224	-120	-130
1-1-7	ADSL 2	368	4624	-120	-130
1-1-8	ADSL 2	328	4024	-120	-130
1-1-9	ADSL 2	288	3424	-120	-130
1-1-10	ADSL 2	248	2824	-120	-130
ГКРА 1-2-2	ADSL 2+	478	9424	-120	-130
1-2-3	ADSL 2+	428	8224	-120	-130
ГКРА 2-1-5	ADSL 2	448	5824	-120	-130
2-1-6	ADSL 2	408	5224	-120	-130
2-1-7	ADSL 2	368	4624	-120	-130
2-1-8	ADSL 2	328	4024	-120	-130
2-1-9	ADSL 2	288	3424	-120	-130
2-1-10	ADSL 2	248	2824	-120	-130
ГКРА 2-2-2	ADSL 2+	478	9424	-120	-130
2-2-3	ADSL 2+	428	8224	-120	-130
ГКРА 2-3-5	ADSL 2	368	4624	-120	-130
2-3-6	ADSL 2	328	4024	-120	-130
2-3-7	ADSL 2	288	3424	-120	-130
2-3-8	ADSL 2	248	2824	-120	-130
2-3-9	ADSL 2	208	2224	-120	-130
2-3-10	ADSL 2	168	1624	-120	-130
ГКРА 2-4-2	ADSL 2+	378	7024	-120	-130
2-4-3	ADSL 2+	328	5824	-120	-130
ГКРА 3-1-5	ADSL 2	448	5824	-120	-130
3-1-6	ADSL 2	408	5224	-120	-130
3-1-7	ADSL 2	368	4624	-120	-130
3-1-8	ADSL 2	328	4024	-120	-130
3-1-9	ADSL 2	288	3424	-120	-130
3-1-10	ADSL 2	248	2824	-120	-130
ГКРА 3-2-2	ADSL 2+	478	9424	-120	-130
3-2-3	ADSL 2+	428	8224	-120	-130
ГКРА 3-3-5	ADSL 2	368	4624	-120	-130
3-3-6	ADSL 2	328	4-24	-120	-130
3-3-7	ADSL 2	288	3424	-120	-130
3-3-8	ADSL 2	248	2824	-120	-130
3-3-9	ADSL 2	208	2224	-120	-130
3-3-10	ADSL 2	168	1624	-120	-130
ГКРА 3-4-2	ADSL 2+	378	7024	-120	-130
3-4-3	ADSL 2+	328	5824	-120	-130
ГКРА 3-5-5	ADSL 2	288	3424	-120	-130
3-5-6	ADSL 2	248	2824	-120	-130
3-5-7	ADSL 2	208	2224	-120	-130
3-5-8	ADSL 2	168	1624	-120	-130
3-5-9	ADSL 2	128	1024	-120	-130
3-5-10	ADSL 2	168	1624	-120	-130
ГКРА 3-6-2	ADSL 2+	278	4624	-120	-130
3-6-3	ADSL 2+	228	2528	-120	-130

2.7.2. Визначення потенційних можливостей існуючої мережі

Крок 1. Порядок проектування: дані табл. 2.16 і 2.17 потрібно ввести в ПЗ «Tiora» (п. 5.2 – програмне забезпечення „Tiora").

Крок 2. Створити ділянку існуючої телефонної мережі. За вихідними даними розміщуємо у вікні програми задану кількість РШ, тип кабелю, довжину ділянки, кількість існуючих xDSL-ліній та їх швидкість передавання у низхідному та висхідному напрямах (рис. 2.9).

Крок 3. Визначити, чи можливо організувати задану сукупність xDSL-ліній із заданими швидкостями передавання (у низхідному та висхідному напрямах) при заданій структурі телефонної мережі. Це можливо зробити за допомогою звіту швидкостей за кожною ГКРА. Також у програмі можливо зберегти звіт існуючої мережі, вибравши файл *Сохранить отчет, постановка задачи 1*.

Крок 4. Вивести та проаналізувати таблицю звіту зі швидкостями для кожної ГКРА існуючої телефонної мережі (табл. 2.19), у звіті за кожною ГКРА є теоретична, обмежена і реальна швидкість передавання, у низхідному (upstream) напряму вибираємо швидкість обмежену за типом СП, а висхідному напряму(downstream) – реальну швидкість передавання.

Таблиця 2.19

Швидкості передавання для кожної існуючої xDSL-лінії

Назва абонента ГКРА-X-Y-Z	Тип xDSL-лінії	Задана швидкість по xDSL-лінії, кбіт/с		Розрахована (максимально досяжна) швидкість по xDSL-лінії, кбіт/с	
		upstream	downstream	upstream	downstream
ГКРА 1-1-1	ADSL 2	448	5824	800	7200
1-1-2	ADSL 2	408	5224	800	7712
1-1-3	ADSL 2	368	4624	800	8896
1-1-4	ADSL 2	328	4024	800	7712
ГКРА 1-2-1	ADSL 2+	478	9424	1000	18880
ГКРА 2-1-1	ADSL 2	448	5824	800	7136
2-1-2	ADSL 2	408	5224	800	8352
2-1-3	ADSL 2	368	4624	800	6912
2-1-4	ADSL 2	328	4024	800	7136
ГКРА 2-2-1	ADSL 2+	478	9424	1000	15040
ГКРА 2-3-1	ADSL 2	368	4624	800	7840
2-3-2	ADSL 2	328	4024	800	7040
2-3-3	ADSL 2	288	3424	800	7136
2-3-4	ADSL 2	248	2824	800	7200
ГКРА 2-4-1	ADSL 2+	378	7024	1000	13536
ГКРА 3-1-1	ADSL 2	448	5824	800	7424
3-1-2	ADSL 2	408	5224	800	6016
3-1-3	ADSL 2	368	4624	800	6208
3-1-4	ADSL 2	328	4024	800	5984
ГКРА 3-2-1	ADSL 2+	478	9424	1000	12864
ГКРА 3-3-1	ADSL 2	368	4624	800	6720
3-3-2	ADSL 2	328	4024	800	6144
3-3-3	ADSL 2	288	3424	800	6336
3-3-4	ADSL 2	248	2824	800	6368

Закінчення табл. 2.19

ГКРА 3-4-1	ADSL 2+	378	7024	1000	11936
ГКРА 3-5-1	ADSL 2	288	3424	800	6720
3-5-2	ADSL 2	248	2824	800	6336
3-5-3	ADSL 2	208	2224	800	6112
3-5-4	ADSL 2	168	1624	800	6336
ГКРА 3-6-1	ADSL 2+	278	4624	1000	12832

Крок 5. Порівняти задані і розраховані швидкості, проаналізувати результати.

Крок 6. Для виконання умови щодо працездатності існуючих ЦАЛ необхідно, щоб розраховані швидкості передавання перевищували задані (реальні) швидкості передавання для кожної існуючої xDSL-лінії. У даному прикладі (див. табл. 2.19) ця умова виконується.

Крок 7. У звіті існуючої мережі можливо розглянути також розміщення СП в кабелі, який номер пари займає задана система. Наведемо характеристику існуючої xDSL-лінії в табл. 2.20 (у даній таблиці "Номер пари" означає номер пари кабелю, використовуваної існуючою xDSL-лінією (при цьому застосовується стандартна нумерація пар).

Таблиця 2.20

Характеристики існуючих xDSL-ліній

Назва абонента	Номер пари на лінії																
	1			2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
	1 пуч	2 пуч	3 пуч														
ГКРА 1-1-1	71	-	-	-	-	8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1-1-2	1	-	-	-	-	17	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1-1-3	51	-	-	-	-	13	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1-1-4	72	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ГКРА 1-2-1	41	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ГКРА 2-1-1	21	-	-	81	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2-1-2	52	-	-	22	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2-1-3	22	-	-	52	-	-	-	7	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2-1-4	81	-	-	23	-	-	-	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ГКРА 2-2-1	-	23	-	71	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-
ГКРА 2-3-1	-	81	-	21	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-
2-3-2	-	22	-	51	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-
2-3-3	-	21	-	41	-	-	-	-	-	5	-	-	-	-	-	-	-
2-3-4	-	41	-	1	-	-	-	-	-	7	-	-	-	-	-	-	-
ГКРА 2-4-1	-	52	-	72	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-
ГКРА 3-1-1	-	71	-	-	52	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-
3-1-2	-	51	-	-	22	-	-	-	-	-	-	8	-	-	-	-	-
3-1-3	-	72	-	-	51	-	-	-	-	-	-	13	-	-	-	-	-
3-1-4	-	1	-	-	81	-	-	-	-	-	-	17	-	-	-	-	-
ГКРА 3-2-1	-	-	22	-	41	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-
ГКРА 3-3-1	-	-	1	-	24	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-
3-3-2	-	-	51	-	23	-	-	-	-	-	-	-	-	8	-	-	-
3-3-3	-	-	52	-	82	-	-	-	-	-	-	-	-	13	-	-	-
3-3-4	-	-	21	-	71	-	-	-	-	-	-	-	-	17	-	-	-

Закінчення табл. 2.20

ГКРА 3-4-1	-	-	72	-	53	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-
ГКРА 3-5-1	-	-	81	-	21	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-
3-5-2	-	-	42	-	42	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8	-
3-5-3	-	-	71	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	13	-
3-5-4	-	-	41	-	73	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	17	-
ГКРА 3-6-1	-	-	23	-	72												1

Згідно з розрахунком, при організації заданих xDSL-ліній працездатність вже працюючих xDSL-ліній порушена не буде. Задані і розраховані швидкості задовольняють потребам абонентів.

2.7.3. Оцінка впливу запланованої ЦСП на роботу існуючих ЦСП мережі

Крок 1. Додаємо на існуючій мережі абонентського доступу в кожну ГКРА нові СП з заданими швидкостями та їх кількість (див. табл. 2.18), довжина та тип кабелю залишаються незмінними.

Крок 2. Проаналізуємо звіт швидкостей за кожною ГКРА та визначимо вплив запланованої ЦСП на роботу існуючих систем. Швидкості передаванню для існуючої та планованої мережі xDSL наведені в табл. 2.21 (наведемо декілька ГКРА).

Таблиця 2.21

Швидкості передавання для існуючої та проектованої мережі xDSL

Назва абонента ГКРА-X-Y-Z	Існуюча чи планована xDSL-лінія	Тип xDSL-лінії	Задана швидкість по xDSL-лінії, кбіт/с		Розрахована (максимально досяжна) швидкість по xDSL-лінії, кбіт/с	
			up-stream	down-stream	up-stream	down-stream
ГКРА 1-1-1	Існуюча	ADSL 2	448	5824	800	6432
1-1-2		ADSL 2	408	5224	800	5984
1-1-3		ADSL 2	368	4624	800	6880
1-1-4		ADSL 2	328	4024	800	6432
1-1-5	Планована	ADSL 2	288	3424	800	7136
1-1-6		ADSL 2	248	2824	800	6656
1-1-7		ADSL 2	208	2224	800	6720
1-1-8		ADSL 2	168	1624	800	6496
1-1-9		ADSL 2	128	1024	800	6752
1-1-10		ADSL 2	168	1624	800	6592
ГКРА 1-2-1	Існуюча	ADSL 2+	478	9424	1000	12864
1-2-2	Планована	ADSL 2+	428	8224	1000	12672
1-2-3		ADSL 2+	378	7024	1000	12384
ГКРА 2-1-1	Існуюча	ADSL 2	448	5824	800	5830
2-1-2		ADSL 2	408	5224	800	5568
2-1-3		ADSL 2	368	4624	800	5376
2-1-4		ADSL 2	328	4024	800	5856

Закінчення табл. 2.21

2-1-5	Планована	ADSL 2	288	3424	800	5280
2-1-6		ADSL 2	248	2824	800	5536
2-1-7		ADSL 2	208	2224	800	5344
2-1-8		ADSL 2	168	1624	800	5280
2-1-9		ADSL 2	128	1024	800	5792
2-1-10		ADSL 2	168	1624	800	5280
ГКРА 2-2-1	Існуюча	ADSL 2+	478	9424	1000	11712
2-2-2	Планована	ADSL 2+	428	**8224**	1000	**8000**
2-2-3		ADSL 2+	378	7024	1000	9152
ГКРА 2-3-1	Існуюча	ADSL 2	368	4624	800	5568
2-3-2		ADSL 2	328	4024	800	6752
2-3-3		ADSL 2	288	3424	800	5376
2-3-4		ADSL 2	248	2824	800	5312
2-3-5	Планована	ADSL 2	208	2224	800	5536
2-3-6		ADSL 2	168	1624	800	5280
2-3-7		ADSL 2	128	1024	800	5824
2-3-8		ADSL 2	168	1624	800	5376
2-3-9		ADSL 2	208	2224	800	5568
2-3-10		ADSL 2	248	2824	800	5792
ГКРА 2-4-1	Існуюча	ADSL 2+	378	7024	1000	10816
2-4-2	Планована	ADSL 2+	328	5824	1000	10048
2-4-3		ADSL 2+	278	4624	1000	10016
ГКРА 3-6-1	Існуюча	ADSL 2+	278	4624	1000	9472
3-6-2	Планована	ADSL 2+	228	3424	1000	10976
3-6-3		ADSL 2+	178	2224	1000	9248

Крок 3. Порівняння заданих і розрахованих швидкостей свідчить про те, що майже всі плановані xDSL-лінії не порушують працездатність вже працюючих ЦАЛ, в деяких ГКРА задана швидкість перевищує максимально досяжну швидкість. З табл. 2.22 випливає, що в ГКРА 2-2-1 допустима швидкість менша за задану (8224 кбіт/с > 8000 кбіт/с). У цьому випадку можна розглянути два варіанти. Перший – заміна кабелю на кабель з більшим діаметром на МК та РК (рис. 2.8). Проте цей варіант з економічної точки зору не доцільний, тому абонентам можна запропонувати розраховану швидкість передавання. Другий – об'єднання декількох пар кабелю для створення однієї ЦАЛ, використовуючи необхідне обладнання. Пояснимо цей варіант. На сьогодні є технологія передачі єдиного цифрового сигналу по декількох телефонних парах, наприклад, обладнання FlexDSLOrion3 [48], яке дозволяє передачу даних зі швидкістю до 60 Мбіт/с по 4-х парах. Цифровий сигнал поділяється на 4 роздільні сигнали, кожен з яких передається по своїй парі, а на приймальному кінці прийняті сигнали об'єднуються в єдиний вихідний сигнал. Проектування при цьому полягає в розрахунку за наведеною вище методикою характеристик 4–цифрових абонентських ліній зі швидкістю в чотири рази меншою замість існуючої ЦАЛ, параметри якої були незадовільні.

Крок 4. Оцінимо завантаження пар кабелю xDSL-лініями на кожній лінії (табл. 2.22). Як бачимо, порівнюючи з табл. 2.20, програма самостійно планує розміщення СП по парах кабелю.

Таблиця 2.22

Оптимальне завантаження пар кабелю

Назва абонента	Номер пари на лінії																						Існуюча чи планована xDSL - лінія
	1			2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
	1 пуч	2 пуч	3 пуч																				
1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**	**13**	**14**	**15**	**16**	**17**	**18**	**19**	**20**	**21**	**22**	**23**	**24**
ГКРА 1-1-1	51	-	-	-	-	8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Існуюча
1-1-2	28	-	-	-	-	11	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	існуюча
1-1-3	73	-	-	-	-	17	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	існуюча
1-1-4	43	-	-	-	-	19	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	існуюча
1-1-5	25	-	-	-	-	13	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	планована
1-1-6	74	-	-		-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	планована
1-1-7	72	-	-		-	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	планована
1-1-8	82	-	-		-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	планована
1-1-9	55	-	-		-	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	планована
1-1-10	77	-	-		-	15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	планована
ГКРА 1-2-1	52	-	-		-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	існуюча
1-2-2	23	-	-		-	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	планована
1-2-3	83	-	-		-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	планована
ГКРА 2-1-1	24	-	-		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	1	-	-	-	існуюча
2-1-2	42	-		42	-	-	-	6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	існуюча
2-1-3	44	-	-	51	-	-	-	7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	існуюча
2-1-4	71	-	-	24	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	існуюча
2-1-5	75	-	-	54	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	планована
2-1-6	26	-	-	22	-	-	-	8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	планована
2-1-7	56	-	-	83	-	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	планована
2-1-8	41	-	-	74	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	планована
2-1-9	1	-	-	1	-	-	-	9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	планована
2-1-10	21	-	-	71	-	-	-	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	планована
ГКРА 2-2-1	53	56	-	73	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	існуюча
2-2-3	11	-	-	82	-	-	-	-	8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	планована
2-2-4	27	-	-	52	-	-	-	-	13	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	планована

Продовження табл. 2.22

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
ГКРА 2-3-1		21		26	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	існуюча
2-3-2	-	73		55	-	-	-	-	-	9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	існуюча
2-3-3	-	54		43	-	-	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	існуюча
2-3-4	-	24		41	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	існуюча
2-3-5	-	41		72	-	-	-	-	-	8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	планована
2-3-6		83		21	-	-	-	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	планована
2-3-7		76		27	-	-	-	-	-	6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	планована
2-3-8		22		23	-	-	-	-	-	7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	планована
2-3-9		71		25	-	-	-	-	-	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	планована
2-3-10		75		11	-	-	-	-	-	5		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	планована
ГКРА 2-4-1		81	76	75	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	існуюча
2-4-2	81	52	-	81	-	-	-	-	-	-	8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	планована
2-4-3	76	43	-	53	-	-	-	-	-	-	13	-	-	-	-	-	-	-	-			-	планована
ГКРА 3-1-1	22	26	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7	1	-	існуюча
3-1-2		53	-	-		-	-	-	-	-	-		-	-	-	-	-	-	-	3	3	-	існуюча
3-1-3		11	-	-	77	-	-	-	-	-	-	11	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	існуюча
3-1-4		51	-	-	52	-	-	-	-	-	-	8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	існуюча
3-1-5		72	-	-	51	-	-	-	-	-	-	19	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	планована
3-1-6		1	-	-	54	-	-	-	-	-	-	15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	планована
3-1-7		82	-	-	82	-	-	-	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	планована
3-1-8		25	-	-	73	-	-	-	-	-	-	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	планована
3-1-9		74	-	-	24	-	-	-	-	-	-	17	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	планована
3-1-10		23	-	-	41	-	-	-	-	-	-	10	-	-	-	-	-	-	-	-			планована
ГКРА 3-2-1		27	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		-	-	-	-	-	-	-	7	1	існуюча
3-2-2		42	77	-	21	-	-	-	-	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	планована
3-2-3		55	54	-	57	-	-	-	-	-	-	-	3		-	-	-	-	-	-	-	-	планована
ГКРА 3-3-1			52	-	84	-	-	-	-	-	-	-	-	10	-	-	-	-	-	-	-	-	існуюча
3-3-2			83	-	11	-	-	-	-	-	-	-	-	8	-	-	-	-	-	-	-	-	існуюча
3-3-3			74	-	25	-	-	-	-	-	-	-	-	19	-	-	-	-	-	-	-	-	існуюча
3-3-4			81	-	22	-	-	-	-	-	-	-	-	13	-	-	-	-	-	-	-	-	існуюча

Закінчення табл. 2.22

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
3-3-5			51	-	42	-	-	-	-	-	-	-	-	17	-	-	-	-	-	-	-	-	планована
3-3-6			28	-	78	-	-	-	-	-	-	-	-	11	-	-	-	-	-	-	-	-	планована
3-3-7			1	-	23	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	планована
3-3-8			23	-	28	-	-	-	-	-	-	-	-	5	-	-	-	-	-	-	-	-	планована
3-3-9			53	-	83	-	-	-	-	-	-	-	-	15		-	-	-	-	-	-	-	планована
3-3-10			21	-	29	-	-	-	-	-	-	-	-	1		-	-	-	-	-	-	-	планована
ГКРА 3-4-1			56	-	81	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	існуюча
3-4-2	54		24	-	53	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1		-	-	-	-	-	-	планована
3-4-3			41	-	43	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	11	-	-	-	-	-	-	планована
ГКРА 3-5-1			26	-	71	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	13	-	-	-	-	-	-	існуюча
3-5-2			82	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	існуюча
3-5-3			27	-	30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	10	-	-	-	-	-	-	існуюча
3-5-4			22	-	45	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	19	-	-	-	-	-	-	існуюча
3-5-5			72	-	55	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	15	-	-	-	-	-	-	планована
3-5-6			44	-	27	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-	планована
3-5-7			25	-	12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5	-	-	-	-	-	-	планована
3-5-8			71	-	74	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	17	-	-	-	-	-	-	планована
3-5-9			11	-	75	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8		-	-	-	-	-	планована
3-5-10			55	-	56	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		1	-	-	-	-	-	планована
ГКРА 3-6-1			73	-	26	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		2	-	-	-	-	-	існуюча
3-6-2			75	-	44	8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	планована
3-6-3			42		58	11	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	планована

2.7.4. Методика розрахунку економічних показників

Для визначення терміну окупності капітальних затрат на цифровізацію мережі необхідно розрахувати коефіцієнт економічної ефективності E_0:

$$E_0 = (Д_в - C) / K_{заг}, \quad (2.3)$$

де $Д_в$ – власні доходи підприємства; C – експлуатаційні витрати; $K_{заг}$ – загальні капітальні вкладення на придбання й установлення обладнання ЦСП та придбання й прокладання нового кабелю.

Власні доходи будуть складатися з плати за користування послугою Інтернет від нових користувачів.

Власні доходи розраховуються за виразом:

$$Д_в = Д_т \times 12, \quad (2.4)$$

де $Д_т$ – тарифні доходи від експлуатації мережі (сумарна вартість за послуги Інтернету); 12 – місяців.

Наведемо таблицю нових користувачів, швидкість яку вони замовляли, та вартість Інтернет-трафіка (табл.2. 23).

Таблиця 2.23

Швидкості передавання для планованої мережі xDSL

Назва абоненту ГКРА-X-Y-Z	Тип xDSL-лінії	Задана швидкість по xDSL-лінії, кбіт/с		Вартість послуги , грн.
		up-stream	down-stream	
ГКРА 1-1-5	ADSL 2	288	3424	70
1-1-6	ADSL 2	248	2824	65
1-1-7	ADSL 2	208	2224	65
1-1-8	ADSL 2	168	1624	60
1-1-9	ADSL 2	128	1024	60
1-1-10	ADSL 2	168	1624	60
ГКРА 1-2-2	ADSL 2+	428	8224	100
1-2-3	ADSL 2+	378	7024	90
ГКРА 2-1-5	ADSL 2	288	3424	70
2-1-6	ADSL 2	248	2824	65
2-1-7	ADSL 2	208	2224	65
2-1-8	ADSL 2	168	1624	60
2-1-9	ADSL 2	128	1024	60
2-1-10	ADSL 2	168	1624	60
ГКРА 2-2-2	ADSL 2+	428	8224	100
2-2-3	ADSL 2+	378	7024	90
ГКРА 2-3-5	ADSL 2	208	2224	65
2-3-6	ADSL 2	168	1624	60
2-3-7	ADSL 2	128	1024	60
2-3-8	ADSL 2	168	1624	60

Закінчення табл.. 2.23

2-3-9	ADSL 2	208	2224	65
2-3-10	ADSL 2	248	2824	65
ГКРА 2-4-2	ADSL 2+	328	5824	80
2-4-3	ADSL 2+	278	4624	75
ГКРА 3-1-5	ADSL 2	288	3424	70
3-1-6	ADSL 2	248	2824	65
3-1-7	ADSL 2	208	2224	65
3-1-8	ADSL 2	168	1624	60
3-1-9	ADSL 2	128	1024	50
3-1-10	ADSL 2	168	1624	60
ГКРА 3-2-2	ADSL 2+	428	8224	100
3-2-3	ADSL 2+	378	7024	90
ГКРА 3-3-5	ADSL 2	208	2224	65
3-3-6	ADSL 2	168	1624	60
3-3-7	ADSL 2	128	1024	50
3-3-8	ADSL 2	168	1624	60
3-3-9	ADSL 2	208	2224	65
3-3-10	ADSL 2	248	2824	65
ГКРА 3-4-2	ADSL 2+	328	5824	80
3-4-3	ADSL 2+	278	4624	75
ГКРА 3-5-5	ADSL 2	128	1024	50
3-5-6	ADSL 2	168	1624	60
3-5-7	ADSL 2	208	2224	65
3-5-8	ADSL 2	248	2824	65
3-5-9	ADSL 2	288	3424	70
3-5-10	ADSL 2	328	4024	70
ГКРА 3-6-2	ADSL 2+	228	3424	70
3-6-3	ADSL 2+	178	2224	65
$Д_т$				3265

Отже, за формулою (2.4) розраховуємо власні доходи підприємства від експлуатації мережі:

$$Д_в = 3265 \times 12 = 39\ 180 \text{ грн.}$$

Експлуатаційні витрати визначаються за формулою:

$$C = 0{,}08 \times K_{заг}, \quad (2.5)$$

де $K_{заг}$ – капітальні вкладення на придбання й установлення обладнання ЦСП та придбання й прокладання кабелю

$$K_{заг} = K_{ст} + K_{лін}, \quad (2.6)$$

де $K_{ст}$ – вартість станційного обладнання; $K_{лін}$ – вартість кабелю.

Вартість станційного обладнання розраховуються виходячи з конфігурації обладнання. Лінійні затрати не враховуємо, тому що СП працюють на існуючому електричному кабелі. Результати розрахунку наведені у вигляді табл. 2.24.

Таблиця 2.24

Вартість обладнання

№ з/п	Найменування виробу	Ціна, грн.	Кількість	Одиниці вимірювання	Вартість, грн.
Вартість станційного обладнання, $K_{ст}$					
1	Абонентський модем ADSL2	240	36	шт.	8640
2	Абонентський модем ADSL2+	260	12	шт.	3120
3	Станційна плата ADSL2/2+ на 48 портів	14780	1	шт.	14780
	Разом, $K_{ст}$				26 630

Розраховуємо капітальні вкладення на придбання й установлення обладнання ЦСП:

$$K_{ст} = C_{ст} \times k, \quad (2.7)$$

де $C_{ст}$ – вартість станційного обладнання; k – коефіцієнт, який враховує монтаж станційного обладнання. Візьмемо цей коефіцієнт від 1,4 до 3, в залежності від витрат на монтаж й установку обладнання та проектних робіт.

Підставляючи значення, отримаємо:

$$K_{ст} = 26\ 630 \times 1{,}4 = 37\ 282 \text{ грн.}$$

Розрахуємо загальні витрати за формулою (2.5):

$$K_{заг} = K_{ст} = 37\ 282 \text{ грн.}$$

За виразом (2.4) розраховуємо експлуатаційні витрати:

$$C = 0{,}08 \times 37\ 282 = 2\ 982{,}56 \text{ грн.}$$

Підставляючи числові значення у (2.1), розраховуємо коефіцієнт економічної ефективності:

$$E_0 = (39\ 180 - 2\ 982{,}56) / 37\ 282 = 0{,}97.$$

Коефіцієнт економічної ефективності має бути більший за існуючу норму $E_0 \geq 0{,}15$ [45]. В даному випадку $E_0 = 0{,}97$, тобто ця умова виконується.

Термін окупності капітальних вкладень визначається виразом:

$$T_0 = 1 / E_0. \quad (2.8)$$

Підставляючи числові значення у (2.8), отримуємо: $T_0 = 1 / 0{,}97 \approx 1{,}03$ року.

Як видно з розрахунків, термін окупності капітальних вкладень складає 1,03 року, що ефективно з економічної точки зору.

2.8. Порядок реалізації проекту

Результати розрахунків за допомогою ПЗ «Тіога» складають основу проекту. Розраховані швидкості передавання порівнюються із замовленими абонентами швидкостями передавання для низхідного і висхідного напрямів. Якщо замовлена абонентом швидкість передавання хоч в одному з напрямків перевищує розраховану швидкість, треба запропонувати потенційному абоненту як тимчасовий (наприклад, на період до одного місяця) захід профіль з нижчими швидкостями передавання; після підімкнення абонента за цим (або іншим) профілем необхідно вжити заходів, що забезпечать абонента замовленою швидкістю передавання (наприклад, прокладання нової абонентської лінії, заміна даної пари кабелю на іншу шляхом перекросування та ін.).

Треба зауважити, що за рахунок розкиду значень параметрів абонентських ліній реальні швидкості передавання по ЦАЛ можуть відрізнятися від розрахованих, тому остаточний висновок про швидкість передавання, на якій підімкнеться абонент, у сумнівних випадках може бути зроблений тільки після спроби організувати відповідну xDSL-лінію.

Реалізація проекту починається з проведення профілактичних робіт на діючій телефонній мережі, які включають наступні основні заходи:

– вимірювання електричних параметрів АЛ;
– доведення до норм параметрів, які не відповідають нормам;
– вимірювання рівня шумів в АЛ та усунення їхніх можливих джерел;
– перемикання абонентів і ЦАЛ згідно зі схемою оптимального завантаження.

Після проведення профілактичних робіт на телефонній мережі здійснюється підімкнення абонентського xDSL обладнання і мультиплексора МЦАЛ.

Якщо певна xDSL-лінія не запрацювала на заданій швидкості, необхідно запропонувати абоненту, як тимчасовий захід, профіль з нижчими швидкостями передавання, максимальними серед тих, що підтримуються. Після підімкнення абонента до цього профілю (з перевіркою можливості доступу до Інтернет, функціонування телефонного зв'язку і стабільності функціонування xDSL-лінії) необхідно вжити заходів, що забезпечать абонента замовленою швидкістю передавання.

Після організації кожної xDSL-лінії необхідно контролювати, чи не вплинула нова xDSL-лінія на інші вже працюючі ЦАЛ. Якщо в результаті цього впливу відбулося погіршення характеристик діючих ЦАЛ нижче заданого рівня, то необхідно вжити заходи з покращення параметрів АЛ (див. Розділ 4). Якщо й після цього характеристики xDSL-ліній, що контролюються, не досягли припустимих значень, необхідно прокладання нового кабелю на тій ділянці, де виникали найбільші перехідні впливи між парами кабелю.

2.9. Приклад розв'язування задач проектування другого класу

До другого класу задач проектування мережі xDSL доступу належать задачі проектування, пов'язані з розвитком телефонної мережі доступу та побудовою нового телефонного району. У першому випадку припускається, що проектується фрагмент телефонної мережі діючої КС. У другому випадку припускається, що проектується телефонна мережа, включаючи нову КС. Проте з позицій вимог проектування xDSL-ліній специфіка їх проектування виявляється лише на ділянці абонент – комутаційний вузол, яким у більшості випадків є ВМК. Таким чином, в обох випадках проектування магістральних та розподільних ділянок мережі здійснюється ідентично, а необхідність включення ВМК визначається припустимою довжиною АЛ для задоволення вимог xDSL ліній.

Вихідними даними до проектування є наступні:

– загальна характеристика району, що телефонізується;
– характеристика щільності об'єктів телефонізації та їх територіальне розташування з прив'язкою до топографічної карти;
– плановане число абонентів телефонної мережі за кожним об'єктом телефонізації.

На основі цих вихідних даних розробляється попередній проект (див. п. 2.5). Результатом проектування є попереднє розбиття району, що телефонізується, на зони, які обслуговуються КС (ВМК), а також структура телефонної мережі, яка обслуговується КС (ВМК): число магістральних ліній, РШ, РК і число абонентів, підімкнених до РК, а також довжина кожної АЛ від КС (ВМК) до РК.

На другому етапі проектування результати попереднього проектування уточнюються й оптимізуються шляхом моделювання мережі за допомогою ПЗ «Tioга». При чому для ПЗ «Tioга» вихідними даними є:

1) Загальне число планованих абонентів проектованого фрагмента телефонної мережі.

Примітка. Фрагмент мережі доступу – це ділянка "КС – магістральна ділянка – РШ – розподільна ділянка – РК"; до РК підмикаються компактно розташовані абоненти (КРА) за допомогою абонентської проводки.

2) Кількість груп КРА (ГКРА) та місця розташування кожної ГКРА.

3) Плановане число абонентів телефонної мережі у кожній ГКРА.

4) Відстані від існуючої КС до планованих РК (задаються по карті проходження кабельної магістралі, застосовуються тільки для задачі 2.1).

5) Загальне число планованих xDSL-ліній і число планованих xDSL-ліній у кожному з напрямів КС – РК із зазначенням типу систем і швидкості передавання.

Завдання може бути сформульоване наступним чином:

Задача 2.1. Метою проектування є визначення довжин та типів кабелів на магістральній (КС – РШ) і розподільній (РШ – РК) ділянках. Якщо при фіксованих відстанях від КС до планованих РК плановані xDSL-лінії неможливо організувати, необхідно передбачити установлення спеціального виносу, де має бути розташований DSLAM, та визначити припустимі довжини кабелів на магістральній (від виносу до РШ) і розподільній (РШ – РК) ділянках.

Задача 2.2. Метою проектування є визначення місць розташування планованих КС, підстанцій і т.д., а також визначення довжин та типів кабелів на магістральній (КС – РШ) і розподільній (РШ – РК) ділянках.

Моделюванню підлягають окремо всі напрями мережі, які включають конкретну магістральну ділянку КС (ВМК) – РШ і розподільні ділянки РШ – РКn, $n = 1, 2, \ldots, N$, де N – число РК, підімкнених до одного магістрального кабелю.

Блока-схема алгоритму проектування для задачі 2.1 наведена на рис. 2.10. Алгоритм проектування за допомогою ПЗ «Tioга» наступний:

1) Задаємо вихідні дані (блок 1).

2) Визначаємо місце розташування РШ (блок 2) з умови мінімізації сумарної довжини всіх розподільних ділянок

$$l_{\text{РШ-РК сум}} = \sum_{m=1}^{M} l_{\text{РШ-РК},\, m},$$

де M – число ділянок РШ – РК.

Визначене місце розташування РШ дає можливість визначити довжини кожної розподільної ділянки $l_{\text{РШ-РК}}$ і магістральної ділянки $l_{\text{КС-РШ}}$.

3) За вихідними даними вибираємо фрагмент мережі доступу з ділянкою КС – РК найбільшої довжини (блок 3). Задаємо характеристики цього фрагмента мережі у ПЗ „Tioга”. При виборі характеристик кабелю задаємо діаметр жил кабелю 0,64 мм, число пар кабелю на ділянках не менше подвоєного числа проектованих xDSL-ліній.

4) Потім запускаємо ПЗ і отримуємо відповідь на питання: чи можливо організувати xDSL-лінії даного фрагмента мережі із заданими параметрами (блок 4)?

5) У випадку негативного результату (блок 5) необхідно задати кабель з більшою ємністю на ділянці РШ – РК (блок 6) фрагмента мережі з великими перехідними завадами між парами, замінити даний кабель на кабель з підвищеними перехідними загасаннями між парами. Якщо після повторення розрахунку позитивний результат не буде досягнутий, то перейти до п. 11.

6) У випадку позитивного результату необхідно провести аналогічні розрахунки для фрагментів мережі від КС до РК, на яких плануються xDSL-лінії з максимальними швидкостями (блоки 9, 10, 5), та для фрагментів, на яких планується максимальне число паралельно працюючих в одному розподільному кабелі xDSL-ліній (якщо вони не збіглися з фрагментом/фрагментами з ділянкою КС – РК найбільшої довжини) (блоки 11, 12, 5).

7) Для кожного з цих експериментів у випадку негативних результатів розрахунку необхідно задати кабель з більшою ємністю на ділянці КС – РШ (блоки 7, 8) фрагмента мережі з великими перехідними завадами між парами, замінити даний кабель на кабель з підвищеними перехідними загасаннями між парами; якщо після повторення розрахунку позитивний результат не буде досягнутий, то перейти до п. 11.

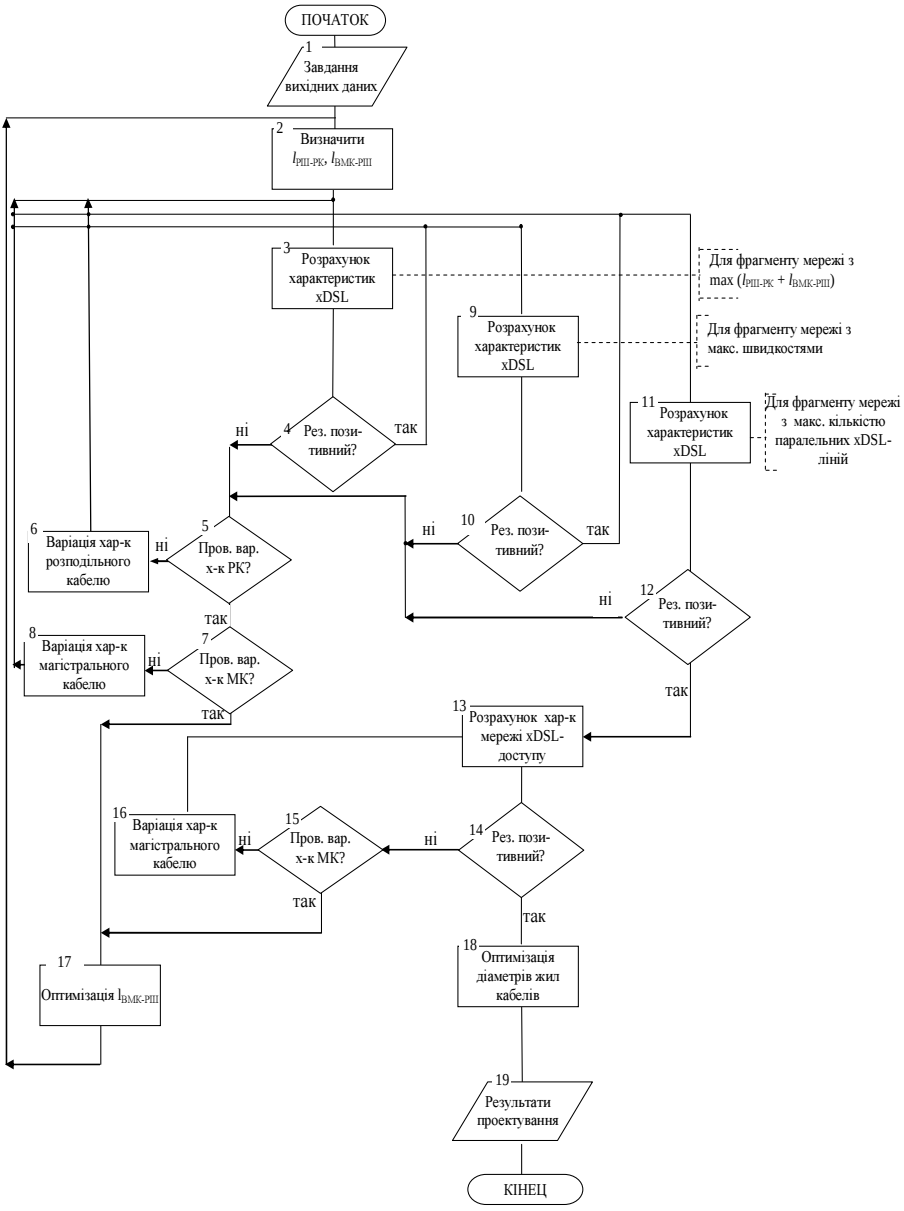


Рис. 2.10. Блок-схема алгоритму проектування задач другого класу

8) У випадку позитивних результатів усіх цих експериментів здійснюється розрахунок характеристик всієї проектованої мережі xDSL-доступу (блок 13).

9) Якщо результат розрахунку всієї мережі негативний (блок 14) (тобто із заданими характеристиками мережу доступу реалізувати неможливо), необхідно провести варіацію характеристик МК (блоки 15, 16): задати кабель з більшою ємністю на магістральній ділянці мережі, замінити даний кабель на кабель з підвищеними перехідними загасаннями між парами, запланувати декілька кабелів на цій ділянці. Якщо після повторення розрахунку позитивний результат не буде досягнутий, то перейти до п. 11.

10) Якщо результат розрахунку проектованої мережі xDSL-доступу позитивний, то здійснюється оптимізація мережі доступу (блок 18) шляхом послідовної від ділянки до ділянки заміни кабелю з діаметром жил 0,64 мм на кабель із жилами меншого діаметра; при чому після кожної заміни необхідно здійснювати новий розрахунок, при негативному результаті чергового розрахунку процедура оптимізації мережі припиняється й останній крок із заміни кабелю на кабель із жилами меншого діаметра скасовується. Перейти до п. 12.

11) Якщо черговий розрахунок не дав позитивного результату, то необхідно передбачити спеціально організоване винесення, де має бути розташований DSLAM, та визначити максимальну довжину кабелю на магістральній ділянці від цього винесення до РШ (блок 17).

12) На основі результатів роботи програми сформувати проект (блок 19).

Алгоритм проектування для задачі 2.2 подібний на вищеописаний алгоритм, тому нижче наведено лише основна ідея цього алгоритму:

1) Вибирається фрагмент (фрагменти) мережі доступу з ділянкою КС – РК найбільшої довжини. Для цього фрагмента за допомогою ПЗ „Tiora" розраховується максимальна довжина магістральної ділянки вибраного фрагмента мережі, за якої підтримуються задані характеристики.

2) Аналогічно розраховується максимальна довжина магістральної ділянки для фрагментів мережі від КС до РК, на яких плануються xDSL-лінії з максимальними швидкостями, та для фрагментів, на яких планується максимальне число паралельно працюючих в одному розподільному кабелі xDSL-ліній.

3) З усіх розрахованих максимальних довжин магістральної ділянки вибирається мінімальна довжина. Далі для кожного з вищерозглянутих фрагментів мережі ця довжина вводиться у ПЗ „Tiora", в якості вхідних даних і здійснюються такі зміни на розподільній ділянці у проекті (задається кабель з більшою ємністю на магістральній ділянці мережі, замінюється даний кабель на кабель з підвищеними перехідними загасаннями між парами), за яких даний фрагмент мережі можливо реалізувати із заданими характеристиками.

4) Далі здійснюється розрахунок максимальної довжини магістральної ділянки всієї мережі xDSL-доступу.

2.10. Приклад проектування нової мережі xDSL-доступу

2.10.1. Зміст проекту

Загальна характеристика району, що телефонізується, за адресою: вул. Марсельська, 29. Характеристика щільності об'єктів телефонізації та їх територіальне розташування з прив'язуванням до топографічної карти. Плановане число абонентів телефонної мережі за кожним об'єктом телефонізації. В результаті проектування визначити: місце розташування ВМК (DSLAM), РШ і КР, відповідно відстань та кількість абонентів. Обчислити досяжні швидкості доступу, якщо вимоги до всіх ЦАЛ задовольняються, то необхідно провести оптимізацію параметрів проектованої ділянки мережі доступу.

2.10.2. Вихідні дані

- кількість абонентів, що телефонізуються – 180 абонентів 3-ї категорії;
- число абонентів ШАД 50% від кількості абонентів телефонної мережі;
- базова швидкість доступу для абонентів 3-ї категорії – 9,8 Мбіт/с;
- спектральна щільність потужності шуму мінус 120 дБм/Гц.

2.10.3. Послідовність кроків проектування нової мережі ЦАЛ

Згідно з методикою п. 2.6 наведемо порядок проектування.

Крок 1. Визначимо місце розташування ВМК (DSLAM) за рис. 2.11. ВМК розташовується у центрі мікрорайону, що підлягає телефонізації (буд. 93 по вул. Дніпропетровська дорога).

Крок 2. Визначимо розташування РШ та КР. РШ розташовується в під'їзді 3 будинку по вул. Марсельська, 29. КР розташовуються в кожному під'їзді на 2-, 5- та 8-му поверхах (рис. 2.12).

Крок 3. Визначимо відстані від ВМК до РШ, від РШ до КР1-КР18 та кількість абонентів у кожній КР, зведемо дані в табл. 2.25.

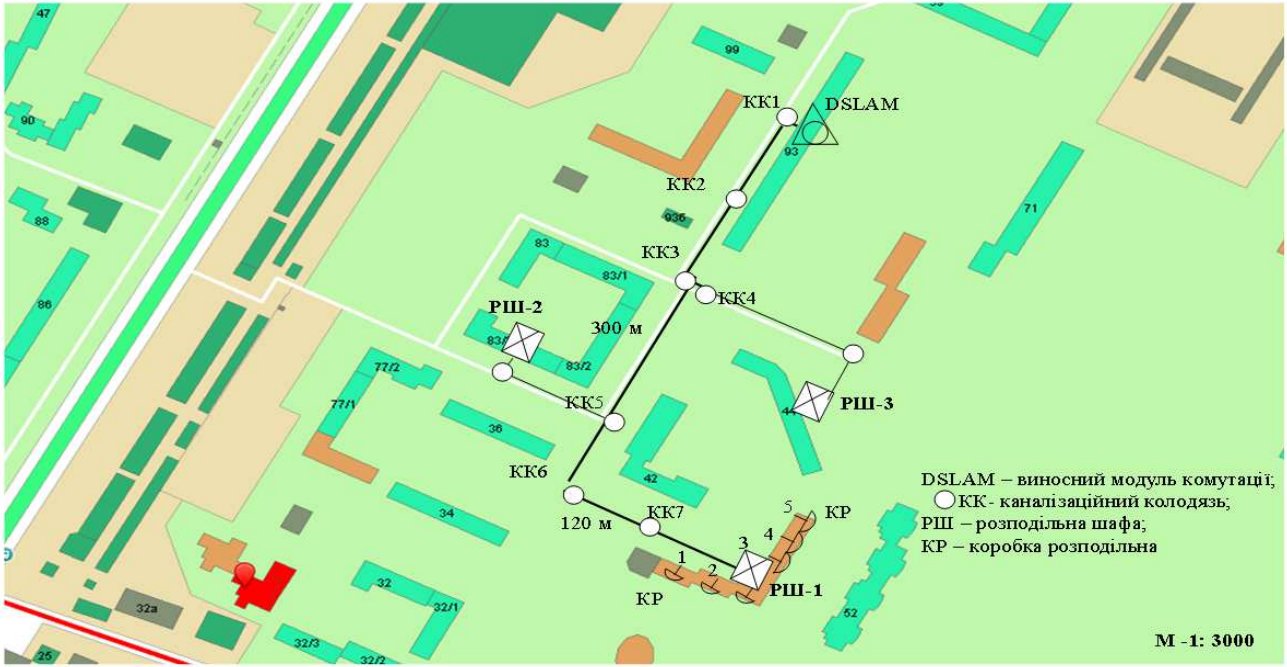
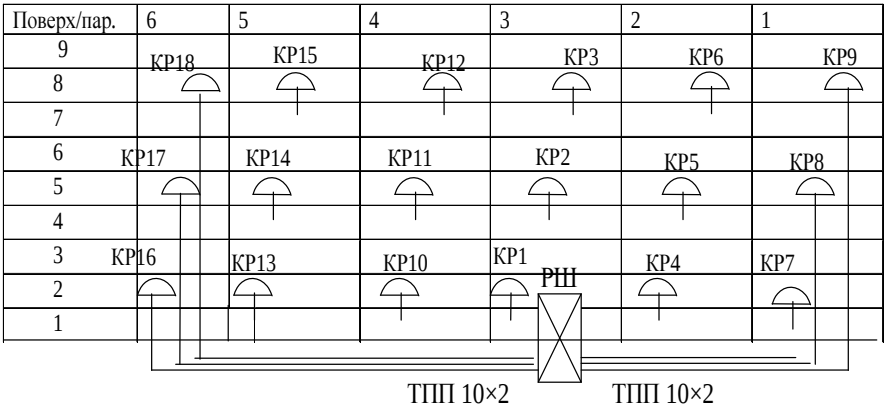
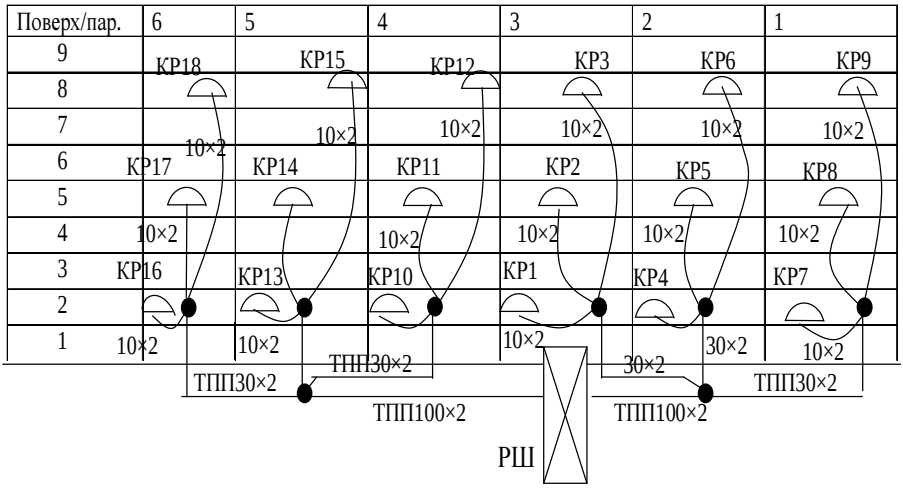


Рис. 2.11. Територіальне розташування об’єктів телефонізації



а) з РШ;



б) з РШ та розподільними муфтами (рукавичками)

Рис. 2.12. Варіанти побудови розподільної ділянки мережі доступу

Крок 4. За допомогою ПЗ «Tioга» задамо вихідні дані (рис. 2.13). На першому етапі діаметр жил кабелю виберемо 0,64 мм для МК та РК (вибір типу кабелю показано в табл. 2.25).

Таблиця 2.25

Тип кабелю для кожної ділянки кабельної мережі

Ділянка кабельної мережі (лінія)	Довжина ділянки (лінії), км	Тип використовуваного кабелю	Кількість абонентів
КС – РШ1 (Лінія 1)	0,420	ТПП 200×2 (пучкова скрутка осердя)	
РШ1 –КР-1 (Лінія 2)	0,015	ТПП 20×2 (повивна скрутка осердя)	7
РШ1 – КР-2 (Лінія 3)	0,03	ТПП 10××2 (пучкова скрутка осердя)	3
РШ1 –КР-3(Лінія 4)	0,045	ТПП 10××2 (пучкова скрутка осердя)	5
РШ1 – КР-4 (Лінія 5)	0,035	ТПП 20×2 (повивна скрутка осердя)	6
РШ1 – КР-5 (Лінія 6)	0,05	ТПП 10×2 (повивна скрутка осердя)	4
РШ1 – КР-6 (Лінія 7)	0,065	ТПП 20×2 (пучкова скрутка осердя)	5
РШ1 – КР-7 (Лінія 8)	0,06	ТПП 10×2 (повивна скрутка осердя)	4
РШ1 – КР-8 (Лінія 9)	0,075	ТПП 20××2 (пучкова скрутка осердя)	8
РШ1 – КР-9 (Лінія 10)	0,09	ТПП 10×2 (пучкова скрутка осердя)	3
РШ1 – КР-10 (Лінія 11)	0,02	ТПП 20×2 (повивна скрутка осердя)	7
РШ1 – КР-11(Лінія 12)	0,035	ТПП 10×2 (пучкова скрутка осердя)	3
РШ1 – КР-12 (Лінія 13)	0,05	ТПП 20×2 (повивна скрутка осердя)	5
РШ1 – КР-13(Лінія 14)	0,035	ТПП 10×2 (пучкова скрутка осердя)	5
РШ1 – КР-14 (Лінія 15)	0,05	ТПП 20×2 (повивна скрутка осердя)	6
РШ1 – КР-15(Лінія 16)	0,065	ТПП 10×2 (пучкова скрутка осердя)	4
РШ1 – КР-16(Лінія 17)	0,055	ТПП 20×2 (повивна скрутка осердя)	6
РШ1 – КР-17(Лінія 18)	0,07	ТПП 10×2 (пучкова скрутка осердя)	4
РШ1 – КР-18(Лінія 19)	0,085	ТПП 20×2 (повивна скрутка осердя)	5

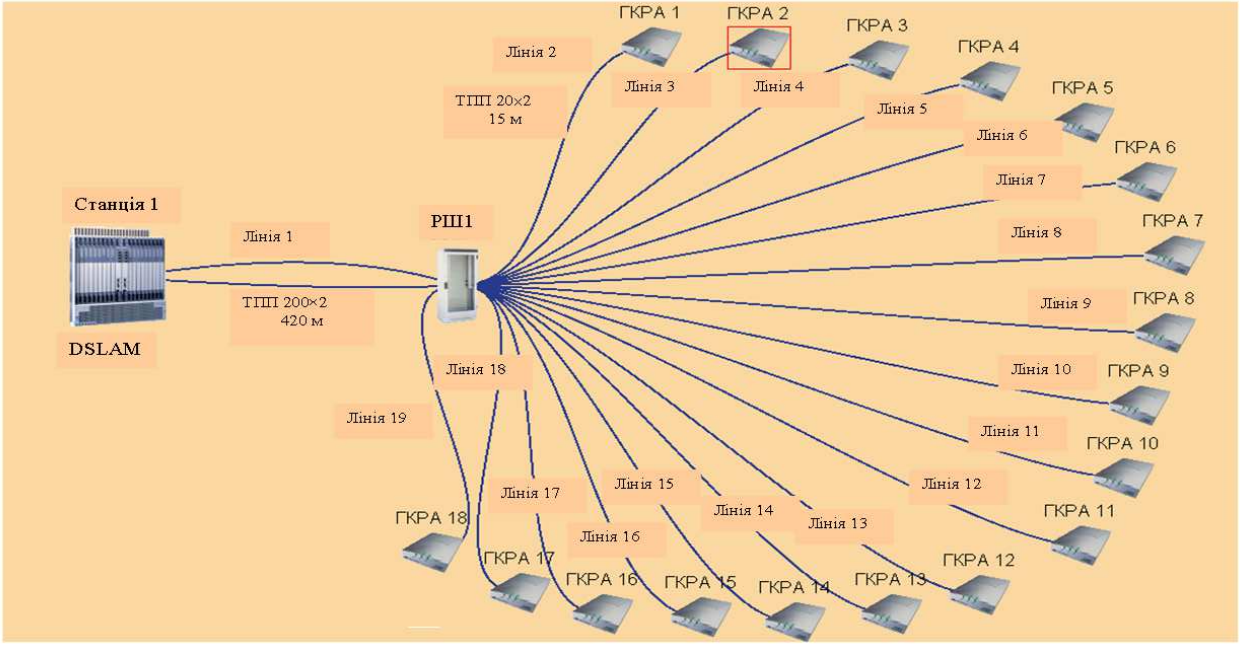


Рис. 2.13. Приклад структури широкосмугового абонентського доступу проектованої мережі

Крок 5. Промоделюємо в ПЗ «Tioга» всі напрями мережі, які включають магістральну ділянку DSLAM – РШ1 та розподільні ділянки РШ – КР.

Крок 6. Програма моделює та обчислює досяжні швидкості для кожної ЦАЛ. Зведемо досяжні швидкості для кожної ГКРА в табл. 2.26 (наведемо деякі ГКРА).

Таблиця 2.26

Швидкості передавання для кожної проектованої xDSL-лінії з діаметром жил кабелю 0,64 мм

Назва проектованої ГКРА	Назва абонента	Задана швидкість по xDSL-лінії, кбіт/с		Розрахована (максимально досяжна) швидкість по xDSL-лінії, кбіт/с	
		upstream	downstream	upstream	downstream
ГКРА 1	1	1000	9800	1000	13888
	2	1000	9800	1000	11584
	3	1000	9800	1000	11296
	4	1000	9800	1000	11264
	5	1000	9800	1000	11584
	6	1000	9800	1000	11744
	7	1000	9800	1000	11296
ГКРА 2	1	1000	9800	1000	11328
	2	1000	9800	1000	11328
	3	1000	9800	1000	13760
ГКРА 17	1	1000	9800	1000	11392
	2	1000	9800	1000	12576
	3	1000	9800	1000	12576
	4	1000	9800	1000	11136
ГКРА 18	1	1000	9800	1000	13888
	2	1000	9800	1000	11360
	3	1000	9800	1000	11360
	4	1000	9800	1000	11744
	5	1000	9800	1000	11296

Вимоги для всіх ЦАЛ задовольняються, тому перейдемо до наступного етапу оптимізації параметрів проектованої ділянки мережі доступу. Оптимізація полягає у виборі параметрів магістрального та розподільного кабелів – числа і діаметра жил, за яких виконуються вимоги щодо швидкості доступу.

Крок 7. Установимо діаметр жил МК та РК рівним 0,5 мм. Промоделюємо, та перевіримо результат за допомогою ПЗ «Tioга», отримані бажані швидкості зведемо до табл. 2.27 (наведемо декілька ГКРА).

Таблиця 2.27

Швидкості передавання для кожної проектованої xDSL-лінії з діаметром жил кабелю 0,5 мм

Назва проектованої ГКРА	Назва абонента	Задана швидкість по xDSL-лінії, кбіт/с		Розрахована (максимально досяжна) швидкість по xDSL-лінії, кбіт/с	
		upstream	downstream	upstream	downstream
ГКРА 1	1	1000	9800	1000	13920
	2	1000	9800	1000	11744
	3	1000	9800	1000	11328
	4	1000	9800	1000	11232
	5	1000	9800	1000	11744
	6	1000	9800	1000	11808
	7	1000	9800	1000	11328
ГКРА 2	1	1000	9800	1000	11328
	2	1000	9800	1000	11328
	3	1000	9800	1000	13792
ГКРА 3	1	1000	9800	1000	11232
	2	1000	9800	1000	12128
	3	1000	9800	1000	12128
	4	1000	9800	1000	11200
	5	1000	9800	1000	11232

Крок 8. Наступним кроком, буде заміна діаметра та ємкості розподільного кабелю. Установимо діаметр жил РК рівним 0,4 мм, ємність кабелю 10×2. Промоделюємо та перевіримо результат за допомогою ПЗ «Тіога», отримані бажані швидкості зведемо до табл. 2.28 (наведемо декілька ГКРА).

Таблиця 2.28

Швидкості передавання для кожної проектованої xDSL-лінії

Назва проектованої ГКРА	Назва абонента	Задана швидкість по xDSL-лінії, кбіт/с		Розрахована (максимально досяжна) швидкість по xDSL-лінії, кбіт/с	
		upstream	downstream	upstream	downstream
ГКРА 1	1	1000	9800	1000	11488
	2	1000	9800	1000	11488
	3	1000	9800	1000	11616
	4	1000	9800	1000	11072
	5	1000	9800	1000	12448
	6	1000	9800	1000	11616
	7	1000	9800	1000	13248
ГКРА 2	1	1000	9800	1000	11264
	2	1000	9800	1000	12512
	3	1000	9800	1000	13312
ГКРА 3	1	1000	9800	1000	11552
	2	1000	9800	1000	11200
	3	1000	9800	1000	11552
	4	1000	9800	1000	11392
	5	1000	9800	1000	12320

Процес оптимізації завершується на тому, що будемо використовувати магістральний кабель 100 × 2 з діаметром 0,5 мм. Розподільний кабель 10 × 2 з діаметром 0,4 мм, досяжна швидкість порядку 10 – 11 Мбіт/с.

Крок 9. Навести оптимальне завантаження пар кабелю аналогічно з існуючою мережею (див. табл. 2.22).

Крок 10. Перевірити працездатність xDSL-ліній при 100% завантаженні кабелю. За аналогією вище наведених кроків, за допомогою ПЗ «Tiora» промоделювати проектовану мережу задавши 180 абонентів ШД. Отримана досяжна швидкість складає порядку 10 Мбіт/с. Можна зробити висновок, що проектована мережа буде працювати і при 100% завантаженні.

2.10.4. Методика розрахунку економічних показників

Для будівництва проектованої мережі широкосмугового доступу потрібні наступні капітальні вкладення:

– на придбання обладнання широкосмугового доступу, придбання кабелів і витратних матеріалів;

– на транспортні і заготівельно-складські витрати;

– на монтаж і налаштування обладнання.

За методикою п. 2.7.4 розрахуємо економічні показники нової мережі xDSL доступу.

Тарифні доходи для проектованої нової мережі будуть складатися з телефонних тарифів та Інтернет-трафіка:

$$Д_т = Д_В \text{ тел} + Д_В \text{ інт}. \quad (2.9)$$

Телефонні тарифи будуть складатися зі щомісячної абонплати:

$$Д_В \text{ тел.} = С_м \times N_{аб}, \quad (2.10)$$

де $С_м$ – абонплата за місяць (27 грн.); $N_{аб}$ – кількість абонентів.

Підставимо значення у формулу (2.10):

$$Д_В \text{ тел.} = 27 \times 180 = 4860 \text{ грн.}$$

Тарифні доходи від Інтернет-трафіка:

$$Д_В \text{ інт} = С_м \times N_{аб}, \quad (2.11)$$

де $С_м$ – абонплата за місяць (70 грн.); $N_{аб}$ – кількість абонентів (90).

Підставимо значення у формулу (2.11):

$$Д_В \text{ інт} = 70 \times 90 = 6\ 300 \text{ грн.}$$

Підставимо значення у формулу (2.9) та визначимо тарифні доходи:

$$Д_т = 4\ 860 + 6\ 300 = 11\ 160 \text{ грн.}$$

Розрахуємо власні доходи за формулою (2.4, п. 2.7.4):

$$Д_{В} = 11\ 160 \times 12 = 133\ 920 \text{ грн.}$$

Розрахуємо капітальні вкладення на придбання й установлення обладнання ЦСП та придбання й прокладання кабелю. Для цього наведемо вартість станційного обладнання та лінійні затрати в табл. 2.29.

Таблиця 2.29

Вартість обладнання та кабелю

№ з/п	Найменування виробу	Ціна, грн.	Кількість	Одиниці вимірювання	Вартість, грн.
Вартість станційного обладнання, $С_{ст}$					
1	ВМК DSLAM, на 48 портів	16 608	2	шт.	33 216
2	Абонентський модем ADSL2+ TP - LINK	161	90	шт.	14 490
Загальна вартість станційного обладнання, $С_{ст}$					47 706
Вартість лінійного обладнання $С_{лін}$					
3	Коробка розподільна КРТМ 10×2	11, 80	18	шт.	212,4
4	Розподільна шафа РШ	1265,5	1	шт.	1265,5
5	Бокс розподільний БКТ 100×2	300	2	шт.	600
6	Кабель ТПП 200×2×0,5	11,072	420	м	4650,24
7	Кабель ТПП 10×2×0,4	5,088	930	м	4 731,84
Загальна вартість лінійних затрат $С_{лін}$					11 459,98

Розраховуємо капітальні вкладення на придбання й установлення обладнання ЦСП за формулою (2.7, п. 2.7.4):

$$К_{ст} = 47\ 706 \times 1{,}4 = 66\ 788{,}4 \text{ грн.}$$

Розраховуємо капітальні витрати на лінійне обладнання:

$$К_{лін} = С_{лін} \times k, \qquad (2.12)$$

де $С_{лін}$ – вартість лінійних затрат; k – коефіцієнт, може приймати значення від 1,5 до 3, в залежності від умов прокладання кабелю, витрат на геодезичні та проектувальні роботи, в нашому прикладі приймаємо 1,6. Підставимо значення та отримаємо:

$$К_{лін} = 11\ 459{,}98 \times 1{,}6 = 18\ 335{,}968 \text{ грн.}$$

За формулою (2.6, п. 2.7.4) розрахуємо загальні витрати:

$$К_{заг} = 66\ 788{,}4 + 18\ 335{,}968 = 85\ 124{,}368 \text{ грн.}$$

За виразом (2.5, п. 2.7.4) розраховуємо експлуатаційні витрати:

$$С = 0{,}08 \times 85\ 124{,}368 = 6\ 809{,}94944 \text{ грн.}$$

Підставивши числові значення у (2.3, п. 2.7.4), розраховуємо коефіцієнт економічної ефективності:

$$E_0 = (133\,920 - 6\,809{,}94944) / 85\,124{,}368 = 1{,}49.$$

Термін окупності капітальних вкладень визначається виразом (2.8, п. 2.7.4):

$$T_0 = 1 / 1{,}49 \approx 0{,}7 \text{ року.}$$

Як видно із розрахунків, термін окупності капітальних вкладень складає 0,7 року, що ефективно з економічної точки зору.

Висновок: Розрахунки показали, що $E_0 \geq 0{,}15$. Отже, проект є економічно привабливим.

2.11. Використання магістральних кабелів великої ємності

З метою зменшення капітальних витрат на будівництво абонентської мережі на магістральній ділянці в разі потреби використовуються кабелі великої ємності від 200 до 2400 телефонних пар. Кабелі меншої ємності, починаючи зі 100-парного, послідовно об'єднуються в кабелі більшої ємності.

Як свідчить аналіз, з точки зору перехідних завад між ЦАЛ перехід зі 100-парних кабелів (для них працює методика та ПЗ «Tiora») на кабелі більшої ємності не погіршує умови порівняно зі 100-парним кабелем з однаковою сумарною довжиною (сума довжин магістральної і розподільної ділянок) з максимальною щільністю ЦАЛ. Це пов'язане з екрануючою дією металевих пар та зменшенням щільності ЦАЛ у кабелі при збільшенні його ємності.

Таким чином, після проектування мережі на базі 100-парних кабелів подальше об'єднання їх в кабелі більшої ємності повинно виконуватися виходячи з економічної ефективності. При цьому розташування ЦАЛ в кабелях більшої ємності повинно виконуватися згідно з рекомендаціями розд. 3.

3. ОСОБЛИВОСТІ БУДІВНИЦТВА XDSL-ЛІНІЙ

3.1. Вимоги до будівництва та монтажу абонентських ліній

Будівництво лінійно-кабельних споруд включає у себе наступний комплекс основних робіт:

а) прокладання кабельної каналізації;

б) спорудження оглядових пристроїв;

в) установлення розподільних шаф і розподільних коробок;

г) прокладання магістральних і розподільних кабелів.

Основні вимоги до будівництва і монтажу абонентських ліній, включаючи монтаж кросів, розподільних шаф, муфт і розподільних коробок, викладені в «Общей инструкции по строительству линейных сооружений ГТС». – М.: Связь, 1978. – 432 с.; КНД 45-189 «Керівництво з експлуатації лінійно-кабельних споруд місцевих мереж зв'язку» (с. 56-67) і ВБН В.2.2-45-1-2004 «Проектування телекомунікацій. Лінійно-кабельні споруди».

Монтаж кабелів місцевих мереж зв'язку включає в себе наступний комплекс основних робіт:

а) зрощення будівельних довжин;

б) включення кабелів у прикінцеві кабельні пристрої (розподільні коробки, бокси, кабельні скриньки, захисні смуги);

в) попередні, періодичні та контрольні вимірювання електричних характеристик кабелів, що монтуються.

У зв'язку з тим, що абонентська лінія стає високочастотною, необхідно застосувати:

– бокси та телефонні розподільні коробки з плінтами, що забезпечують мінімальний опір контактів у точках з'єднання;

– розподільні кабелі і кабелі абонентської проводки з мінімальним опором жил, високими значеннями опору ізоляції і перехідних згасань;

– заземлення екрану кабелю на лінійній стороні кросу під час його вводу до станції.

При монтажі муфт необхідно [2...4]:

– зберігати порядок пар (четвірок) при проходженні через муфти;

– з'єднувати жили «колір у колір», «повив у повив», «пучок у пучок»;

– запобігати «розбивки» пар (четвірок);

– відновити всі елементи конструкції з мінімальною зміною поперечного перетину кабелю;

– застосувати механічні з'єднувачі для з'єднання струмопровідних жил;

– герметизувати з'єднання струмопровідних жил та муфт;

– відновити оболонки кабелів «холодним» способом за допомогою стрічкових або композиційних «компресійних» муфт;

– працювати зі справним інструментом і паяльними лампами (газовими пальниками);

– суворо дотримуватися правил охорони праці та технології монтажу.

Технологічний процес монтажу муфт на герметизованих кабелях здійснюється за допомогою використання спеціалізованих комплектів, що поставляються в пакетах і містять необхідну кількість матеріалів для монтажу муфт. До складу комплекту можуть входити наступні компоненти:

– відрізки термоусаджених трубок із шаром, що підклеює;
– муфти поліетиленові;
– рідкий гідрофобний заповнювач;
– отверджувач (закріплювач);
– екранна шина;
– індивідуальні з'єднувачі;
– структурна стрічка типу Armorcast;
– багатопарні з'єднувачі.

З метою зменшення рівня завад в АЛ необхідно:

– на станційній ділянці АЛ та в якості абонентської проводки використовувати кабель типу «обвита пара»;
– забезпечити напруги живлення АТС відповідно до вимог ГСТУ 45.022-2001;
– розташувати сплітери DSLAM на мінімальній відстані від кроса АТС;
– забезпечити підімкнення лінійного і телефонного портів сплітера до плінтів кроса АТС за допомогою малопарного екранованого кабелю;
– розташувати абонентські сплітер і xDSL-модем якнайближче до розподільної коробки чи розподільної шафи;
– забезпечити безперервність екрана по всій довжині АЛ;
– здійснити відбір пар кабелю з метою зменшення перехідних завад;
– знайти і виключити (за можливістю) джерела зовнішніх електромагнітних завад.

3.2. Особливості реконструкції абонентських ліній кросів, розподільних шаф, муфт, розподільних коробок

Технологія монтажу кабелів місцевого зв'язку, відновлення й стабілізації електричних характеристик кіл кабелів із пластмасовою ізоляцією жил передбачає з'єднання жил у муфтах, герметизацію з'єднань струмопровідних жил, видалення вологи з-під оболонки кабелю, заповнення кабелю гідрофобним заповнювачем, використання одножильних і багатожильних з'єднувачів, відновлення екрана в муфтах.

З'єднання жил у муфтах

Ручне скручування жил у муфтах призводить до того, що з часом опір з'єднання жил збільшується через окислення й може досягати величини 0,2...0,9 Ом. При цьому величина опору змінюється залежно від амплітуди сигналу, що приводить до додаткової модуляції сигналу. Зміна опору з'єднання жил збільшує омічну асиметрію лінії, що, у свою чергу, приводить до збільшення взаємних впливів між парами кабелю.

Для надійної роботи систем передачі кабелями місцевого зв'язку опір з'єднання не повинен перевищувати 0,0025 Ом. Зменшення опору з'єднання жил

до норми досягається застосуванням врізного контакту за допомогою одно- і багатожильних механічних з'єднувачів. Вони забезпечують просту й економічну технологію з'єднання, що скорочує час будівництва, реконструкції й ремонту мережі АЛ.

Герметизація з'єднань струмопровідних жил

Необхідність герметизації з'єднання зростка жил викликана впливом вологи на параметри передавання й взаємного впливу між парами кабелю. Герметизація з'єднань жил здійснюється шляхом застосування: механічних з'єднувачів з гідрофобним заповненням усередині корпуса; механічних з'єднувачів, вкладених у капсулу з гідрофобним заповнювачем.

Для герметизації з'єднань жил у муфті й відновлення оболонок кабелю застосовують дві технології: «гарячу» і «холодну». При «гарячому» способі відновлення оболонок використовують наплавлення поліетиленової стрічки під скляною стрічкою або трубки з термічною усадкою й манжети. Застосування цього способу пов'язане із застосуванням відкритого вогню й процесу нагрівання. Однак при охолодженні термоусаджених манжет усередині муфти утворюється конденсат, що покриває всі конструктивні елементи муфти.

«Холодний» метод припускає використання стрічкових, компаундних і механічних муфт. Використання стрічкових і механічних муфт усуває недоліки «гарячого» методу, але не вирішує проблему відновлення гідрофобного заповнювача. Останнього недоліку позбавлений спосіб монтажу з використанням компаундних «компресійних» муфт. Ці муфти забезпечують повну захищеність з'єднань жил від вологи. Після з'єднання всіх жил за допомогою механічних з'єднувачів зросток і краї оболонки обмотують пластиковим аркушем, утворюючи ємність, яку заповнюють гелем. Далі кабельщик поверх пластикового аркуша намотує еластичну стрічку, створюючи надлишковий тиск до 50 кПа. У результаті цього гель проникає в осердя кабелю з обох боків від кінців муфти, чим і створюється повна його герметизація. Цей метод герметизації муфт рекомендується для використання як на кабелях з гідрофобним заповненням, так і на кабелях без гідрофобного заповнення.

Видалення вологи з-під оболонки кабелю

Технологія видалення вологи з кабелів зв'язку полягає у витисненні вологи, що перебуває під оболонкою кабелю, у результаті тиску гідрофобного заповнювача. Заповнення повітряного простору в осерді кабелю заповнювачем призводить до відновлення опору ізоляції й параметрів взаємного впливу до нормативних значень. Введення гідрофобного заповнювача приводить до збільшення робочої й часткової ємностей, а також робочого загасання пари. Робоча ємність пар при цьому збільшується на 10...15 %. У цілому після видалення вологи кабель має властивості кабелю з гідрофобним заповненням. До переваг застосування технології видалення вологи належить майже повне відновлення опору ізоляції кабелю, економія коштів (порівняно з придбанням нового заповненого кабелю в 6...9 разів), короткий час перерви зв'язку (1...2 хвилини на з'єднання пари), відмова від застосування пристроїв за змістом магістральних кабелів під надлишковим повітряним тиском, збільшення терміну експлуатації.

Орієнтовна кількість заповнювача, необхідного для заповнення осердя, визначається маркою кабелю й наведена в табл. 3.1.

Таблиця 3.1

Витрати гідрофобного заповнювача, літр на 1 км кабелю

Марка кабелю	Діаметр жил, мм		
	0,32	0,4	0,5
ТПП 10 × 2	8	12	15
ТПП 20 × 2	12	20	45
ТПП 30 × 2	20	35	55
ТПП 50 × 2	35	50	80
ТПП 100 × 2	50	100	125
ТПП 200 × 2	120	150	200
ТПП 300 × 2	180	225	300
ТПП 400 × 2	220	300	400
ТПП 600 × 2	300	420	560

Для проведення робіт організується підготовлена бригада кабельщиків, яка забезпечується установкою, гідрофобним заповнювачем, компаундними компресійними муфтами, компаундом, вимірювальними приладами й інструментами кабельщика.

Організація робіт із заповнення кабелю гідрофобним заповнювачем

Передбачається виконання наступних етапів робіт:

1. Оцінювання можливості заміни кабелю.

На кабельній мережі можна умовно виділити два характерних випадки її стану. Перший характеризується мінімальним числом муфт. Другий характеризується наявністю додаткових муфт, які з'явилися в результаті усунення пошкоджень. Кожна додаткова муфта є джерелом зміни електричних параметрів АЛ і взаємних впливів. Якщо на ділянці кабелю перебуває більше трьох-чотирьох муфт, то доцільно замінити кабель і виконати операцію гідрофобного заповнення.

2. Електричні вимірювання параметрів кабелю.

Перед початком робіт необхідно виконати вимірювання електричних параметрів кабелю. Це дозволить оцінити стан кабелю до початку і якість проведених робіт із заповнення кабелю гідрофобним заповнювачем.

3. Перемонтаж муфт.

Якщо струмопровідні жили з'єднані в муфтах ручним скрученням, то необхідно демонтувати муфти й виконати з'єднання жил за допомогою механічних з'єднувачів. У якості нових муфт можна використовувати, наприклад, муфти компаундні, виробництва компанії МАКО з гелем 8882.

Якість виконання монтажних робіт необхідно контролювати електричними вимірюваннями.

4. Заміна шаф, боксів і плінтів.

У розподільних шафах необхідно установлювати бокси з плінтами врізного типу, наприклад, виробництва фірм 3M, R&M. Це дозволить зменшити перехідний опір у місці з'єднання провідників і не зменшити перехідні загасання між парами включеного кабелю. У розподільних коробках також необхідно установити плінти з врізними контактами. Після закінчення всіх перелічених робіт проводяться електричні вимірювання для оцінювання якості проведених робіт.

5. Накачування кабелю гідрофобним заповнювачем.

Користуючись інструкцією по роботі установки, здійснюють її підімкнення до кабелю й заповнюють простір між жилами й оболонкою гідрофобним заповнювачем.

6. Герметизація відводів у кабелі.

По закінченні заповнення осердя кабелю гідрофобним заповнювачем виконують відключення технологічної установки й герметизацію отворів у кабелі.

7. Консервація установки.

Після відімкнення установки від кабелю її необхідно промити, очистити й зібрати для подальшого зберігання.

Монтаж муфт за допомогою одножильних і багатожильних з'єднувачів

При з'єднанні будівельних довжин кабелів у муфтах відбувається збільшення взаємного впливу між парами кабелю через порушення однорідності поперечного перерізу кабелю й кроку скрутки пар. Застосування з'єднувачів струмопровідних жил теж змінює взаємне розміщення пар, пучків і повивів у муфті. Одножильні з'єднувачі доцільно розташовувати рівномірно уздовж муфти й застосовувати для монтажу малопарних (переважно десятипарних) кабелів.

Багатопарні з'єднувачі зберігають високі перехідні загасання між пучками, однак зменшують їх усередині пучка. Багатопарні з'єднувачі (10, 20, 25 пар) більше підходять для монтажу багатопарних кабелів (50 і більше пар).

Відновлення екрана в муфтах

Ефективним засобом зменшення зовнішніх електромагнітних впливів на пари кабелів місцевого телефонного зв'язку є застосування екрана. У кабелях місцевого телефонного зв'язку застосовується екран у вигляді стрічки з тонкої алюмінієвої фольги завтовшки 0,1...0,2 мм, що накладається на осердя спірально з перекриттям. Екран буде ефективно працювати, якщо зберігається його безперервність на всій довжині. Для збереження безперервності екрана, прокладаючи кабель в телефонній каналізації й монтуючи муфти, у конструкцію кабелю вводять луджений мідний провідник. При монтажі муфт необхідно відновити безперервність як алюмінієвої стрічки, так і лудженого мідного провідника. Для відновлення лудженого мідного провідника необхідно застосовувати одиночний з'єднувач.

Ефективність роботи екрана залежить від його заземлення. По кінцях абонентської лінії, тобто в кросі, у розподільних шафах і розподільних коробках, екран кабелю необхідно заземлювати.

3.3. Правила безпеки при роботах на кабельних лініях зв'язку

Правила безпеки при роботах на кабельних лініях зв'язку викладені у НПАОП 64.2-1.07-96 (ДНАОП 5.2.30-1.07-96).

Ці правила є нормативною основою для працівників, причетних до будівництва кабельних ліній зв'язку, організації технологічних процесів, для навчання працівників безпечним методам праці з метою попередження виробничого травматизму і професійних захворювань.

Згідно з цим документом, усі роботи на кабельних лініях зв'язку повинні проводитися за допомогою справних інструментів, за наявністю справних засобів захисту, зі знанням і вмінням виконувати правила безпечного проведення робіт, надання першої допомоги потерпілим від нещасних випадків.

Підвищеної уваги вимагає виконання робіт з підвищеною небезпекою, до яких відносяться роботи в кабельних колодязях і в приміщеннях уведення кабелів.

Допуск до роботи осіб, що не пройшли в установленому порядку навчання, інструктаж і перевірку знань з охорони праці, забороняється.

Перед початком робіт на лінії необхідно виконати наступні дії:

– оформити наряд-допуск на виконання робіт;

– підготувати необхідний інструмент;

– зняти дистанційне живлення з лінії (за його наявністю);

– на станційному обладнанні, з якого знімається дистанційне живлення, повісити плакат з надписом «Не вмикати! Робота на лінії»;

– у кросі на захисній смузі лінію від'єднати від станційного обладнання за допомогою роз'єднувача (фібрової прокладки або вилки з ізоляційного матеріалу) і перевірити відсутність напруги у сторону лінії;

– перед початком робіт у приміщеннях уведення (шахті) комутаційної станції (АТС) і в розподільній шафі перевірити наявність газів за допомогою газоаналізатора.

По закінченні робіт необхідно виконати наступні дії:

– повідомити керівникові робіт про їхнє закінчення і про всі недоліки, помічені під час робіт, ужиті заходи з їх усунення;

– відновити в кросі на захисній смузі з'єднання лінії зі станційним обладнанням;

– включити дистанційне живлення і зняти плакати безпеки (забороняючі та вказівні за наявністю).

3.4. Рекомендації з організації електроживлення та заземлення:

1. У будівлях з телекомунікаційним обладнанням мережа електроживлення повинна бути виділеною і виконаною за 5-провідною схемою з типом системи заземлення TN-S (ДСТУ 4113-2001) у магістральній частині і за

3-провідною схемою в груповій частині з використанням розеток із заземлюючим контактом. Вибір перерізу провідників N, PE та ін. слід виконувати згідно з вимогами п. 2.5.15 ДНАОП 0.00-1.32-01. Параметри сигналів електроживлення у точці введення у будівлю (щитова) мають відповідати ГОСТ 13109-97.

2. З метою запобігання завадам від ліній електроживлення при зниженні опору їх ізоляції, а також захисту працюючих згідно з вимогами п. 2.8 ДНАОП 0.00-1.32-01 штепсельні розетки живлення повинні бути підімкнені за допомогою пристроїв захисного вимкнення.
3. Штепсельні розетки живлення малопотужних компонентів обладнання підключають за магістральною схемою, групуючи по 3...5 робочих місць (3 розетки із заземлюючим проводом на одне робоче місце). Схема розведення кабелів у межах одного поверху має бути багатопроменевою, без утворення замкнутих просторових петель (це мінімізує площу паразитних контурів, що є приймачами імпульсних завад). Неприпустимим є застосування міжповерхових перемичок, крім з'єднання з основним фідером, а також перемичок із загальнопромисловою мережею освітлення й іншими.
4. Розетки виділеної мережі електроживлення маркуються для запобігання їх нецільового використання іншими споживачами. Забороняється установлювати розетки в місцях, доступних стороннім особам.
5. За відсутності виділеної мережі електроживлення підімкнення телекомунікаційного обладнання до мережі електроживлення будинку може здійснюватися тільки через додатковий фільтр або джерело безперебійного живлення (On-Line UPS).
6. Параметри сигналів електроживлення на виході захисних пристроїв і фільтрів (на інтерфейсі електроживлення телекомунікаційного обладнання) мають відповідати ETSI 300 132-1.
7. Виділені мережі електроживлення виконуються тільки мідним кабелем. У коридорах при установленні підвісних стель проводку кабелю рекомендується вести в кабельних лотках. По одному боці коридору прокладаються силові кабелі, а по іншому – телекомунікаційні кабелі. Перетинання трас кабелів допускається тільки під прямим кутом.
8. Ділянки виділеної мережі електроживлення будинку від головного розподільного щита до щитів на поверхах виконуються тільки в сталевих трубах або кабелем у металевій оболонці.
9. Металеві труби, кожухи й інші неструмоведучі частини будинку повинні бути приєднані до шини захисного заземлення будинку провідниками з низьким електричним опором.
10. У будинку з телекомунікаційним обладнанням повинен бути контур функціонального (робочого, телекомунікаційного) заземлення (опір заземлення не більше 1 Ом), що виконується окремо від захисного заземлення будинку. Розведення шин функціонального заземлення здійснюється за схемою "дерева з гілками" без утворення контурів і виконуються мідним кабелем з перетином не менш 16 мм^2. Не

допускається контакт шин функціонального заземлення з металевими конструкціями будинку (арматурою, трубопроводами, кожухами й ін.), що мають захисне заземлення.

11. Контур функціонального заземлення приєднується мідним кабелем мінімальної довжини з перетином не менш 16 мм^2 до контакту захисного заземлення у точці введення фідерів у будівлю (щитову). При цьому величина опору цього кабелю має становити не більше 0,1 Ом.
12. З'єднання заземлюючих провідників між собою повинні забезпечувати надійний контакт і виконуватися за допомогою зварювання. Допускається в приміщеннях виконувати з'єднання захисних заземлюючих провідників іншими способами, що відповідають вимогам ГОСТ 10434-82 до 2-го класу з'єднань. При цьому мають вживатися заходи проти ослаблення і корозії контактних з'єднань. З'єднання провідників заземлюючих електропроводок допускається виконувати тими ж методами, що і фазних провідників. З'єднання заземлюючих провідників повинні бути доступні для огляду.
13. Усі пристрої та кабелі електропостачання й заземлення телекомунікаційного обладнання рекомендується розміщати тільки в межах зони, що охороняється.

4. ОСОБЛИВОСТІ ЕКСПЛУАТАЦІЇ xDSL-ЛІНІЙ

4.1. Попередня оцінка технічної можливості організації xDSL-лінії

Протягом одного робочого дня з моменту отримання замовлення від потенційного абонента на організацію xDSL-лінії має виконуватися процедура попередньої оцінки технічної можливості організації xDSL-лінії із замовленою абонентом швидкістю передавання у низхідному і висхідному напрямах.

Процедура полягає у виконанні наступних кроків.

1) Перевірити виконання наступних вимог:

– абонент є абонентом ТМЗК ВАТ "Укртелеком";
– абонентська лінія (АЛ) між кросом та приміщенням абонента не має ущільнень, по АЛ не передаються сигнали охоронної сигналізації або інші сигнали (однак можливе функціонування обладнання ADSL чи VDSL на АЛ, де використовуються сигнали охоронної сигналізації або інші сигнали, що займають діапазон частот *нижче 25 кГц*);
– АЛ між кросом та приміщенням абонента не має пупінівських котушок, паралельних відводів; на АЛ не використовується блокувач.

2) Перевірка можливості забезпечення швидкості, замовленої абонентом.

Спочатку здійснюється груба оцінка можливості забезпечення швидкості, замовленої абонентом (за допомогою рис. 4.1):

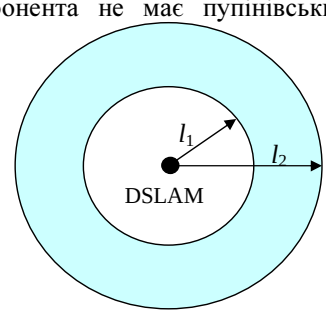


Рис. 4.1. "Зони покриття" при наданні послуг xDSL-доступу (технологія ADSL2+))

– визначити тип кабелю, довжину і діаметр жил абонентської лінії між кросом та приміщенням абонента;
– відрахувавши від центральної точки рисунку довжину абонентської лінії $l_{АЛ}$, визначити, в якій області рисунку знаходиться абонент: внутрішній, затемненій чи зовнішній (значення l_1 і l_2 визначаються за допомогою табл. 4.1...4.4);
– розташування абонента у внутрішній області означає, що швидкість, замовлена абонентом, гарантовано може бути забезпечена;
– розташування абонента у затемненій області означає, що нема гарантії того, що швидкість, замовлена абонентом, може бути забезпечена;
– розташування абонента у зовнішній області означає, що швидкість, замовлена абонентом, не може бути забезпечена; у цьому випадку треба запропонувати потенційному абоненту як тимчасовий захід (на період до одного місяця) профіль з нижчими швидкостями передавання (але максимальними серед тих, за яких абонент попадає у затемнену чи внутрішню область); після підімкнення абонента за цим (або іншим) профілем необхідно вжити заходів, що забезпечать абонента замовленою швидкістю передавання (наприклад, прокладання нової абонентської лінії, заміна даної пари кабелю на іншу шляхом перекросування та ін.).

Таблиця 4.1

Значення l_1 і l_2

	Кабель типу ТПП 0,32							
Швидкість у висхідному напряму, кбіт/с	96	96	96	160	160	160	320	320
Швидкість у низхідному напряму, кбіт/с	96	160	320	160	320	608	320	608
l_1, км	2,43	2,34	2,21	2,34	2,21	2,04	2,14	2,04
l_2, км	4,68	4,59	4,4	4,59	4,4	4,17	4,4	4,17
	Кабель типу ТПП 0,32							
Швидкість у висхідному напряму, кбіт/с	320	608	608	608	928	928	928	928
Швидкість у низхідно-му напряму, кбіт/с	1248	608	1248	2464	4896	9824	14720	19648
l_1, км	1,81	2,04	1,81	1,56	0,97	0,72	0,28	0,04
l_2, км	3,85	4,17	3,85	3,45	2,96	2,36	1,95	1,61

Таблиця4.2

Значення l_1 і l_2

	Кабель типу ТПП 0,4							
Швидкість у висхідному напряму, кбіт/с	96	96	96	160	160	160	320	320
Швидкість у низхідному напряму, кбіт/с	96	160	320	160	320	608	320	608
l_1, км	3,40	3,21	3,03	3,21	3,03	2,76	2,87	2,76
l_2, км	6,64	6,64	6,14	6,64	6,14	5,76	6,14	5,76
Швидкість у висхідному напряму, кбіт/с	320	608	608	608	928	928	928	928
Швидкість у низхідному напряму, кбіт/с	1248	608	1248	2464	4896	9824	14720	19648
l_1, км	2,38	2,26	2,26	1,99	1,35	0,86	0,30	0,04
l_2, км	5,22	5,76	5,22	4,56	3,80	2,96	2,39	1,97

Таблиця 4.3

Значення l_1 і l_2

	Кабель типу ТПП 0,5							
Швидкість у висхідному напряму, кбіт/с	96	96	96	160	160	160	320	320
Швидкість у низхідному напряму, кбіт/с	96	160	320	160	320	608	320	608
l_1, км	4,63	4,42	4,04	4,42	4,04	3,64	4,04	3,64
l_2, км	9,22	8,92	8,41	8,92	8,41	7,78	8,41	7,78
	Кабель типу ТПП 0,5							
Швидкість у висхідному напряму, кбіт/с	320	608	608	608	928	928	928	928
Швидкість у низхідному напряму, кбіт/с	1248	608	1248	2464	4896	9824	14720	19648
l_1, км	3,09	3,20	3,09	2,50	1,86	1,02	0,31	0,04
l_2, км	6,91	7,78	6,91	5,92	4,84	3,71	2,98	2,45

Таблиця 4.4

Значення l_1 і l_2

	Кабель типу ТПП 0,64							
Швидкість у висхідному напряму, кбіт/с	96	96	96	160	160	160	320	320
Швидкість у низхідному напряму, кбіт/с	96	160	320	160	320	608	320	608
l_1, км	6,29	6,07	5,51	6,07	5,51	4,89	5,51	4,89
l_2, км	12,81	12,34	11,53	12,34	11,53	10,61	11,53	10,61
	Кабель типу ТПП 0,64							
Швидкість у висхідному напряму, кбіт/с	320	608	608	608	928	928	928	928
Швидкість у низхідно-му напряму, кбіт/с	1248	608	1248	2464	4896	9824	14720	19648
l_1, км	4,09	4,89	4,09	3,32	2,42	1,26	0,32	0,04
l_2, км	9,30	10,61	9,30	7,89	6,43	4,90	3,94	3,24

Примітка. Наведені у табл. 4.1...4.4 значення l_1 розраховувалися з урахуванням максимального завантаження багатопарного кабелю лініями ADSL2+ (тобто з урахуванням максимальних перехідних завад від ліній ADSL2+), значення l_2 розраховувалися з урахуванням тільки білого адитивного гауссівського шуму зі спектральною щільністю потужності мінус 140 дБм/Гц на вході приймача.

За необхідності у випадку розташування абонента у затемненій області (тобто коли $l_1 < l_{АЛ} < l_2$) межі затемненої області (тобто значення l_1 і l_2) можуть бути уточнені. Для цього необхідно скористатися таблицями, що додаються до КСТ 2.8.___-2007 “Обладнання та мережі xDSL-доступу. Абонентські цифрові лінії з мідними жилами. Вимоги та методи вимірювань”, за методикою, викладеною у розд. 9 цього КСТ. Ці таблиці дозволяють визначити максимальну дальність зв’язку l_{max} при заданих швидкостях передавання у низхідному і висхідному напрямах у залежності від кількості паралельно працюючих у 10-, 30-, 50- чи 100-парному кабелі СП ADSL(2+).

Треба мати на увазі, що величина l_{max} у зв’язку зі статистичним розкидом значень параметрів кабелю є середнім значенням випадкової величини максимальної довжини ЦАЛ при заданих швидкісному профілі та завантаженні кабелю. Тому остаточний висновок про досяжну довжину ЦАЛ у випадку попадання довжини $l_{АЛ}$ в інтервал від 0,9 l_{max} до 1,1 l_{max} можна зробити лише після експериментальної перевірки ЦАЛ, що проектується.

В результаті уточнення значення l_1 дорівнює 0,9 l_{max}, l_2 дорівнює 1,1 l_{max}.

При використанні складених АЛ (АЛ, що складаються з двох чи більше ділянок АЛ), а також для отримання більш точного прогнозу чи можливо забезпечити швидкість, замовлену абонентом, необхідно застосовувати програмне забезпечення (ПЗ) xDSL-Liner.

Оцінка можливості забезпечення швидкості, замовленої абонентом, за допомогою ПЗ xDSL-Liner має відбуватися шляхом виконання наступних кроків:

- вибрати тип СП, яку планується використовувати на даній АЛ – ADSL, ADSL2+, VDSL, SHDSL;
- ввести тип, кількість пар і діаметр жил кабелю на кожній ділянці АЛ;
- ввести виміряні рівні спектральної щільності потужності шуму на станційному та абонентському боці (у випадку, коли реальні значення спектральної щільності потужності шуму невідомі, слід застосовувати середньостатистичний рівень спектральної щільності потужності шуму, який становить близько мінус 120 дБм/Гц);
- задати сценарій завантаження пар кабелю існуючими (запланованими) системами передачі xDSL, який визначає перехідні завади, що діють на АЛ, яка аналізується.

Результатом роботи програми є швидкість передавання у низхідному і висхідному напрямах. Якщо замовлена абонентом швидкість передавання хоч в одному із напрямків перевищує розраховану швидкість, треба запропонувати потенційному абоненту як тимчасовий захід (на період до одного місяця) профіль з нижчими швидкостями передавання; після підключення абонента за цим (або іншим) профілем необхідно вжити заходів, що забезпечать абонента замовленою швидкістю передавання (наприклад, прокладання нової абонентської лінії, заміна даної пари кабелю на іншу шляхом перекросування та ін.).

4.2. Введення xDSL-ліній в експлуатацію

Введення xDSL-лінії в експлуатацію відбувається тільки у випадку наявності технічної можливості організації xDSL-лінії, що оцінюється згідно з п. 4.1.

Процедура введення xDSL-ліній в експлуатацію полягає у виконанні наступних дій:

1) Перевірити працездатність АЛ, здійснивши вхідний та вихідний телефонні виклики, у разі непрацездатності АЛ з'ясувати причину й усунути її.

2) У разі наявності на АЛ пупінівських котушок, паралельних відводів та/або блокувачу видалити їх.

3) Перевірити відповідність основних електричних параметрів АЛ нормам (див. табл. 4.5). У разі невідповідності АЛ цим нормам вжити заходи з покращання параметрів АЛ згідно з п. 4.5.

Таблиця 4.5

Норми параметрів АЛ

Параметр АЛ	Нормоване значення параметра
Низькочастотні параметри АЛ	
Погонний опір шлейфа пари	Згідно з табл. 8.1 КСТ 2.8.___-2007
Омічна асиметрія опору жил пари	Не більше 0,5% від опору шлейфа пари
Погонний електричний опір ізоляції пар	Згідно з табл. 8.2 КСТ 2.8.___-2007
Опір заземлення металічних екранів й оболонок кабелю	Згідно з табл. 8.3 КСТ 2.8.___-2007
Погонна ємність пари	Згідно з табл. 8.4 КСТ 2.8.___-2007
Максимальне робоче загасання АЛ на частоті 1020 Гц	Не більше 6 дБ
Середня за годину потужність шуму у смузі частот від 300 до 3400 Гц, виміряна у годину найбільшого навантаження	Не більше 200 пВт
Перехідне загасання на ближньому кінці між парами кабелю на частоті 1020 Гц	Не менше 69,5 дБ
Високочастотні параметри АЛ	
Частотна характеристика коефіцієнта загасання пари	Згідно з табл. 8.6 КСТ 2.8.___-2007
Загасання асиметрії АЛ на частоті 80 кГц	Не менше 44 дБ
Загасання асиметрії у діапазоні частот від 8 до 800 кГц	Згідно з п. 8.2.3 КСТ 2.8.___-2007
Рівень потужності та спектральної щільності потужності завад у АЛ	Згідно з п. 8.2.4 – 8.2.7 КСТ 2.8.___-2007

4) Пересвідчитися, що у абонента наявний комп'ютер з установленою операційною системою та портом USB чи Ethernet відповідно до типу xDSL-модема, що планується використовувати (абонент може бути власником xDSL-модема або отримати його у тимчасове платне користування у ВАТ "Укртелеком", xDSL-модем має обиратися згідно з переліком рекомендованого сертифікованого обладнання).

5) Надати xDSL-порт на станційному обладнанні (DSLAM) товариства.

6) Підімкнути/скросувати АЛ до порту DSLAM (у випадку ADSL – через сплітер), дотримуючись правил, викладених у р. 5.

7) Виїхати до абонента з виконанням наступних робіт на стороні абонента:

- якщо абонент планує використовувати власний xDSL-модем, перевірити належність його до переліку рекомендованих товариством модемів;
- підімкнути xDSL-модем (у випадку використання ADSL-модема підімкнення здійснюється за схемою, зображеною на рис. 4.2);
- установити PPPoE-драйвер на ПК абонента/сконфігурувати xDSL-модем для роботи в режимі "маршрутизатор";
- установити та/або налагодити необхідне програмне забезпечення на ПК (маршрутизаторі) абонента (за необхідності, як додаткова послуга);
- сконфігурувати локальну мережу абонента (за необхідності, як додаткова послуга);
- увести логін та початковий пароль з'єднання у ПК;
- повідомити співробітників товариства про готовність обладнання на стороні абонента до установлення з'єднання з DSLAM.

Примітка. За домовленістю абонент може самостійно підімкнути xDSL-модем.

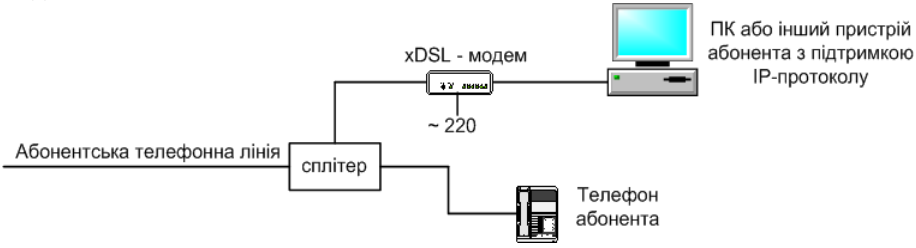


Рис. 4.2. Схема підімкнення ADSL-модема до обладнання абонента

Примітка. Сплітер підключається до основної телефонної розетки

8) Сконфігурувати порт DSLAM, для чого необхідно перевести відповідний порт DSLAM у стан enable – включено, а також установити наступні параметри xDSL-лінії у профілі абонента:

- *maximum downstream rate* = *minimum downstream rate* = замовлена абонентом швидкість передавання у низхідному напрямі;

– *maximum upstream rate = minimum upstream rate* = замовлена абонентом швидкість передавання у висхідному напряму;
– *downstream target SNR margin =upstream target SNR margin* = 6 дБ;
– *downstream maximum SNR margin = upstream maximum SNR margin* = 31 дБ;
– *downstream minimum SNR margin = upstream minimum SNR margin* = 0 дБ.

Після перевірки можливості доступу до Інтернет, функціонування телефонного зв'язку і стабільності функціонування xDSL-лінії упродовж 30 хв. процедуру з уведення в експлуатацію xDSL-лінії можна вважати завершеною.

9) Якщо не можливо організувати xDSL-лінію на замовлених абонентом швидкостях передавання у низхідному і висхідному напрямах, то необхідно вжити заходів з усунення пошкоджень xDSL-ліній згідно з п. 3.5 та/або заходів з покращання параметрів АЛ згідно з п. 4.6. Якщо й після цього xDSL-лінія не запрацювала, необхідно запропонувати абоненту як тимчасовий захід (на період до одного місяця) профіль з нижчими швидкостями передавання, але максимальними серед тих, що підтримуються. Після підімкнення абонента до цього профілю (з перевіркою можливості доступу до Інтернет, функціонування телефонного зв'язку і стабільності функціонування xDSL-лінії упродовж 30 хв.) необхідно вжити заходів, що забезпечать абонента замовленою швидкістю передавання (наприклад, прокладання нової абонентської лінії, заміна даної пари кабелю на іншу шляхом перекросування та ін.).

4.3. Порядок здавання і приймання абонентських ліній

По закінченню підготовки АЛ до використання у складі xDSL-лінії при прийманні її в експлуатацію виконуються приймально-здавальні випробування, які включають виміри основних електричних характеристик.

Електричний стан АЛ оцінюється шляхом порівняння виміряних електричних характеристик з установленими нормами. Виміряні значення електричних параметрів необхідно перераховувати на довжину 1 км при температурі 20° С.

У результаті проведення приймально-здавальних випробувань заповнюються протоколи електричних вимірювань низькочастотних і високочастотних параметрів АЛ (табл. 4.6, 4.7).

Таблиця 4.6

Високочастотні параметри xDSL-лінії

Найменування параметра	Гранично припустиме значення	Результат вимірювань	Відповідає / не відповідає, +/-
Рівень завад за відсутності перехідних завад від xDSL-ліній, дБм			
Крос АТС, розподільна коробка, у смузі частот: – від 0 до 500 кГц – від 25 до 2200 кГц	 не більше мінус 43 не більше мінус 36,6		
Спектральна щільність потужності завад за відсутності перехідних завад від xDSL-ліній, дБм/Гц			
Крос АТС, розподільна коробка, у смузі частот: – від 0 до 2208 кГц	 не більше мінус 100		
Різниця потужностей завад, вимірювана на різних часових інтервалах, дБ			
Крос АТС, розподільна коробка, інтервали вимірювання: 100 мкс 1 с	 не більше 6		

Таблиця 4.7

Узагальнені параметри xDSL-лінії

Тип xDSL-лінії (HDSL, SHDSL, ADSL, ADSL G.Lite, ADSL2 Splitterless ADSL2 чи ADSL2+)	Результати вимірювань		Нормоване значення запасу завадо-захищеності для низхідного/висхід-ного напрямів, не менше, дБ	Відповідає / не відповідає, +/-
	швидкості передавання по xDSL-лінії для низхідного/ висхідного напрямів, Мбіт/с	значення запасу завадозахи-щеності для низхідного/ висхідного напрямів, дБ		

Протокол електричних низькочастотних параметрів містить результати порівняння виміряних значень з нормованими значеннями параметрів АЛ:

– опір шлейфа кола;

– опір ізоляції кожної жили кабелю по відношенню до інших жил, з'єднаних до заземленого екрана;

– опір ізоляції екрана по відношенню до землі;

– робоча ємність кола;

– омічна асиметрія жил у робочій парі;

Протокол електричних високочастотних вимірювань містить результати порівняння виміряних і нормованих параметрів АЛ:

– робоче загасання;
– спектральна характеристика щільності потужності завад;
– загасання асиметрії;
– загасання неузгодженості.

4.4. Контрольно-профілактичні роботи на мережі xDSL-ліній

Обсяг та періодичність контрольно-профілактичних робіт зведені у табл. 4.8.

Таблиця 4.8

Обсяг та періодичність проведення контрольно-профілактичних робіт

Види робіт	Періодичність проведення робіт	Норма на значення параметра, що вимірюється	Заходи з приведення значення параметра у межах норми
1	2	3	4
1. Контроль працездатності xDSL-лінії (за допомогою автоматизованої системи контролю)	Постійно	-	Згідно з п. 5.4, 5.5
2. Вимірювання поточного запасу завадозахищеності	Один раз на місяць	Не менш ніж *minimum SNR margin* + 3 дБ *	Згідно з п. 5.5
3. Вимірювання максимально досяжної швидкості передавання (Maximum attainable rate)	Один раз на місяць	Не менш ніж *Minimum Rate* + 32 кбіт/с = *Maximum Rate* + 32 кбіт/с **	
4. Вимірювання загасання АЛ на частоті 300 кГц	Один раз на рік	Згідно з табл. 8.6 КСТ 2.8.___-2007	
5. Вимірювання рівня потужності та спектральної щільності потужності завад на абонентській і станційній стороні АЛ у діапазоні частот до 2208 кГц	Один раз на рік	Згідно з п. 8.2.4 – 8.2.7 КСТ 2.8.___-2007	
6. Вимірювання загасання асиметрії АЛ у діапазоні частот від 8 до 800 кГц	Один раз на рік	Згідно з п. 8.2.3 КСТ 2.8.___-2007	
7. Вимірювання опору шлейфа пари	Один раз на рік	Згідно з табл. 8.1 КСТ 2.8.___-2007	

Закінчення таблиці 4.8

1	2	3	4
8. Вимірювання омічної асиметрії опору жил пари	Один раз на рік	Не більше 0,5% від опору шлейфа пари	
9. Вимірювання опору ізоляції пари	Один раз на рік	Згідно з табл. 8.2 КСТ 2.8.___-2007	
10. Вимірювання опору заземлення металевих екранів й оболонок кабелю	Один раз на рік	Згідно з табл. 8.3 КСТ 2.8.___-2007	
11. Вимірювання електричної ємності пари	Один раз на рік	Згідно з табл. 8.4 КСТ 2.8.___-2007	
* Значення *minimum SNR margin* установлюється згідно з п. 3.2. ** Згідно з п. 3.2, значення *Minimum rate* і *Maximum Rate* установлюються рівними та дорівнюють замовленій абонентом швидкості передавання у відповідному напряму передавання.			

4.5. Заходи з усунення пошкоджень xDSL-ліній

Заходи з усунення пошкоджень xDSL-ліній вживаються у наступних ситуаціях:

- на етапі введення xDSL-ліній в експлуатацію, коли не можливо організувати xDSL-лінію із замовленою абонентом швидкістю передавання;
- у випадку відмови існуючої xDSL-лінії.

Пошкодження xDSL-ліній виникають у разі несправності xDSL-модема, абонентської лінії або непрацездатності відповідного порту DSLAM.

Несправність xDSL-модема виявляють шляхом заміни цього модема на контрольний xDSL-модем і перевірки xDSL-лінії. Функціонування xDSL-лінії після цієї заміни підтверджує непрацездатність xDSL-модема. Несправний xDSL-модем має бути замінено на інший.

Непрацездатність порту DSLAM виявляють шляхом підімкнення АЛ на станційній стороні до іншого порту і перевірки xDSL-лінії. Функціонування xDSL-лінії після цих дій підтверджує непрацездатність порту DSLAM. Плату, на якій виявлено несправний порт, має бути замінено. Ще однією причиною непрацездатності порту DSLAM може бути збій у програмному забезпеченні DSLAM, у цьому випадку несправність усувається шляхом перезавантаження або переустановлення програмного забезпечення DSLAM.

Послуги xDSL-доступу можуть бути недоступними також з причини несправності ПК абонента. Несправність ПК абонента виявляється шляхом заміни цього ПК на контрольний портативний комп'ютер і перевірки послуг xDSL-доступу.

Несправність АЛ виявляється шляхом проведення вимірювальних робіт згідно з пп. 4...11 табл. 4.8. Несправність АЛ усувається проведенням робіт згідно з п. 4.6.

Можливі проблеми при організації xDSL-ліній і шляхи їх вирішення зведено у табл. 4.9.

Таблиця 4.9

Проблеми при організації xDSL-ліній і шляхи їх вирішення

Вид проблеми	Можливі причини	Заходи з вирішення проблем
	Помилки у конфігурації DSLAM	Переконфігурація DSLAM
xDSL-з'єднання не встановлюється	Помилки в установках xDSL-модема	Переконфігурація модема
	Відказ порту DSLAM	1. Перезавантаження програмного забезпечення DSLAM. 2. Переустановлення програмного забезпечення DSLAM. 3. Перевімкнення АЛ на інший порт. 4. Заміна плати, на якій розташований несправний порт
	Відмова xDSL-модема	1. Перезавантаження програмного забезпечення xDSL-модема. 2. Переустановлення програмного забезпечення xDSL-модема. 3. Заміна xDSL-модема
	Несправність АЛ	Проведення робіт згідно з п. 5.5
	Високий рівень завад від зовнішніх джерел завад	Знайти та відімкнути джерело завад (за можливістю)
Нестійка робота xDSL-лінії або швидкість нижче замовленої	Помилки в установці параметрів профілів (виборі профілю) DSLAM	Переустановлення параметрів профілю (вибір іншого профілю) DSLAM
	Помилки в конфігурації xDSL-модема	Переконфігурація xDSL-модема
	Несправність АЛ	Проведення робіт згідно з п. 5.5
	Високий рівень завад від зовнішніх джерел завад	Знайти та відімкнути джерело завад (за можливістю)

4.6. Заходи з покращання параметрів абонентської лінії

У табл. 4.10 наведені основні фактори, які обмежують використання АЛ існуючої телефонної мережі у складі xDSL-ліній.

Таблиця 4.10

Фактори, що обмежують використання телефонних АЛ у складі xDSL-ліній, і заходи з їх усунення

Фактори	Заходи усунення
1. Неякісні контакти з'єднань жил кабелів АЛ	1.1. Перехід від ручної скрутки жил у муфтах до техніки врізних контактів. 1.2. Використання в розподільних коробках і розподільних шафах плінтів із врізними контактами. 1.3. Герметизація з'єднань струмопровідних жил
2. Бруд і волога в плінтах розподільних коробок і розподільних шаф	2.1. Чищення зволожених і забруднених плінтів. 2.2. Покриття плінтів вологозахисним шаром. 2.3. Герметизація розподільних коробок і шаф
3. Попадання вологи під оболонку	3.1. Введення в осердя кабелю рідкого гідрофобного заповнювача, який повільно полімеризується. 3.2. Заміна замоклої ділянки кабелю герметизованою. 3.3. Заміна неякісних муфт
4. Кросувальні проводи в розподільних шафах і кросах	4.1. Застосування кросувальних проводів зі значно меншим кроком скрутки 4.2. Застосування екранованих проводів з обов'язковим заземленням екрана
5. «Розбитість» пар у муфтах	5.1. Перемонтаж муфт із застосуванням індивідуальних і групових механічних з'єднувачів жил
6. Використання в якості абонентської проводки кабелів з нескрученими жилами	6.1. Заміна кабелю ТРП, ТРВ кабелем типу «обвита пара»
7. Відсутність безперервності екрана по всій довжині кабелю	7.1. Пошук місця обриву екрана і його відновлення. 7.2. Відновлення безперервності неізольованої жили під алюмінієвою стрічкою екрана
8. Підвищена величина опору заземлення металевої оболонки або екрана кабелю	8.1. Перевірка справності заземлення і його з'єднання з металевою оболонкою або екраном кабелю в кросі

Для покращення параметрів абонентських ліній необхідно:

1) Вжити наступних заходів з усунення неякісних контактів з’єднань в АЛ:

- перейти від контактів за допомогою ручної скрутки жил до врізних контактів;
- використовувати у розподільних коробках і шафах плінти з врізними контактами;
- герметизувати з’єднання струмопровідних жил;

– здійснити перемонтаж муфт із застосуванням з'єднувачів і герметизації.

2) Очистити бруд і вологу з плінтів розподільних коробок і шаф, покрити плінти вологозахисним засобом, герметизувати розподільні коробки і шафи з метою запобігання забруднення і зволоження плінтів.

3) Видалити вологу із замоклих муфт і кабелів на розподільній ділянці АЛ шляхом введення в осердя кабелю рідкого гідрофобного заповнювача, що повільно полімеризується.

4) Замінити неякісні кросировочний провід у розподільних шафах і кросах на екранований кросировочний провід з маленьким кроком скрутки (екрани кросировочних проводів мають бути заземлені).

5) Усунути "розбитість" пар у муфтах шляхом перемонтажу муфт із застосуванням індивідуальних і групових з'єднувачів жил.

6) Замінити кабель абонентської проводки типу ТРП, ТРВ, ПРППМ на кабель типу UTP (неекранована обвита пара).

7) Забезпечити цілісність екрана і неізольованої жили під алюмінієвою смугою екрана кабелю по всій довжині кабелю шляхом пошуку місця обриву і відновлення екрана і неізольованої жили під алюмінієвою смугою екрана кабелю.

8) Забезпечити правильне заземлення екрана кабелю.

9) Виключити паралельно підімклнені до АЛ відрізки кабелю.

10) Вжити заходів зі зменшення рівня завад в АЛ:

– провести роботи згідно з п. 1...9;
– забезпечити якісне електроживлення АТС згідно з п. 3.4;
– розташувати сплітери DSLAM на мінімальній відстані від кроса АТС;
– забезпечити підімкнення лінійних портів станційного сплітера до плінтів кроса АТС за допомогою малопарного екранованого кабелю;
– розташувати абонентські сплітер і xDSL-модем якнайближче до розподільної коробки чи розподільної шафи;
– якщо АЛ підімкнена до аналогової АТС, перемкнути АЛ з аналогової АТС на цифрову АТС (за можливістю);
– здійснити відбір пар кабелю згідно з п. 4.7;
– знайти і виключити (за можливістю) джерела зовнішніх електромагнітних завад.

11) Якщо після проведення робіт згідно з п. 1...10 з'ясувалася неможливість приведення параметрів АЛ до норм, слід перекросувати несправну пару кабелю на справну або замінити неякісні ділянки АЛ, муфти, розподільні коробки, шафи і крос, причому монтаж кабелів має виконуватися згідно з п. 3.1.

12) При прокладанні нових АЛ та реконструкції пошкоджених АЛ необхідно провести герметизацію муфт і відновлення оболонок кабелів "холодним" способом за допомогою стрічкових або композиційних "компресійних" муфт.

4.7. Порядок використання ємності багатопарних кабелів для організації xDSL-ліній

Кабелі з повивною системою побудови осердя

Розглянемо побудову осердя кабелів з повивною скруткою. Дві ізольовані жили (*а* та *б*) мають різко відмінний колір ізоляції і скручені між собою. Пари розташовуються повивами зі взаємно протилежним напрямом скручування. Повиви обмотують синтетичною ниткою або синтетичною стрічкою. У кожному повиві повинні бути одна рахункова і одна спрямовуюча пари, які мають колір ізоляції жил, відмінний від кольору ізоляції жил інших пар у повиві. Кольори ізоляції жил рахункової та спрямовуючої пар також відрізняються між собою. Пари, що розташовані в центрі осердя, можуть бути не скручені між собою і не відділені від першого повиву синтетичною ниткою або синтетичною стрічкою.

Рекомендований порядок завантаження пар багатопарних кабелів з повивною скруткою (з кількістю пар до 100) різною кількістю xDSL-ліній наведено у табл. 4.11...4.16.

На рис. 4.3...4.7 наведені поперечні перетини кабелів ємністю до 100 пар. Кожна пара жил представлена окремим колом. Усередині кола розміщено дві цифри. Верхня цифра означає номер пари в кабелі, нижня – номер кроку, на якому дана пара може бути завантажена xDSL-лінією.

Таблиця 4.11

Порядок завантаження кабелю ємністю 10 пар

Крок	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
№ пари	3	7	0	9	5	1	2	6	4	8

Таблиця 4.12

Порядок завантаження кабелю ємністю 20 пар

Крок	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
№ пари	10	16	0	7	13	18	1	4	11	15	8	2	5	14	19	9	12	17	3	6

Таблиця 4.13

Порядок завантаження кабелю ємністю 30 пар

Крок	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
№ пари	18	26	0	14	22	2	16	24	20	28	4	9	6	11	7	12	15	21	25	1
Крок	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30										
№ пари	17	27	3	19	23	29	5	10	13	8										

Таблиця 4.14

Порядок завантаження кабелю ємністю 50 пар

Крок	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
№ пари	34	44	29	39	0	47	4	9	32	41	36	6	11	2	14	21	25	17	23	19
Крок	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
№ пари	27	48	42	30	38	45	7	12	15	1	3	33	35	43	49	37	46	31	40	5
Крок	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50										
№ пари	10	8	13	22	18	26	16	24	20	28										

Таблиця 4.15

Порядок завантаження кабелю ємністю 100 пар

Крок	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
№ пари	78	93	70	85	0	10	17	97	74	89	81	13	20	24	34	29	39	72	87	2
Крок	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
№ пари	76	83	95	6	91	99	26	37	31	42	4	8	15	22	44	57	50	63	53	66
Крок	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
№ пари	46	60	55	68	1	79	11	18	33	40	28	36	48	61	51	64	69	59	3	7
Крок	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80
№ пари	94	90	98	75	82	5	71	86	9	14	21	77	92	84	47	73	88	80	96	12
Крок	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100
№ пари	19	16	23	25	32	43	38	30	41	27	35	54	67	45	58	52	65	49	62	56

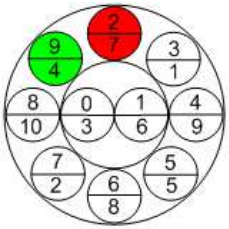


Рис. 4.3. Рекомендований порядок завантаження пар кабелю ємністю 10 пар з повивною скруткою осердя

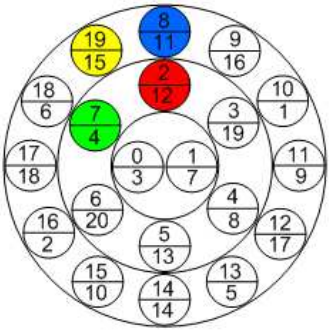


Рис. 4.4. Рекомендований порядок завантаження пар кабелю ємністю 20 пар з повивною скруткою осердя

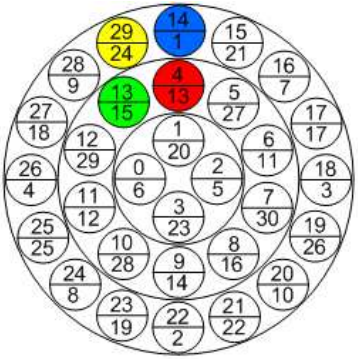


Рис. 4.5. Рекомендований порядок завантаження пар кабелю ємністю 30 пар з повивною скруткою осердя

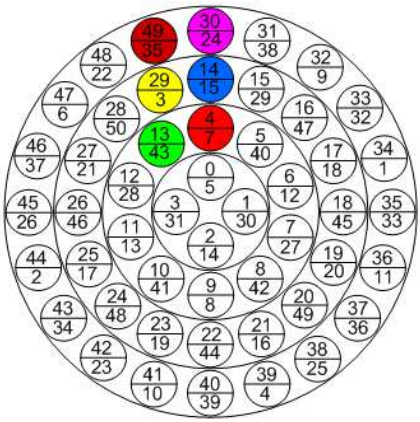


Рис. 4.6. Рекомендований порядок завантаження пар кабелю ємністю 50 пар з повивною скруткою осердя

У кабелях ємністю понад 100 пар відбір пар здійснюється за наступними правилами:

– якщо необхідна кількість пар менше кількості повивів, то пари вибирають у різних повивах таким чином, щоб найближчі використовувані повиви розташовувалися на максимальній відстані один від одного (за критерієм максимізації мінімальної відстані між використовуваними повивами);

– якщо необхідна кількість пар більше кількості повивів, то спочатку вибирають по одній парі у кожному повиві, а потім пари, що залишились, вибирають таким чином, щоб найближчі використовувані пари розташовувалися на максимальній відстані одна від одної всередині повивів (за критерієм максимізації мінімальної відстані між використовуваними парами).

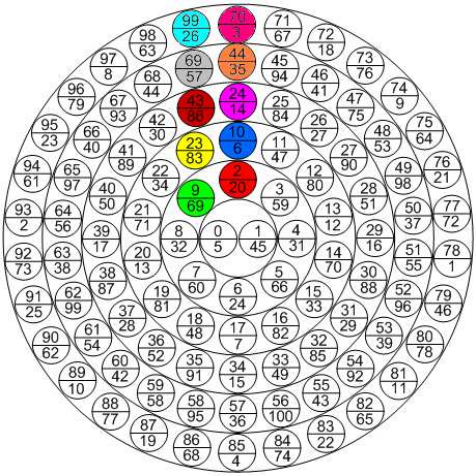


Рис. 4.7. Рекомендований порядок завантаження пар кабелю ємністю 100 пар з повивною скруткою осердя

Кабелі з пучковою системою побудови осердя

Розглянемо побудову осердя кабелів з пучковою системою скрутки. Дві мідні жили пари мають ізоляцію з різко відмінним кольором та скручуються між собою. Пари скручуються в елементарні пучки (п'яти- або десятипарні). Розцвічення ізоляції жил в десятипарному пучку і десятипарному кабелі наведено в табл. 4.16.

Таблиця 4.16

Розцвічення ізоляції жил в елементарному десятипарному пучку

Номер пари	Позначення і колір ізоляції жили пари	
	а	б
0	білий	блакитний (синій)
1	білий	жовтогарячий
2	білий	зелений
3	білий	коричневий (брунатний)
4	білий	сірий
5	червоний	блакитний (синій)
6	червоний	жовтогарячий
7	червоний	зелений
8	червоний	коричневий (брунатний)
9	червоний	сірий

На елементарний пучок накладається по спіралі обмотка із синтетичних ниток або ідентифікаційних стрічок різного кольору, що скріплює пучок. Елементарні пучки скручуються в осердя або в головні 50- або 100-парні пучки. Елементарні пучки в 100-парному головному пучку або осерді мають розцвічення, яке наведено в табл. 4.17.

Таблиця 4.17

Розцвічення елементарних пучків в 100-парних кабелях або головних пучках

Номер елементарного пучка	Колір скріпної обмотки або ідентифікаційної стрічки
0	блакитний
1	жовтогарячий
2	зелений
3	коричневий (брунатний)
4	сірий
5	білий
6	червоний
7	чорний
8	жовтий
9	фіолетовий

Приклади поперечного перетину кабелів ємністю 10, 20, 30, 50 та 100 пар з пучковою системою побудови осердя наведені на рис. 4.8...4.12. Поперечний перетин кабелів ємністю вище 20 пар відображається набором секторів, які позначають десятипарні пучки. Кожен сектор на рисунку має індивідуальний колір (збігається з кольором скріпної обмотки табл. 4.17) і містить інформацію про номери пар, які входять до складу елементарного пучка.

Для знаходження місця розташування заданої пари в кабелі з пучковою системою побудови осердя необхідно визначити:

- перетин кабелю (рис. 4.8...4.10);
- сектор перетину кабелю (в якому з елементарних пучків створилась задана пара);
- колір ізоляції жил заданої пари (за останньою цифрою номера заданої пари та табл. 4.16).

Розглянемо приклад. Необхідно визначити місце розміщення пари № 38 в кабелі ємністю 100 пар. Відповідь – пара № 38 в кабелі ємністю 100 пар (рис. 4.12) знаходиться в секторі коричневого (брунатного) кольору, кольори ізоляції жил – червоний і коричневий (брунатний) (табл. 4.17).

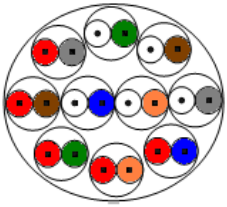


Рис. 4.8. Поперечний перетин кабелю ємністю 10 пар

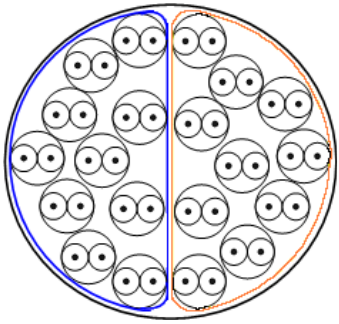


Рис. 4.9. Поперечний перетин кабелю ємністю 20 пар

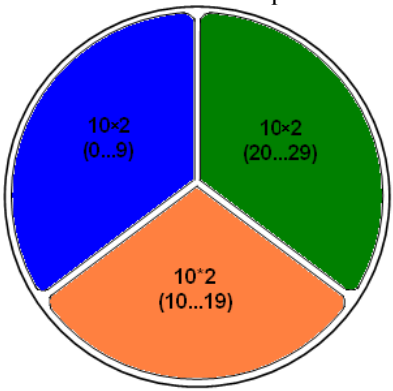


Рис. 4.10. Поперечний перетин кабелю ємністю 30 пар

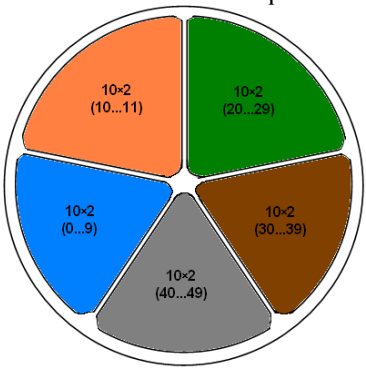


Рис. 4.11. Поперечний перетин кабелю ємністю 50 пар

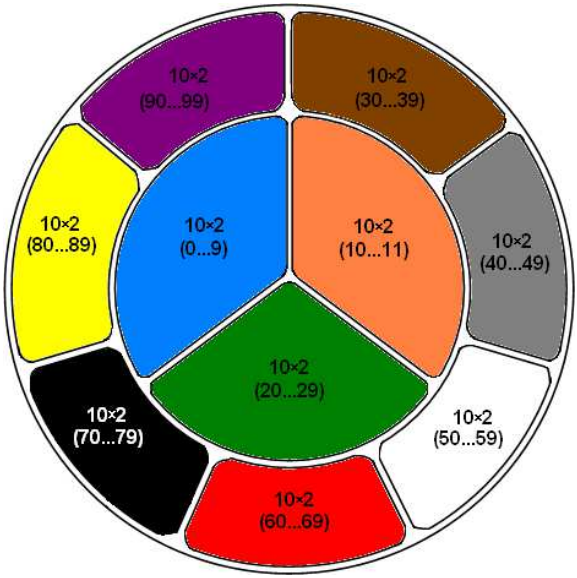


Рис. 4.12. Поперечний перетин кабелю ємністю 100 пар

Рекомендовані сценарії завантаження кабелів типу ТП ємністю до 100 пар різною кількістю xDSL-ліній наведені в табл. 4.18...4.22.

Таблиця 4.18

Сценарій завантаження кабелю ємністю 10 пар

Крок	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
№ пари	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9

Таблиця 4.19

Сценарій завантаження кабелю ємністю 20 пар

Крок	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
№ пари	0	10	1	11	2	12	3	13	4	14	5	15	6	16	7	17	8	18	9	19

Таблиця 4.20

Сценарій завантаження кабелю ємністю 30 пар

Крок	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
№ пари	0	10	20	1	11	21	2	12	22	3	13	23	4	14	24	5	15	25	6	16
Крок	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30										
№ пари	26	7	17	27	8	18	28	9	19	29										

Таблиця 4.21

Сценарій завантаження кабелю ємністю 50 пар

Крок	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
№ пари	0	20	30	10	40	1	21	31	11	41	2	22	32	12	42	3	23	33	13	43
Крок	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
№ пари	4	24	34	14	44	5	25	35	15	45	6	26	36	16	46	7	27	37	17	47
Крок	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50										
№ пари	8	28	38	18	48	9	29	39	19	49										

Таблиця 4.22

Сценарій завантаження кабелю ємністю 100 пар

Крок	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
№ пари	0	30	70	50	90	10	40	60	80	20	1	31	71	51	91	11	41	61	81	21
Крок	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
№ пари	2	32	72	52	92	12	42	62	82	22	3	33	73	53	93	13	43	63	83	23
Крок	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
№ пари	4	34	74	54	94	14	44	64	84	24	5	35	75	55	95	15	45	65	85	25
Крок	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80
№ пари	6	36	76	56	96	16	46	66	86	26	7	37	77	57	97	17	47	67	87	27
Крок	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100
№ пари	8	38	78	58	98	18	48	68	88	28	9	39	79	59	99	19	49	69	89	29

У кабелях ємністю понад 100 пар відбір пар виконується згідно з наступними правилами:

– якщо необхідна кількість пар менше кількості пучків, то пари вибирають у різних пучках таким чином, щоб найближчі використовувані пучки розташовувалися на максимальній відстані один від одного (за критерієм максимізації мінімальної відстані між використовуваними пучками);

– якщо необхідна кількість пар більше кількості пучків, то спочатку вибирають по одній парі у кожному пучку, а потім пари, що залишились, вибирають рівномірно по пучках.

5. ДОВІДКОВІ МАТЕРІАЛИ ДО ЧАСТИНИ 1

5.1. Характеристики лінійних інтерфейсів обладнання xDSL-доступу

Характеристики приймачів-передавачів xDSL регламентовані рекомендаціями G.991 – G.993 МСЕ-Т [27...35]. У табл. 5.1 наведена відповідність між типами СП xDSL і рекомендаціями МСЕ-Т, що їх регламентують.

Таблиця 5.1

Відповідність між типами СП xDSL і рекомендаціями МСЕ-Т

Тип СП xDSL	Позначення Рекомендації МСЕ-Т	Рік публікації останньої версії
HDSL	G.991.1	1998
SHDSL	G.991.2	2003
ADSL	G.992.1	1999
ADSL G.Lite (Splitterless ADSL – ADSL без сплітера)	G.992.2	1999
ADSL2	G.992.3	2005
Splitterless ADSL2 (ADSL2 без сплітера)	G.992.4	2002
ADSL2+	G.992.5	2005
VDSL	G.993.1	2004
VDSL2	G.993.2	2006

Різноманіття різновидів СП xDSL не вичерпується наведеними в табл. 5.1 типами. СП кожного типу можуть бути реалізовані в різних варіантах, визначених додатками до відповідної рекомендації. Варіанти СП, регламентовані відповідними додатками, відрізняються здебільшого діапазоном частот сигналу на виході передавача в низхідному й висхідному напрямах передавання й маскою спектральної щільності потужності сигналу на виході передавача (маска визначає максимально припустимі значення спектральної щільності потужності сигналу на кожній частоті).

Асиметрична цифрова абонентська лінія ADSL (Asymmetric DSL) за Рекомендацією МСЕ-Т G.992.1 забезпечує швидкість передавання до 6,144 Мбіт/с у низхідному напряму й до 640 кбіт/с у висхідному. Обладнання більшості виробників забезпечує швидкість передавання до 8 Мбіт/с у низхідному напряму й до 1 Мбіт/с у висхідному. Асиметричність швидкості передавання в комплексі з постійно установленим з'єднанням (коли зникає необхідність щоразу набирати телефонний номер і чекати установлення з'єднання) робить технологію ADSL ідеальною для організації доступу до мережі Інтернет. Технологія ADSL дозволяє зберегти телефонний зв'язок шляхом використання частотних розділювачів (сплітерів) – одного на АТС, а іншого у приміщенні користувача. До одного входу сплітера в приміщенні користувача підмикається аналоговий телефонний апарат, а до другого –

ADSL-модем, що, залежно від реалізації, може виконувати також функції маршрутизатора, комутатора або моста. При цьому робота ADSL-модема не заважає функціонуванню традиційного телефонного зв'язку, що працює незалежно від того, чи функціонує канал ADSL.

Асиметрична цифрова абонентська лінія ADSL G.Lite за Рекомендацією МСЕ-Т G.992.2 – це варіант технології ADSL, що забезпечує швидкість передавання в низхідному напряму до 1,5 Мбіт/с, а у висхідному – до 512 кбіт/с. Обладнання за технологією G.Lite є більш простим в установленні й дешевшим за ADSL. Одним зі шляхів спрощення установлення модемів ADSL G.Lite стало введення високочастотної частини сплітера в корпус модемів, що позбавило від необхідності установлення зовнішнього сплітера (звідси й назва – Splitterless ADSL (ADSL без сплітера).

Асиметрична цифрова абонентська лінія ADSL 2 за Рекомендацією МСЕ-Т G.992.3 є удосконаленою версією ADSL. Технологія ADSL2 забезпечує швидкість передавання в низхідному напряму до 8 Мбіт/с, а у висхідному – до 800 кбіт/с. Обладнання більшості виробників забезпечує швидкість передавання до 12 Мбіт/с у низхідному напрямку й до 1 Мбіт/с – у висхідному. Збільшення швидкості передавання порівняно з ADSL за Рекомендацією G.992.1 зумовлено внесенням цілої низки описаних нижче удосконалень:

1) Більш гнучка й ефективна побудова кадру, що дозволяє керувати кількістю службової інформації (від 4 до 64 кбіт/с), тобто зменшити її кількість, а отже збільшити швидкість передавання корисної інформації, що особливо важливо на довгих лініях.

2) Структура кадрів дозволяє більш ефективно використовувати виграш кодування Ріда-Соломона.

3) Оновлено процедури діагностики лінії, що призначені для виявлення несправностей і моніторингу характеристик ліній ADSL 2 під час роботи: приймачі-передавачі ADSL 2 можуть вимірювати рівень шуму в лінії, загасання й відношення сигнал/шум на обох кінцях лінії. При цьому вимірювання цих параметрів можуть здійснюватися навіть за неможливості установлення нормального з'єднання на даній лінії.

4) Додано підтримку однобітових кодових сузір'їв, що дозволяє забезпечити більшу дальність роботи системи на малих швидкостях.

5) Поліпшено процедури керування передаванням. Наприклад, система може адаптувати швидкість передавання даних у режимі реального часу. Це нововведення, називане фоновою адаптацією швидкості (Seamless Rate Adaptation, SRA), дозволяє системам ADSL 2 змінювати швидкість передавання даних прямо під час роботи без переривань зв'язку або бітових помилок. Для цього система діагностує зміни характеристик каналу зв'язку (наприклад, коли місцева АМ-радіостанція вимикає свій передавач на ніч) і непомітно для користувача змінює швидкість передавання.

6) Додано функцію регулювання споживаної потужності, що дозволяє системі перебувати у стійкому режимі *L*0 (режимі постійного передавання корисної інформації), режимі низького споживання потужності *L*2 (споживана

потужність залежить від характеру трафіка) або в режимі холостого ходу *L*3 (сплячий режим, коли інформація тривалий час не передається).

Асиметрична цифрова абонентська лінія ADSL 2 без сплітера за Рекомендацією G.992.4 – наступне покоління технології ADSL G.Lite. Порівняно з технологією ADSL G.Lite, ADSL 2 без сплітера має низку удосконалень:

− покращена підтримка цифрових служб і передавання голосу;

− покращена можливість зміни характеристик лінії «на ходу»;

− покращені процедури керування спектром передавання;

− додана підтримка однобітових кодових сузір'їв;

− доданий повністю цифровий режим роботи.

Асиметрична цифрова абонентська лінія ADSL 2 + за Рекомендацією G.992.5 забезпечує швидкість передавання в низхідному напряму до 16 Мбіт/с, а у висхідному − до 800 кбіт/с. Обладнання ADSL2 + більшості виробників забезпечує швидкість передавання у висхідному напряму до 1 Мбіт/с, а в низхідному − до 24 Мбіт/с. Таке збільшення швидкості передавання стало можливим за рахунок майже дворазового (до 2,208 МГц) розширення смуги частот, використовуваної для передавання в низхідному напряму.

Основні відмінності ADSL 2 + від ADSL 2:

− підтримка до трьох кодових слів коду Ріда-Соломона на один DMT-символ;

− удосконалені процедури керування спектром при установленні з'єднання й під час передавання інформації;

− покращена підтримка послуг, які вимагають високих швидкостей передавання даних у низхідному напряму (наприклад, широкосмугові розважальні послуги).

Надвисокошвидкісна цифрова абонентська лінія VDSL (Very high speed Digital Subscriber Line) за Рекомендацією G.993.1 забезпечує в асиметричному варіанті швидкість передавання в низхідному напрямку до 57 Мбіт/, а у висхідному – до 33 Мбіт/с. У симетричному варіанті швидкість передавання в обох напрямах становить до 33 Мбіт/с (проте така висока швидкість передавання досягається лише на невеликих відстанях: близько 300 м при швидкості 57 Мбіт/с і близько 1,8 км – при швидкості 13 Мбіт/с). Технологія VDSL може використовуватися з тією самою метою, що й ADSL, а також для передавання сигналів телебачення високої чіткості (HDTV), відео за запитом тощо.

Надвисокошвидкісна цифрова абонентська лінія VDSL 2 за Рекомендацією G.993.2 забезпечує сумарну швидкість передавання в низхідному й висхідному напрямах до 200 Мбіт/с.

Основні відмінності VDSL 2 від VDSL:

− визначені плани частот до 30 МГц, що дозволяє отримати сумарну швидкість передавання до 200 Мбіт/с (швидкість передавання в низхідному напряму плюс швидкість передавання у висхідному);

− визначена більша кількість профілів для підтримки широкого спектра сценаріїв установлення (наприклад, на АТС, у розподільному ящику з підведеною до нього оптоволоконною лінією, у будинку абонента тощо);

− збільшена до 20,5 дБм максимальна потужність передавання в низхідному напряму;

− регламентована обов'язкова підтримка ґратчастого кодування;

− покращені процедури ініціалізації;

− регламентована обов'язкова підтримка всіх типів сигнальних сузір'їв для передавання від 1 біт до 15 біт протягом тактового інтервалу;

− підтримка широкого спектра параметрів тестування (за аналогією з ADSL 2);

− покращена будова кадру, заснована на ADSL2, з покращеним службовим каналом;

− покращені можливості надлишкового кодування й перемежування, розширений спектр настроювань кодувального пристрою, коду Ріда-Соломона й пристрою перемежування;

− забезпечена підтримка повністю цифрового режиму роботи.

Характеристики інтерфейсів ADSL і VDSL зведено в табл. 5.2.

Таблиця 5.2

Характеристики інтерфейсів ADSL і VDSL

Різновид СП xDSL	Рек. МСЕ-Т	Швидкість передавання, кбіт/с		Номінальна спектральна щільність потужності в смузі частот найбільшого зосередження спектра, дБм/Гц		Максимальна потужність сигналу на виході передавача в смузі пропускання, дБм		Діапазон частот, кГц		Рознесення між сусідніми несучими, кГц	Максим. загасання асиметрії, дБ		Маска спектра сигналу на виході передавача	
		нисх.	вис.	нисх.	вис.	нисх.	вис.	низх.	вис.		нисх.	вис.	нисх.	вис.
1	2	3		4		5		6			8		9	
ADSL Annex A	G.992.1	від 32 до 6144 з кроком 32	від 32 до 640 з кроком 32	- 40	- 38	20,4	12,5	від 25,875 до 1104 (з перекриттям спектрів сигналів зустрічних напрямів передавання) або від 138 до 1104 (без перекр.)	від 25,875 до 138	4,3125	40 (у діапазоні частот від 30 до 1104 кГц)		рис. 5.1 і 5.2	рис. 5.3
ADSL Annex B		від 32 до 6144 з кроком 32	від 32 до 640 з кроком 32	- 40	- 38	19,9	13,3	від 138 до 1104	від 138 до 276	4,3125	40 (у діапазоні частот від 138 до 1104 кГц)		Рис. 5.4	рис. 5.5
ADSL Annex C		від 32 до 6144 з кроком 32	від 32 до 640 з кроком 32	- 40	- 38	20,4	12,5	від 25,875 до 1104 (з перекр.) або від 138 до 1104 (без перекр.)	від 25,875 до 138	4,3125	40 (у діапазоні частот від 30 до 1104 кГц)		рис. 5.1 і 5.2	рис. 5.3

Продовження табл. 5.2

1	2	3		4		5		6		7	8	9	
ADSL Annex I	G.992.1	від 32 до 6144 (опція 24448) з кро-ком 32 (опція 96)	від 32 до 640 з кро-ком 32	- 40	- 38	20,9 (з перекр.) 20,4 (без перекр.)	12,5	від 25,875 до 2208 (з перекр.) або від 138 до 2208 (без перекр.)	від 25,875 до 138	4,3125	40 (у діапазоні частот від 30 до 2208 кГц)	рис. 5.6 і 5.7	рис. 5.3
ADSL Annex H		від 192 до 1600 з кроком 32	від 192 до 1600 з кро-ком 32	- 40	- 40	20,4	20,4	від 25,875 до 1104 або від 4,3125 до 1104	від 25,875 до 1104 або від 4,3125 до 1104	4,3125	40 (у діапазоні частот від 4,3125 до 1104 кГц)	рис. 5.8	рис. 5.8
ADSL G.Lite Annex A	G.992.2	від 32 до 1536 з кроком 32	від 32 до 512 з кроком 32	- 40	- 38	16,2	12,5	від 138 до 552	від 25,875 до 138	4,3125	40 (у діапазоні частот від 30 до 552 кГц)	рис. 5.9	рис. 5.3
ADSL G.Lite Annex B		від 32 до 1536 з кроком 32	від 32 до 512 з кроком 32	- 40	- 38	17,2	12,5	від 25,875 до 552	від 25,875 до 138	4,3125	40 (у діапазоні частот від 30 до 552 кГц)	рис. 5.10	рис. 5.3
ADSL G.Lite Annex C		від 32 до 1536 з кроком 32	від 32 до 512 з кроком 32	- 40	- 38	16,2 або 17,2	12,5	від 138 до 552 або від 25,875 до 552	від 25,875 до 138	4,3125	40 (у діапазоні частот від 30 до 552 кГц)	рис. 5.9 або рис. 5.10	рис. 5.3

Продовження табл. 5.2

1	2	3		4		5		6		7	8		9	
ADSL 2 Anex A	G.992.3	від 32 до 8000 з кроком 32	від 32 до 800 з кроком 32	- 40	- 38	20,9 (з перекр.) 20,4 (без перекр.)	13	від 25,875 до 1104 (з перекр.) або від 138 до 1104 (без перекр.)	від 25,875 до 138	4,3125	50 (у діап. від 30 до 138 кГц), 40 (у діап. від 138 до 1104 кГц)	50 (у діап. від 30 до 1104 кГц)	рис. 5.11 і 5.12	рис. 5.3
ADSL 2 Annex B		від 32 до 8000 з кроком 32	від 32 до 800 з кроком 32	- 40	- 38	20,4 (з перекр.) 19,8 (без перекр.)	13,8	від 120 до 1104 (з перекр.) або від 254 до 1104 (без перекр.)	від 120 до 276	4,3125	50 (у діап. від 120 до 276 кГц), 40 (у діап. від 276 до 1104 кГц)	50 (у діап. від 120 до 1104 кГц)	рис. 5.13 і 5.14	рис. 5.15
ADSL 2 Annex C.A		від 32 до 8000 з кроком 32	від 32 до 800 з кроком 32	- 40	- 38	20,9 (з перекр.) 20,4 (без перекр.)	13	від 25,875 до 1104 (з перекр.) або від 138 до 1104 (без перекр.)	від 25,875 до 138	4,3125	50 (у діап. від 30 до 138 кГц), 40 (у діап. від 138 до 1104 кГц)	50 (у діап. від 30 до 1104 кГц)	рис. 5.11 і 5.12	рис. 5.3
ADSL 2 Annex C.B		від 32 до 8000 з кроком 32	від 32 до 800 з кроком 32	- 40	- 41	20,9 (з перекр.) 20,4 (без перекр.)	13	від 25,875 до 1104 (з перекр.) або від 138 до 1104 (без перекр.)	від 25,875 до 276	4,3125	50 (у діап. від 120 до 276 кГц), 40 (у діап. від 276 до 1104 кГц)	50 (у діап. від 30 до 1104 кГц)	рис. 5.11 і 5.12	рис. 5.16

Продовження табл. 5.2

1	2	3		4		5		6		7	8		9	
ADSL 2 Annex I	G.992.3	від 32 до 8000 із кроком 32	від 32 до 800 із кроком 32	- 40	- 38	20,9 (з перекр.) 20,4 (без перекр.)	13,8	від 3 до 1104 (з перекр.) або від 138 до 1104 (без перекр.)	від 3 до 138	4,3125	50 (у діап. від 4 до 138 кГц), 40 (у діап. від 138 до 1104 кГц)	50 (у діап. від 4 до 1104 кГц)	рис. 5.17 і 5.18	рис. 5.19
ADSL 2 Annex J		від 32 до 8000 із кроком 32	від 32 до 800 із кроком 32	- 40	- 38 (див. табл. 5.4)	20,9 (з перекр.) 19,8 (без перекр.)	13,9	від 3 до 1104 (з перекр.) або від 254 до 1104 (без перекр.)	від 3 до f_1 (див. табл. 5.4)	4,3125	50 (у діап. від 4 до 276 кГц), 40 (у діап. від 276 до 1104 кГц)	50 (у діап. від 4 до 1104 кГц)	рис. 5.17 і 5.14	рис. 5.20
ADSL 2 Annex L		від 32 до 8000 із кроком 32	від 32 до 800 із кроком 32	- 40	- 36,4 (маска 1), - 32,9 (маска 2)	19,4 (з перекр.) 19,3 (без перекр.)	13	від 25,875 до 552 (з перекр.) або від 138 до 552 (без перекр.)	від 25,875 до 103,5 (маска 1) або від 25,875 до 60,375 (маска 2)	4,3125	50 (у діап. від 30 до 103,5 кГц), 40 (у діап. від 103,5 до 552 кГц)	50 (у діап. від 30 до 552 кГц)	рис. 5.21 і 5.22	рис. 5.23 (маска 1) і 5.24 (маска 2)
ADSL 2 Annex M		від 32 до 8000 із кроком 32	від 32 до 800 із кроком 32	- 40	- 38 (див. табл. 5.3)	20,9 (з перекр.) 19,8 (без перекр.)	13 (див. табл. 5.3)	від 25,875 до 1104 (з перекр.) або від 254 до 1104 (без перекр.)	від 25,875 до f_1 (див. табл. 5.3)	4,3125	50 (у діап. від 30 до 276 кГц), 40 (у діап. від 276 до 1104 кГц)	50 (у діап. від 30 до 1104 кГц)	рис. 5.11 і 5.14	рис. 5.16

Продовження табл. 5.2

1	2	3		4		5		6		7	8		9	
Splitter-less ADSL2 Annex A	G.992.4	від 32 до 1536 із кроком 32	від 32 до 512 із кроком 32	- 40	- 38	17,7 (з перекр.) 16,7 (без перекр.)	13	від 25,875 до 552 (з перекр.) або від 138 до 552 (без перекр.)	від 25,875 до 138	4,3125	50 (у діап. від 30 до 138 кГц), 40 (у діап. від 138 до 552 кГц)	50 (у діап. від 30 до 552 кГц)	рис. 5.10 і 5.9	рис. 5.3
Splitter-less ADSL2 Annex I		від 32 до 1536 із кроком 32	від 32 до 512 із кроком 32	- 40	- 38	17,7 (з перекр.) 16,7 (без перекр.)	13,8	від 3 до 552 (з перекр.) або від 138 до 552 (без перекр.)	від 3 до 138	4,3125	50 (у діап. від 4 до 138 кГц), 40 (у діап. від 138 до 552 кГц)	50 (у діап. від 4 до 552 кГц)	рис. 5.25 і 5.26	рис. 5.19
ADSL2+ Annex A	G.992.5	від 32 до 16000 із кроком 32	від 32 до 800 із кроком 32	- 40	- 38	20,9 (з перекр.) 20,4 (без перекр.)	13	від 25,875 до 2208 (з перекр.) або від 138 до 2208 (без перекр.)	від 25,875 до 138	4,3125	50 (у діап. від 30 до 138 кГц), 40 (у діап. від 138 до 2208 кГц)	50 (у діап. від 30 до 1104 кГц), 40 (у діап. від 1104 до 2208 кГц)	рис. 5.6 і 5.7	рис. 5.27
ADSL2+ Annex B		від 32 до 16000 із кроком 32	від 32 до 800 із кроком 32	- 40	- 38	20,4 (з перекр.) 19,8 (без перекр.)	13,8	від 120 до 2208 (з перекр.) або від 254 до 2208 (без перекр.)	від 120 до 276	4,3125	50 (у діап. від 120 до 276 кГц), 40 (у діап. від 276 до 2208 кГц)	50 (у діап. від 120 до 1104 кГц), 40 (у діап. від 1104 до 2208 кГц)	рис. 5.28 і 5.29	рис. 5.30

Продовження табл. 5.2

1	2	3		4		5		6		7	8		9	
ADSL2+ Annex C.A	G.992.5	від 32 до 16000 із кроком 32	від 32 до 800 із кроком 32	- 40	- 38	20,9 (з перекр.) 20,4 (без перекр.)	13	25,875- 2208 (з перекр.) або від 138 до 2208 (без перекр.)	від 25,875 до 138	4,3125	50 (у діап. від 30 до 138 кГц), 40 (у діап. від 138 до 2208 кГц)	50 (у діап. від 30 до 1104 кГц), 40 (у діап. від 1104 до 2208 кГц)	рис. 5.6 і 5.7	рис. 5.27
ADSL2+ Annex C.B		від 32 до 16000 із кроком 32	від 32 до 800 із кроком 32	- 40	- 41	20,9 (з перекр.) 20,4 (без перекр.)	13	25,875- 2208 (з перекр.) або від 138 до 2208 (без перекр.)	від 25,875 до 276	4,3125	50 (у діап. від 120 до 276 кГц), 40 (у діап. від 276 до 2208 кГц)	50 (у діап. від 30 до 2208 кГц)	рис. 5.6 і 5.7	рис. 5.16
ADSL2+ Annex I		від 32 до 16000 із кроком 32	від 32 до 800 із кроком 32	- 40	- 38	20,9 (з перекр.) 20,4 (без перекр.)	13,8	3– 2208 (з перекр.) або від 138 до 2208 (без перекр.)	від 3 до 138	4,3125	50 (у діап. від 4 до 138 кГц), 40 (у діап. від 138 до 2208 кГц)	50 (у діап. від 4 до 1104 кГц), 40 (у діап. від 1104 до 2208 кГц)	рис. 5.31 і 5.32	рис. 5.33
ADSL2+ Annex J		від 32 до 16000 із кроком 32	від 32 до 800 із кроком 32	- 40	- 38 (див. табл. 5.4)	20,9 (з перекр.) 19,8 (без перекр.)	13,9	3- 2208 (з перекр.) або від 254 до 2208 (без перекр.)	від 3 до $f1$ (табл. 5.4)	4,3125	50 (у діап. від 4 до 276 кГц), 40 (у діап. від 276 до 2208 кГц)	50 (у діап. від 4 до 1104 кГц), 40 (у діап. від 1104 до 2208 кГц)	рис. 5.31 і 5.29	рис. 5.20
ADSL2+ Annex M		від 32 до 16000 із кроком 32	від 32 до 800 із кроком 32	- 40	- 38 (див. табл. 5.3)	20,9 (з перекр.) 19,8 (без перекр.)	13 (див. табл. 5.3)	25,875 – 2208 (з перекр.) або від 254 до 2208 (без перекр.)	від 25,875 до f_1 (табл. 5.3)	4,3125	50 (у діап. від 30 до 276 кГц), 40 (у діап. від 276 до 2208 кГц)	50 (у діап. від 30 до 1104 кГц), 40 (у діап. від 1104 до 2208 кГц)	рис. 5.6 і 5.29	рис. 5.16

Закінчення табл. 5.2

1	2	3		4		5		6		7	8	9	
VDSL Annex E	G.993.1	від 64 до 57024 із кроком 64	від 64 до 33024 із кроком 64	- 40	- 38	14,5	11,5	смуги плану частот A: від 25,875 до 138 (опціональна), від 138 до 3750, від 5200 до 8500; смуги плану частот B: від 25,875 до 138 (опціональна), від 138 до 3000, від 5100 до 7050	смуги плану частот A: від 25,875 до 138 (опціональна), від 3750 до 5200, від 8500 до 12000; смуги плану частот B: від 25,875 до 138 (опціональна), від 3000 до 5100, від 7050 до 12000	4,3125	55 (у діап. від 0 до 25 кГц), від 55 на част. 25 кГц до 43 на частоті 30 МГц (див. п. 8.1.3 [43])	див. п. 8.1.5.3 [43], рис. 5.34, 5.35	див. п. 8.1.5.3 [43], рис. 5.36, 5.37
VDSL Appendix III	G.993.1	від 64 до 57024 із кроком 64	від 64 до 33024 із кроком 64	- 40	- 38	14,5	11,5	смуги плану частот A: від 25,875 до 138 (опціональна), від 138 до 3750, від 5200 до 8500; смуги плану частот B: від 25,875 до 138 (опціональна), від 138 до 3000, від 5100 до 7050	смуги плану частот A: від 25,875 до 138 (опціональна), від 3750 до 5200, від 8500 до 12000; смуги плану частот B: від 25,875 до 138 (опціональна), від 3000 до 5100, від 7050 до 12000	8,625	55 (у діап. до 25 кГц), від 55 на частий. 25 кГц до 43 на частоті 30 МГц (див. п. 8.1.3 [43])	див. п. 8.1.5.3 [43], рис. 5.34, 5.35	див. п. 8.1.5.3 [43], рис. 5.36, 5.37

5.2. Опис програмного комплексу з проектування ПЗ „TIORA”. Керівництво з користування програмним комплексом.

5.2.1. Призначення програмного забезпечення ПЗ „Tiora”

Програмне забезпечення „Tiora” (ПЗ „Tiora”) призначене для розв’язування задач, що виникають при експлуатації, розвитку чи проектуванні мереж абонентського доступу, побудованих із застосуванням технологій xDSL. Відповідні методики, які базуються на застосуванні ПЗ „Tiora”, наведені у розд. 2.

5.2.2. Можливості ПЗ „Tiora”

ПЗ „Tiora” має наступні можливості:

а) щодо задавання вихідних даних для проектування:

– використання візуального механізму побудови структури мережі xDSL-доступу;

– задавання довжин ліній, з'єднуючих елементи мережі xDSL-доступу;

– задавання параметрів кабелів;

– задавання розташування та типу систем передачі (СП) абонентів;

– задавання взаємного розташування пар, використовуваних системами передачі, у кабелях ділянок мережі xDSL-доступу;

– задавання необхідних швидкостей передавання інформації для кожної СП.

б) щодо результатів проектування:

– визначення швидкостей передавання, на яких можлива робота кожної заданої СП;

– визначення максимальної довжини ділянки мережі xDSL-доступу, за якої забезпечується робота СП із заданими необхідними швидкостями передавання;

– визначення типу кабелю з мінімальним числом пар, при використанні якого на обраній ділянці забезпечується робота СП із заданими необхідними швидкостями передавання;

– визначення оптимального (за критерієм мінімізації перехідних завад між парами, використовуваними для передавання сигналів xDSL) взаємного розташування пар, використовуваних системами передачі, в кабелях ділянок мережі xDSL-доступу;

– визначення типу кабелю з мінімальною ціною, при використанні якого на обраній ділянці забезпечується робота СП із заданими необхідними швидкостями передавання.

в) щодо створення звітів:

– створення звіту про швидкості передавання СП в одній групі компактно розташованих абонентів (ГКРА);

– створення комплексних звітів про стан мережі для двох типів задач проектування.

5.2.3. Інтерфейси ПЗ „Tiora”

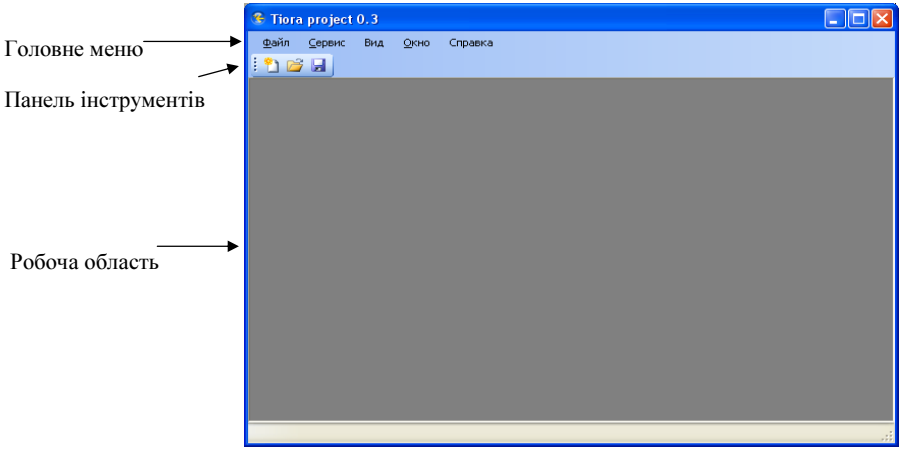


Рис. 5.1. Вигляд основного вікна програми ПЗ „Tiora”

Після запуску програми „Tiora” її основне вікно має вигляд, представлений на рис. 5.2. Це вікно має три області:

- Головне меню. Це меню містить пункти меню для доступу до основних функцій ПЗ:

о меню *Файл* дозволяє створити, відкрити, роздрукувати і зберегти проект. Крім того, в цьому меню знаходиться група «Сохранить отчет». Використовуючи елементи цієї групи, можна зберегти звіт про стан проектованої мережі у форматі HTML для двох варіантів постановки задачі проектування;

– меню *Сервис* дозволяє викликати утиліту *Редактор кабелей*;

– меню *Вид* дозволяє обрати спосіб відображення елементів мережі: елементи можуть надаватися у виді стилізованих зображень чи у виді умовних графічних позначень (УГП); також за допомогою цього пункту меню можна установити рисунок (карту) у якості фону при побудові мережі;

– меню *Окно* дозволяє керувати відображенням вікон декількох одночасно відкритих проектів: дозволяє упорядкувати ці вікна чи обрати одне з них для роботи;

– меню *Справка* дозволяє отримати доступ до стислої довідкової інформації щодо роботи з програмою.

- Панель інструментів. Ця панель у вихідному стані має три кнопки, що дублюють функції пунктів меню *Файл*, і дозволяє:
  – створити новий проект;
  – відкрити створений проект;
  – зберегти проект.
- Робоча область. Ця область містить вікна відкритих проектів.

Вікно проекту

Після створення нового проекту в Робочій області відкривається вікно нового проекту (рис. 5.2). Воно складається з області проектування, в якій здійснюється графічна побудова структури мережі, та області властивостей об'єкту, в якій відображаються властивості (параметри) обраного об'єкту.

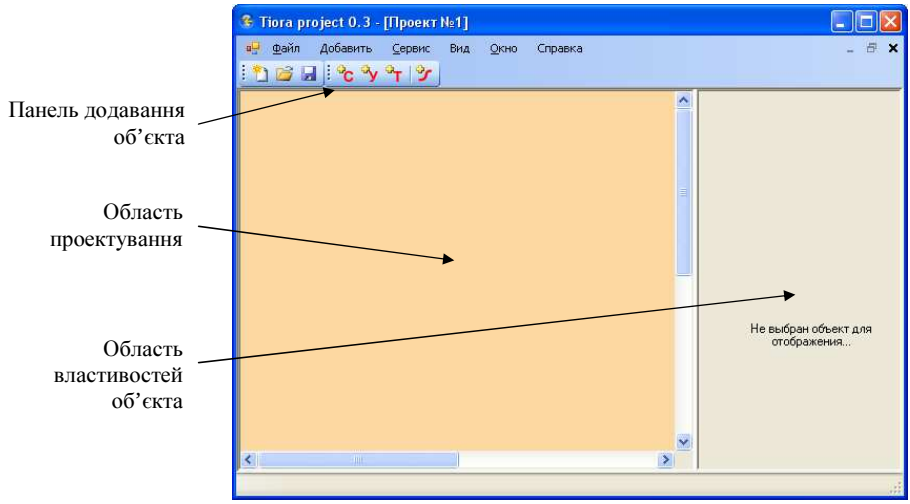


Рис. 5.2. Вид основного вікна програми „Tiora" після створення нового проекту

Крім того, в панелі інструментів з'являється нова група – Панель додавання об'єкта, а в головному меню з'являються нові меню – *Добавить* і *Настройка*. Панель додавання об'єкта має чотири кнопки, призначені для додавання об'єктів мережі. Функції цих кнопок повністю дублюють меню *Добавить*. Меню *Настройка* дозволяє задавати спектральну щільність потужності рівномірного шуму, який діє в лініях проекту і впливає на роботу СП.

ПЗ „Tiora" використовує чотири базових об'єкти при проектуванні мережі (рис. 5.3):

- *станция* – представляє DSLAM чи станційні модеми xDSL;
- *узел* – може представляти стійку зі сплітерами, розподільну шафу чи розподільну муфту;
- *ГКРА* (Група Компактно Розташованих Абонентів) – представляє абонентський модем xDSL або декілька абонентських модемів xDSL;
- *линия* (/) – однорідна кабельна лінія, що з'єднує об'єкти мережі.

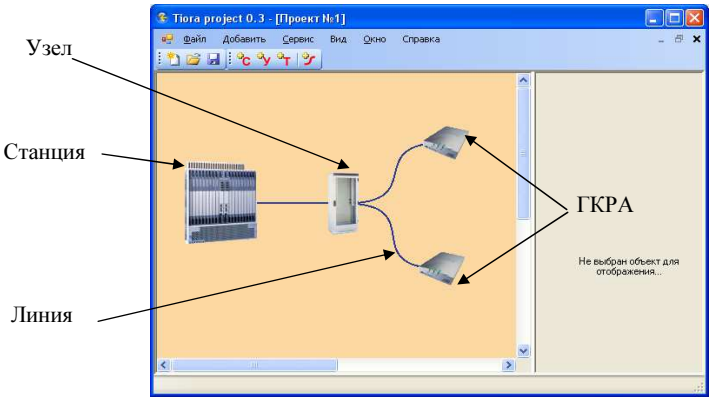


Рис. 5.3. Схема простої мережі

5.2.4. Побудова структури мережі

Побудова мережі в ПЗ „Tiora" відбувається в графічному режимі. Об'єкти додаються в проект, розміщуються в Області проектування, після чого їхні параметри задаються в Області властивостей об'єкта.

Для додавання нового об'єкта в проект можна скористатися одним із пунктів меню *Добавить* чи натиснути одну із кнопок Панелі додавання об'єктів.

При додаванні об'єкта покажчик миші змінює свій вигляд, вказуючи тип об'єкта, що додається. На рис. 5.4 показано вигляд покажчика при додаванні ГКРА, вузла і станції відповідно.

Рис. 5.4. Вигляд покажчика миші при додаванні об'єктів

Після того, як покажчик миші набуде вигляду рис. 5.4, потрібно навести покажчик на область проектування і натиснути ліву кнопку миші. На цьому місці буде створено новий об'єкт. Цей об'єкт можна переміщати по області проектування, утримуючи ліву кнопку миші.

Додавання лінії в проект здійснюється „натисканням" лівої кнопки миші по вже існуючих елементах (обладнанню), між якими необхідно прокласти лінію. Вигляд покажчика миші перед першим і другим „натисканням" наведено на рис. 5.5.

Рис. 5.5. Вигляд покажчика миші при додаванні лінії

Для того, щоб з'єднати лінію з об’єктом, необхідно навести на нього покажчик і натиснути ліву кнопку миші.

Кожний зі створених об’єктів можна видалити. При наведенні покажчика на об’єкт і натисненні правої кнопки миші відкривається контекстне меню об’єкта, яке має пункт *Удалить*. При видаленні об’єкта видаляються і лінії, підключені до нього.

Кожний об’єкт в Області проектування також можна обрати. Для вибору об’єкта потрібно навести покажчик на об’єкт і натиснути ліву кнопку миші. Навколо обраного об’єкта відображається червоний прямокутник. При виборі лінії її колір змінюється на червоний.

Для полегшення побудови структури мережі програма „Tiora” надає можливість змінювати форму створених ліній. Для того, щоб змінити форму лінії, її необхідно обрати. Після вибору на кінцях лінії з’являються рукоятки (рис. 5.6). Зміна форми лінії здійснюється перетягуванням рукоятки за допомогою миші.

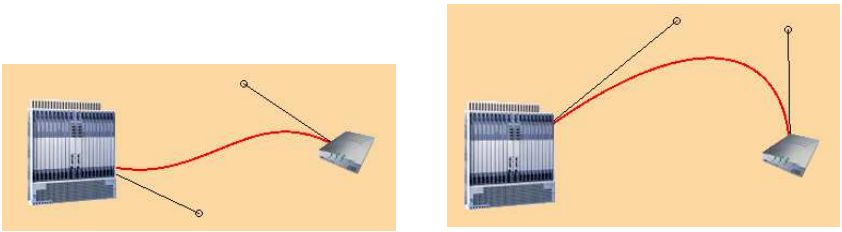


Рис. 5.6. Рукоятки для зміни форми лінії

У випадку, якщо рукоятка виявляється прихованою об’єктом, її можна повернути у вихідне положення. Для цього потрібно навести покажчик на лінію і натиснути праву кнопку миші. У контекстному меню, що з'явиться, необхідно обрати пункт *Переустановить ручки*.

5.2.5. Задавання параметрів об’єктів

При виборі будь-якого об’єкта в Області властивостей об’єкта відображаються його параметри. На рис. 5.7...5.11 наведено вигляд Області властивостей об’єкта при виборі різних об’єктів.

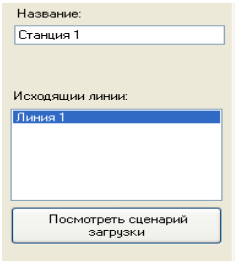


Рис. 5.7. Область властивостей об'єкта *Станция*

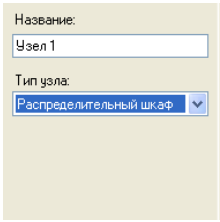


Рис. 5.8. Область властивостей об'єкта *Узел*

Для станції можна задати її назву (поле *Название*). Також в Області властивостей станції можна подивитися перелік ліній, що починаються на станції (поле *Исходящие линии*). Для кожної вихідної лінії доступний перегляд сценарію завантаження (кнопка *Посмотреть сценарий загрузки*).

Для вузла можна задати його назву (поле *Название*) і тип. Тип вузла можна вибрати з наступного переліку (поле *Тип узла*):

– розподільна шафа;

– муфта;

– стійка зі сплітерами.

Для ГКРА можна задавати наступні параметри:

1. Назва (поле *Название*);

2. Тип і кількість систем передачі, працюючих в ГКРА (поле *Системы передачи*). Для додавання нової СП потрібно обрати тип (навести на нього покажчик і натиснути ліву кнопку миші), а потім натиснути кнопку *Добавить СП*. У контекстному меню, що з'явиться, можна задати кількість СП, що додаються, та натиснути кнопку *Додати*. Для перейменування і видалення СП в Області властивостей є кнопки *Переименовать СП* і *Удалить СП*.

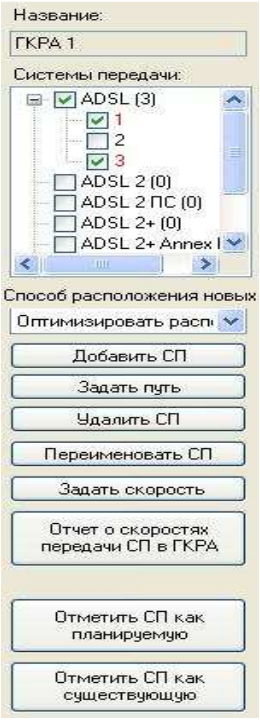


Рис. 5.9. Область властивостей об'єкта *ГКРА*

Для кожної СП також можна задати бажану (необхідну) швидкість передавання. Для цього потрібно натиснути на кнопку *Задать скорость*. В контекстному меню, що з'явиться, можна задати бажані швидкості передавання для висхідного і низхідного напрямів передавання.

Всі вищенаведені дії можна здійснювати як над однією СП, так і над декількома СП одного типу. Для роботи з декількома системами необхідно помітити їх галочками напроти імен СП в „дереві" і виділити одну з подмічених систем;

3. Тракт проходження сигналу. Після додавання нових систем передачі необхідно вказати тракт проходження сигналу для цих СП. Для цього необхідно обрати системи передачі у „дереві”; натиснути кнопку *Задать путь*; вказати тракт, послідовно “натисканням” лівою кнопкою миші на елементах мережі та з’єднуючих їх лініях; натиснути кнопку *Завершить*. Тракт повинен починатися на лінії, що виходить з ГКРА, і закінчуватися на станції;

4. Спосіб розташування нових СП при їх додаванні (поле *Способ расположения новых СП*). При додаванні нової СП вона може розташовуватися в кабелях у напряму станції наступними способами:

– *Оптимизировать расположение* – нова СП розташовується у найкращій (з точки зору перехідних впливів) вільній парі;

– *Располагать случайно* – нова СП розміщується у вільну пару за випадковим законом;

– *Располагать подряд* – нова СП ставиться поруч з попередньою. Такий спосіб розміщення пар дозволяє отримати найгіршу ситуацію з точки зору перехідних впливів.

5. Для побудови звітів за результатами проектування необхідно позначати системи як *существующие* (чорний колір шрифту) і *планируемые* (червоний колір шрифту). За замовчуванням усі системи передачі вважаються *существующими*. Для того, щоб позначити систему передачі як *планируемую*, можна скористатися кнопкою *Отметить СП как планируемую*. Повернути СП у стан *существующая* можна за допомогою кнопки *Отметить СП как существующую*.

Крім того, в Області властивостей ГКРА можна отримати інформацію про потенційні швидкості роботи СП при заданій структурі та завантаженні мережі. Для отримання цієї інформації треба натиснути на кнопку *Отчет о скоростях передачи СП в ГКРА* (приклад звіту наведено на рис. 5.10). В таблиці на рис. 5.10 для кожної СП наводяться по чотири значення швидкості передавання для кожного напряму передавання: *теоретическая* швидкість передавання; максимально можлива швидкість передавання для даного типу СП (ADSL, ADSL2+), називана *Ограничение по типу СП*; *реальная* швидкість передавання; *заданная* швидкість передавання. *Теоретическая* швидкість передавання означає швидкість, отриману в результаті розрахунків і не враховуючу максимально можливу швидкість передавання для даного типу СП. *Реальная* швидкість передавання – це розрахована швидкість передавання, але вже з урахуванням обмеження швидкості для даного типу СП. У наведеному на рис. 5.10 прикладі *теоретическая* швидкість передавання складає 10368 кбіт/с, *ограничение по типу СП* для ADSL згідно з Рекомендацією G.992.1 ITU складає 8000 кбіт/с, а *реальная* швидкість передавання не може перевищувати граничні можливості системи ADSL (8000 кбіт/с), тому також складає 8000 кбіт/с.

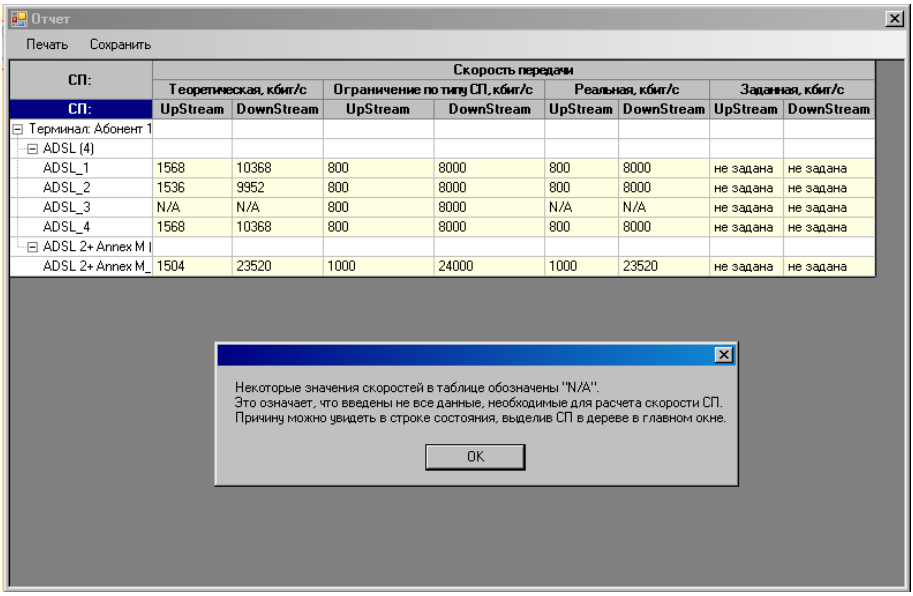


Рис. 5.10. Приклад звіту про стан ГКРА

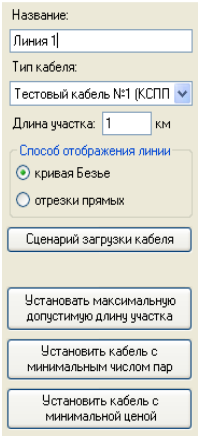


Рис. 5.11. Область властивостей об'єкта *Линия*

Для лінії можна задавати наступні параметри:

– назва (поле *Название*);

– тип використовуваного кабелю (поле *Тип кабеля*). В це поле можна обрати один з типів кабелів, заданих за допомогою утиліти *Менеджер кабелей* (див. п. 5.2.6);

– довжина кабельної лінії ділянки мережі (поле *Длина участка*);

– спосіб відображення лінії (поле *Способ отображения линии*). Лінія може відображатися в Області проектування у вигляді кривої чи відрізків прямих (рис. 5.12).

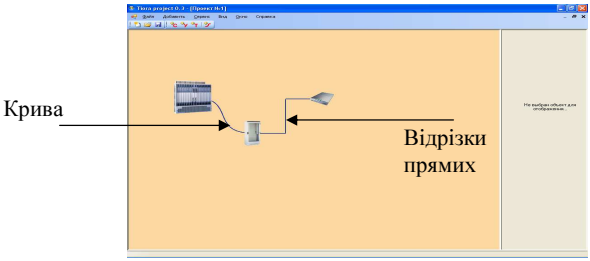


Рис. 5.12. Способи відображення ліній

Крім того, в Області властивостей лінії є кнопка *Сценарии загрузки кабеля*. У вікні, що відкривається після натиснення цієї кнопки, можна не тільки переглянути розташування СП в кабелі, але й змінити його (ри. 5.13).

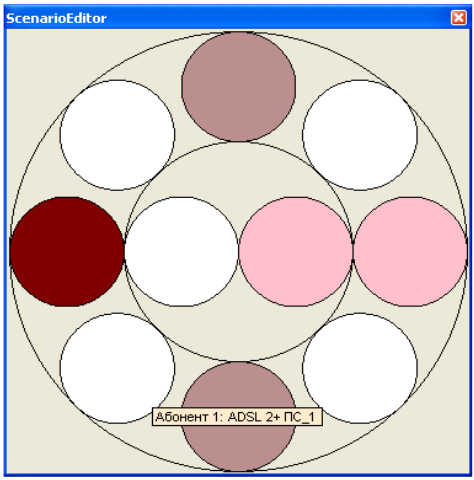


Рис. 5.13. Редактор сценарію

У вікні редактора сценарію відображається зріз кабелю, що відповідає обраній лінії. Кожне коло рис. 5.13 позначає одну пару. Колір кола відповідає типу СП, працюючої по відповідній парі. Білий колір відповідає незадіяній парі чи парі, використовуваній для передавання телефонних сигналів.

При наведенні покажчика миші на задіяну пару з'являється підказка у форматі <Назва ГКРА>:<Назва системи передачі>.

Для переміщення СП в іншу пару кабелю достатньо перетягнути її в цю пару, утримуючи ліву кнопку миші. Якщо нова пара вже задіяна, то СП поміняються місцями.

Перед тим як здійснювати операції із синтезу мережі, необхідно задати початкові умови:

- структуру мережі (станції, вузли і ГКРА, з'єднані лініями);
- число і тип СП в ГКРА;
- необхідні швидкості передавання, з якими повинні працювати СП.

Для задавання необхідних швидкостей передавання для СП необхідно обрати ГКРА, що містить СП, навести покажчик миші на пункт, що відповідає СП, та натиснути праву кнопку миші. У вікні, що відкриється, можна задати швидкість передавання у висхідному і низхідному напрямах (можна задати тільки одну швидкість чи обидві).

Для розв'язання задач синтезу мереж ПЗ „Tiora" підтримує декілька можливостей:

– визначення максимальної довжини лінії, за якої забезпечуються необхідні швидкості передавання інформації;

– вибір кабелю з мінімальним числом пар з переліку усіх доступних кабелів, при використанні якого забезпечуються необхідні швидкості передавання інформації;

– вибір кабелю з мінімальною ціною за 1 км з переліку всіх доступних кабелів, при використанні якого забезпечуються необхідні швидкості передавання інформації.

Описані можливості доступні при виборі будь-якої лінії у виді кнопок у *Полі властивостей елементів*.

5.2.6. Менеджер кабелів

Можливості

ПЗ „Tiora" дозволяє використовувати при проектуванні моделі кабелів, створені за допомогою утиліти *Менеджер кабелей*.

Можливості утиліти:

– гнучкий механізм задавання структури кабелю, що дозволяє моделювати структуру кабелів як з повивною, так і з пучковою скруткою;

– задавання усередненої АЧХ пар кабелю за допомогою зчитування даних з текстових файлів або з файла типу **.kdf*, з яким працює ПЗ xDSL-Liner;

– експорт усередненої АЧХ пар кабелю у файл типу **.kdf*;

– задавання перехідних згасань між парами кабелю (значення перехідних згасань можуть базуватися на результатах реальних вимірювань, на технічній документації на кабель або на результатах моделювання);

– задавання питомої вартості кабельної лінії для розв'язання задач у другій постановці (див. розд. 2).

Ці можливості дозволяють створювати достатньо точні моделі більшості існуючих кабелів зв'язку.

Інтерфейс

Вид основного вікна утиліти наведений на рис. 5.14.

Утиліта *Менеджер кабелей* має дві основні області:

1. Область кабелів. У цій області відображається перелік усіх доступних кабелів. При виборі одного із них (натисненням лівої кнопки миші) його параметри відображаються в Області параметрів.

2. Область параметрів. У цій області відбувається задавання структури і характеристик кабелю.

Розглянемо процедуру створення моделі нового кабелю.

Модель нового кабелю можна створити двома способами:

1. Задавання всіх параметрів кабелю. Для цього потрібно натиснути кнопку *Новый кабель* і задати параметри цього кабелю.

2. Використання існуючого кабелю в якості шаблона. Для цього потрібно обрати кабель, який буде використаний в якості шаблона, і натиснути кнопку *Копировать кабель*. Буде створено точну копію файла, параметри якої можна змінювати для отримання необхідного результату (наприклад, моделі кабелю того самого типу, але з іншою АЧХ або з іншими значеннями перехідних згасань).

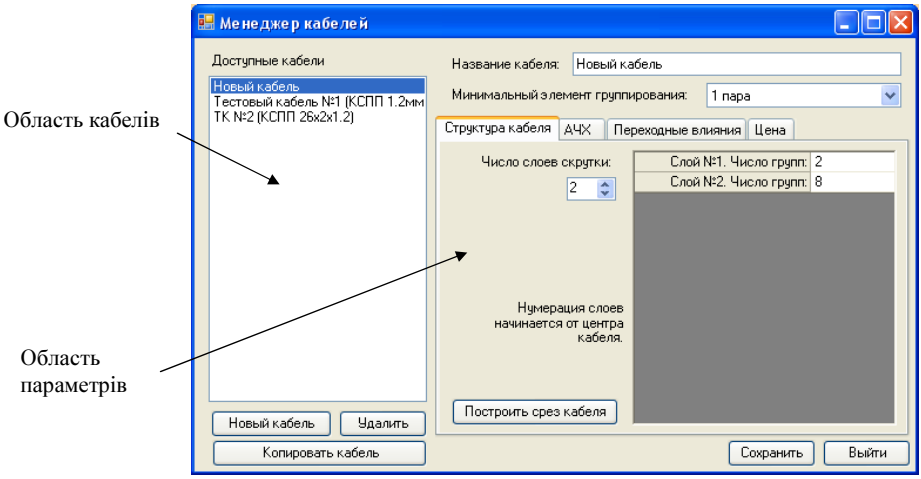


Рис. 5.14. Основне вікно утиліти *Менеджер кабелей*

Зміна параметрів кабелю відбувається в Області параметрів. До змінюваних параметрів відносяться наступні:

1. Назва кабелю (поле *Название кабеля*). Ця назва буде відображатися як в Області кабелів, так і в полі *Тип кабеля* Області властивостей лінії ПЗ „Tiora" (див. рис. 5.11).

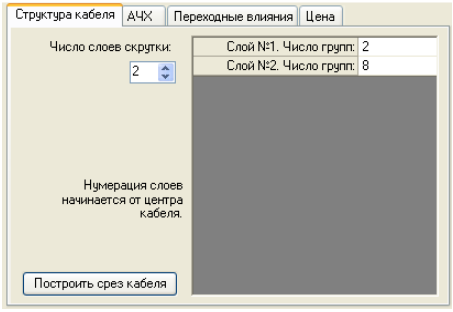


Рис. 5.15. Закладка *Структура кабеля*

2. Мінімальний елемент групування (поле *Минимальный элемент группирования*). Цей параметр для кабелю з повивною скруткою завжди дорівнює 1 (1 пара), а для кабелю с пучковою скруткою дорівнює ємності пучка (4, 8, 10 пар).

3. Структура кабелю. Параметри, визначаючі структуру кабелю, задаються на закладці *Структура кабеля* (рис. 5.15).

На цій закладці можна задавати наступні параметри:

– число шарів скрутки (поле *Число слоев скрутки*). Для кабелю з повивною скруткою цей параметр вказує число повивів, а для кабелю з пучковою скруткою – число шарів скрутки;

– число груп (мінімальних елементів групування) в кожному шарі задається в полі у правій частині закладки *Структура кабеля*.

Крім того, на закладці *Структура кабеля* розміщена кнопка *Посмотреть срез кабеля*. Цією кнопкою можна скористатися для того, щоб проконтролювати результат задавання структури кабелю. На рис. 5.16 наведені приклади структур кабелів, які дозволяє задавати утиліту *Менеджер кабелей*.

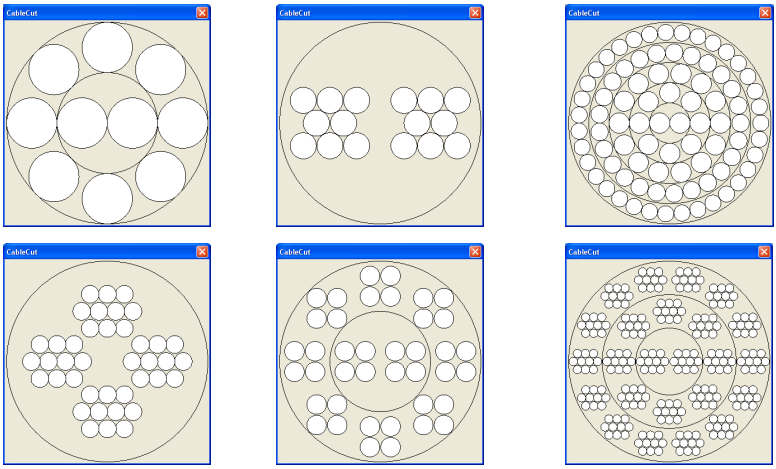


Рис. 5.16. Приклади структур кабелів

4. АЧХ кабелю задається на закладці АЧХ (рис. 5.17).

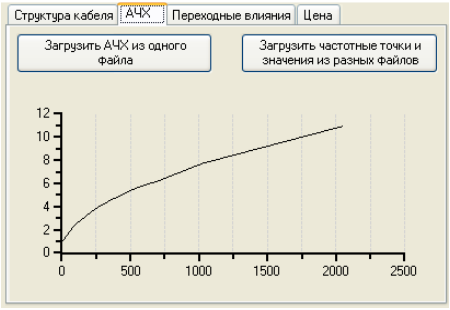


Рис. 5.17. Закладка АЧХ

На цій закладці АЧХ кабелю можна завантажити з одного текстового файла, в якому у кожному рядку знаходиться одне значення частоти (кГц) і відповідне цій частоті значення передатної функції; чи з двох текстових файлів – один із значеннями частот, другий – зі значеннями передатної функції.

Після завантаження АЧХ відображається у виді залежності загасання (дБ) від частоти (кГц).

Варто зазначити, що утиліта здійснює лінійну інтерполяцію АЧХ у точках, не заданих у файлах.

5. Перехідні впливи задаються на закладці *Переходные влияния* (рис. 5.18).

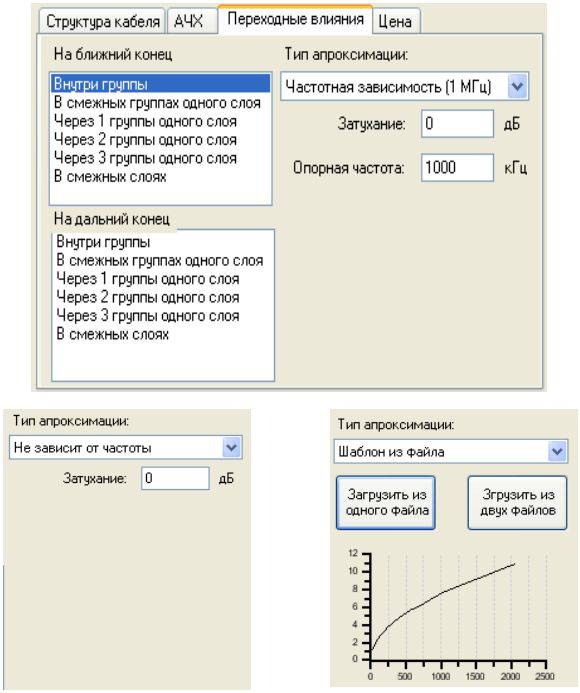


Рис. 5.18. Закладка *Переходные влияния*

На цій закладці можна задати величину перехідних згасань для різних варіантів взаємного розташування пар у кабелі. У лівій частині закладки перелічені всі варіанти взаємного розташування пар для заданої структури кабелю. У правій частині задається величина перехідного загасання для обраного взаємного розташування.

У залежності від типу апроксимації, вибраного в полі *Тип аппроксимации*, елементи керування у правій частині закладки змінюються.

– *Частотная зависимость* (1 МГц). Цей тип апроксимації будує частотну залежність перехідного загасання типу $f^{1/2}$, базуючись на перехідному згасанні на опорній частоті (поля *Затухание* і *Опорная частота*). Така апроксимація дає найбільш близькі до реальних результати при задаванні значення перехідного загасання на опорній частоті 1 МГц;

– *Не зависит от частоты*. За такого типу апроксимації перехідне загасання залишається постійним на будь-якій частоті (задається в полі *Затухание*);

– *Шаблон из файла*. При виборі цього типу апроксимації частотну залежність перехідного загасання можна завантажити з одного чи двох файлів

(аналогічно АЧХ). Для визначення значень перехідного загасання на частотах, не заданих у файлах, утиліта використовує лінійну інтерполяцію.

При задаванні перехідного загасання рівним нулю утиліта буде вважати, що перехідне загасання дорівнює нескінченності (перехідні впливи відсутні).

6. Питома вартість кабельної лінії задається на закладці *Цена* в полі *Цена за* 1 *км кабеля*.

Для збереження змін у параметрах кабелю необхідно натиснути кнопку *Сохранить* у правому нижньому куті вікна утиліти.

5.2.7. Застосування ПЗ „Tiora". Визначення потенційних можливостей існуючої мережі

Задачу моделювання існуючої мережі можна розбити на декілька підзадач:

1. Створення моделей кабелів, використовуваних у мережі. Для виконання цієї підзадачі застосовується утиліта *Менеджер кабелей*. За допомогою цієї утиліти можна створити модель кожного застосовуваного кабелю, однак для полегшення моделювання можна замінювати групу кабелів одним з усередненими характеристиками.
2. Побудова структури мережі. При побудові структури мережі варто використовувати наступні рекомендації:

а) слід розташовувати об'єкти зліва направо: станція – вузли – ГКРА;

б) якщо мережа складається з декількох незалежних підмереж, то їх зручніше моделювати в окремих проектах;

в) вузли установлюються як на розгалуженнях ліній, так і в місцях з'єднання кабелів різного типу;

г) для спрощення моделювання абоненти об'єднуються в групи (наприклад, приміщення чи будівля) і для кожної групи установлюється один ГКРА.

3. Задавання параметрів об'єктів мережі. На цьому етапі задаються типи кабельних ліній і довжини цих ліній, а також в ГКРА додаються СП.

Після задавання всіх параметрів мережі можна отримати звіти про стан ГКРА для визначення швидкостей, на яких можуть працювати установлені СП.

5.2.8. Визначення впливу нової СП на роботу мережі

Для визначення впливу нової СП на параметри існуючої мережі потрібно виконати наступні дії:

1. Побудувати модель існуючої мережі (п. 5.2.6).
2. Визначити швидкості роботи існуючих СП, використовуючи звіти про стан ГКРА.
3. Визначити ГКРА, у якій планується установка нової СП.

4. Додати нову СП в обрану ГКРА.

5. Визначити нові швидкості роботи СП, використовуючи звіти про стан ГКРА.

6. Зафіксувати зміни у швидкостях роботи ГКРА.

Розглянуті вище операції дозволяють визначити доцільність установлення нової СП без зміни структури мережі.

У випадку, коли після додавання нової СП швидкості роботи існуючих систем впали нижче необхідних, потрібно вжити заходів зі зменшення перехідних впливів у мережі (див. п. 5.2.9).

5.2.9. Зниження перехідних впливів на ділянках мережі

У випадку, коли під час моделювання мережі були виявлені занадто високі перехідні впливи на певній ділянці, можна використовувати декілька способів їх зниження:

1. Розподіл навантаження між декількома кабелями. На проблемній ділянці мережі прокладаються декілька додаткових кабелів і СП поділяються нарівно між цими кабелями.

Для перевірки ефекту такого заходу можна побудувати нову структуру мережі в Області проектування програми і визначити швидкості, з якими будуть працювати СП.

2. Використання кабелю з більшим числом пар. На проблемній ділянці кабель замінюється на маючий більше число пар і СП розподіляються рівномірно по його перетину.

Для полегшення задачі вибору такого кабелю в програмі „Tiora" є можливість підбору оптимального кабелю з переліку, заданого в *Менеджере кабелей*. Щоб скористатися цією можливістю, потрібно установити необхідні швидкості передавання для всіх СП, швидкість роботи яких повинна враховуватися. Далі необхідно обрати лінію, в якій планується заміна кабелю. В Області властивостей лінії (рис. 5.11) можна використовувати дві кнопки:

1. *Установить кабель с минимальным числом пар*. При натисненні на цю кнопку програма спробує обрати з переліку всіх кабелів той, що має мінімальне число пар і при цьому дозволить усім СП працювати з заданими швидкостями.

2. *Установить кабель с минимальной ценой*. При натисненні на цю кнопку програма спробує обрати з переліку всіх кабелів той, що має мінімальну ціну і при цьому дозволить усім СП працювати із заданими швидкостями.

5.2.10. Проектування нової ділянки мережі

Для полегшення проектування нової ділянки мережі програма „Tiora" надає можливість визначення максимально припустимої довжини ділянки.

Для того, щоб скористатися цією можливістю, необхідно:

– побудувати модель мережі, що містить цю ділянку;

– задати необхідні швидкості передавання для всіх СП, швидкість роботи яких повинна враховуватися.

Далі необхідно обрати лінію, максимальну довжину якої потрібну визначити, і натиснути на кнопку *Установить максимально допустимую длину участка*. Після натиснення на цю кнопку програма визначить максимальну довжину лінії, за якої всі СП можуть працювати із заданими швидкостями.

5.3. Електричні параметри кабелів, обладнання кросів АТС та кінцевого кабельного обладнання

5.3.1. Електричні параметри передавання кабелів

До електричних параметрів передавання кабелів належать: електричний опір струмопровідних жил постійному струму $R_ж$, Ом/км; електричний опір ізоляції жил $R_{із}$, МОм·км; робоча (електрична) ємність C_0, нФ/км; коефіцієнт затухання α, дБ/км; коефіцієнт фази β, рад/км; модуль хвильового опору $|Z_{хв}|$, Ом, і його фаза $\varphi_{хв}$, градуси; електричний опір ізоляції зовнішньої оболонки $R_{із\ об}$ й шланга $R_{із\ ш}$, МОм·км; перехідне затухання на ближньому кінці A_o, дальньому кінці A_l й захищеність на дальньому кінці $A_з$, дБ; затухання неузгодженості $A_{ну}$ і затухання асиметрії $A_{ас}$, дБ.

Значення нормованих і допустимих електричних параметрів кабелів типу Т, ТП і СТПА, КТПЗББбШп, ТСВ, ПКСВ, ПРППМ, ПРВПМ, ТРП, КАПЗоп, категорій 3, 5 і 5е наведено в табл. 5.3...5.13 [3, 4, 7, 8, 10-12].

Таблиця 5.3

Електричні параметри телефонних кабелів типа Т, ТП і СТПА в металевій і пластмасовій оболочках

Параметр	Частота, кГц	Норма для кабелів типу	
		Т	ТП і СТПА
Електричний опір струмопровідної жили, Ом/км, діаметром, мм:			
0,32	0	–	216±13
0,40		–	139±9
0,50		90±5	$90^{+5,9}_{-6}$
0,64		55±3	55±3
0,70		–	45±3
Електричний опір ізоляції жил, МОм·км, не менше:	0		
– трубчасто-паперовою і пористо-паперовою		8000	–
– поліетиленовою:		–	6500
– для 100 % значень		–	8000
– для 80 % значень			
– для кабелів з гідрофобним заповненням		–	5000

Продовження табл. 5.3

Параметр	Частота, кГц	Норма для кабелей типа	
		Т	ТП и СТПА
Випробувальна напруга, В, прикладено:	0,05 / 0	протягом 2 хв.	протягом 1 хв.
– між жилами робочих пар		500/750	1000/1500
– між жилами й екраном		-	2000/3000
– між жилами й металевою оболонкою		500/750	5000/7500
– між алюмінієвою оболонкою і бронею і між алюмінієвою оболонкою і водою для підводного кабелю марки СТПАПП		-/-	5000/7500
Розрахунковий коефіцієнт загасання, дБ/км, для кабелів:			
– з трубчасто-паперовою ізоляцією жил діаметром, мм:	0,8		
0,50		1,24	–
0,64		0,97	–
– з пористо-паперовою ізоляцією жил діаметром 0,5 мм		1,31	–
– з поліетиленовою ізоляцією жил діаметром, мм:	1		
0,32		–	2,4
0,40		–	1,9
0,50		–	1,5
0,64		–	1,2
0,7		–	1,1
0,9		–	0,7
– з гідрофобним заповненням і поліетиленової ізоляцією жил діаметром, мм:	1		
0,32		–	2,5
0,40		–	2,0
0,50		–	1,6
0,64		–	1,3
0,7		–	1,2
0,9		–	0,8

Закінчення табл. 5.3

Параметр	Частота, кГц	Норма для кабелів типу	
		Т	ТП и СТПА
– кабель без гідрофобного заповнення, мм:	512		
0,4		–	19,5
0,5	512	–	16,7
– кабель з гідрофобним заповненням, мм:			
0,4	1024	–	20,8
0,5		–	18,0
– кабель без гідрофобного заповнення, мм:	1024		
0,4		–	27,2
0,5		–	23,4
– кабель з гідрофобним заповненням, мм:			
0,4		–	29,1
0,5		–	25,2

Таблиця 5.4

Електричні параметри малопарних кабелів марки КТПЗБбШп

Параметр	Частота, Гц	Норма
Електричний опір струмопровідної жили, Ом/км	0	55±3
Електричний опір ізоляції струмопровідної жили, МОм·км, не менше	0	5000
Випробувальна напруга, прикладена між жилами протягом 1 хв, В, не менше	50	1500
Електричний опір ізоляції захисного шланга, МОм·км, не менше	0	5
Робоча ємкість, нФ/км	800 – 1000	45±5
Перехідне загасання на ближньому кінці, дБ/км, не менше	1020	75

Таблиця 5.5

Електричні параметри кабелів і дротів марок ТСВ і ПКСВ

Параметр	Частота, кГц	Норма для кабелів і дротів марок	
		ТСВ	ПКСВ
Електричний опір струмопровідної жили, Ом/км, не більше, діаметром, мм: 0,32 0,4 0,5	0	 229 148 95	 – 148 95
Електричний опір ізоляції жил, МОм·км, не менше	0	200, 100 для пластикату И40-13А (PS/2)	100 –

Таблиця 5.6

Електричні параметри одинопарних кабелів і дротів довжиною 1 км

Марка кабелю або дроту	Діаметр жил, мм	Опір пари жил, Ом	Електрична ємність, нФ	Опір ізоляції жил, МОм	Робоча напруга, В
ПРППМ	1,2 0,9	32 56,8	56 50	10 000 10 000	380 380
ПРПВМ	1,2 0,9	32 56,8	88 87	10 000 10 000	380 380
ТРП (ТРВ)	0,4 0,5	296 188	– –	500(30) 500(30)	500 500

Таблиця 5.7

Низькочастотні параметри кабелів 3, 5 і 5е категорій

Категорія кабелю	Електричні характеристики кабелю довжиною 100 м			
	опір жили, Ом, не більше	омічна асиметрія жил пари, % не більше	опір ізоляції МОм, не менше	робоча ємність, нФ, не більше
3, 5, 5е	9,5	3	50 000	5,2

Таблиця 5.8

Електричні параметри кабелю категорій 5 і 5е довжиною 100 м на частотах до 2 МГц

Частота, кГц	Загасання, дБ	Модуль хвильового опору, Ом
64	0,65	130
100	0,93	126
256	1,04	117
512	1,34	114
1000	1,81	107
2000	2,40	104

Таблиця 5.9

Середні значення електричних параметрів кабелів типу ТП

Параметр	Частота, Гц	Середнє значення
1. Електричний опір струмопровідної жили довжиною 1 км при температурі 20 ^{0}С, для діаметра жил, мм:	0	
0,32		223
0,40		144
0,50		92,1
0,64		56,5
0,70		47,0
0,90		28,3
2. Омічна асиметрія жил пари, %, не більше	0	1
3. Робоча ємність, перерахована на довжину 1 км, нФ, при температурі 20 ^{0}С, не більше:	800 або 1000	
– для кабелів без гідрофобного заповнення		48
– для кабелів з гідрофобним заповненням		54
– для кабелів з гідрофобним заповненням «Зв»		57

Таблиця 5.10

Електричні характеристики кабелів КВППэпЗ, КЦППэпЗ для передачі цифрової інформації

Параметри	Частота, Гц	Норма
1. Електричний опір струмопровідної жили постійному струму, довжиною 1 км при температурі 20 ^{0}С, Ом, для діаметра жил, мм:	0	
0,5		$90^{+5,9}_{-6,0}$
0,64		55±3
2. Омічна асиметрія жил пари, в %, не більше	0	1
3. Електричний опір ізоляції струмопровідних жил довжиною 1 км при температурі 20 ^{0}С, МОм, не менше	0	5 000
4. Електричний опір ізоляції зовнішньої оболонки (шланга) кабелів, МОм·км	0	5
5. Робоча ємність пари довжиною 1 км при температурі 20 ^{0}С, нФ:	від 800 до 1000	45±3

Таблиця 5.11

Усереднені значення вторинних параметрів передачі кіл кабелю КТПЗБбШп

Параметр	Частота, кГц												
	2	4	8	16	32	64	128	160	256	352	512	1024	2048
α, дБ/км	1,5	2,0	2,7	3,2	3,8	4,3	5,0	6,0	6,9	8,2	10,0	11,0	14,6
β, рад/км	0,1	0,17	0,33	0,74	1,3	2,5	4,7	6,3	9,0	12,6	18,0	35,6	69,9
|Zв|, Ом	463	330	239	182	153	141	138	136	135	133	132	131,5	129

Таблиця 5.12

Частотні характеристики вторинних параметрів передачі кіл кабелю КАПЗоп

Частота, кГц	Коефіцієнт загасання, дБ/км, при діаметрі жил, мм			Модуль хвильового опору Ом, при діаметрі жил, мм		
	0,5	0,64	0,9	0,5	0,64	0,9
1	1,25	0,9	0,7	890	728	540
8	3,5	2,7	1,5	280	239	200
16	4,8	3,2	1,8	210	182	160
32	5,9	3,8	2,2	190	153	150
64	6,8	4,3	2,7	142	141	135
128	7,4	5,0	3,5	114	138	130
160	7,8	6,0	4,0	116	136	129
256	9,3	6,9	4,6	115	135	128
512	12,7	8,9	6,5	112	132	124
1024	17,5	11,0	9,1	110	131,5	121
2048	23,8	14,6	12,9	107	129	117

Таблиця 5.13

Максимально допустиме загасання кабелів категорій 3, 5 і 5е довжиною 100 м

Частота, МГц	Загасання пар кабелю, дБ, не більше	
	Категорія 3	Категорія 5, 5е
0,772	2,2	1,8
1	2,6	2,0
4	5,6	4,1
10	9,7	6,5
16	13,1	8,2
20	–	9,3
31,25	–	11,7
62,5	–	17,0
100	–	22,0

5.3.2. Параметри передачі кабелів у широкому діапазоні частот

Використання технологій xDSL вимагає знання параметрів передачі кабельних кіл у широкому діапазоні частот (до 12 МГц). Для визначення параметрів передачі кабелів у широкому діапазоні частот були застосовані формули розрахунку первинних і вторинних параметрів, наведені в [3, 6].

Результати розрахунку вторинних параметрів кабелів типа ТП з діаметром жил 0,32; 0,4; 0,5 і 0,64 мм наведено в табл. 5.14, 5.15. Електрична ємність пар кабелю дорівнює 45 нФ/км.

Таблиця 5.14

Результати розрахунку вторинних параметрів кабелю типу ТП довжиною 1 км та діаметром жил 0,32 і 0,4 мм

Частота, МГц	Вторинні параметри передавання кабелю з мідними жилами							
	діаметр 0,32 мм				діаметр 0,4 мм			
	α, дБ/км	β, рад/км	$\lvert Z_в \rvert$, Ом	-φ, град	α, дБ/км	β. рад/км	$\lvert Z_в \rvert$, Ом	–φ, град
0,01	6,55	0,82	393,3	42,8	5,10	0,66	317,7	41,5
0,10	14,96	3,62	141,8	25,4	10,51	3,30	126,3	20,1
0,15	16,07	5,13	128,5	19,8	11,22	4,78	118,6	15,1
0,5	20,27	16,02	114,5	8,3	15,73	15,27	110,4	6,7
0,7	23,37	22,24	113,1	6,8	18,38	21,16	109,0	5,3
1,0	26,67	31,45	111,7	5,5	21,93	29,87	107,6	3,9
2,0	37,41	61,55	109,1	3,9	30,78	58,52	105,2	3,0
5,0	58,27	150,65	106,6	2,5	48,37	143,39	103,0	2,1
10,0	82,18	297,95	105,4	1,7	68,46	284,36	102,1	1,5
12,0	90,2	356,68	105,1	1,6	75,03	340,53	101,9	1,4

Таблиця 5.15

Результати розрахунку вторинних параметрів кабелю типу ТП довжиною 1 км та діаметром жил 0,5 і 0,64 мм

Частота, МГц	Вторинні параметри передавання кабелю з мідними жилами							
	діаметр 0,5 мм				діаметр 0,64 мм			
	α, дБ/км	β, рад/км	$\lvert Z_в \rvert$, Ом	-φ, град	α, дБ/км	β. рад/км	$\lvert Z_в \rvert$, Ом	–φ, град
0,01	3,99	0,56	252,7	39,3	2,92	0,46	200,7	36,0
0,10	7,31	3,22	116,7	14,6	4,82	3,21	114,5	9,8
0,15	7,92	4,74	112,9	10,9	5,44	4,77	112,5	7,5
0,5	12,55	15,23	107,4	5,4	9,46	15,33	107,9	4,0
0,7	14,83	21,08	106,1	4,6	11,12	21,28	107,9	3,4
1,0	17,68	29,80	104,8	3,8	13,24	30,15	105,9	2,8
2,0	24,77	58,58	102,9	2,7	18,62	59,54	104,5	2,0
5,0	39,05	144,24	101,3	1,7	29,44	147,15	103,3	1,3
10,0	55,51	286,23	100,5	1,2	42,07	292,59	102,7	0,9
12,0	60,99	342,90	100,3	1,1	46,28	350,70	102,5	0,8

5.3.3. Параметри взаємного впливу

Рівень взаємних завад, що виникають усередині кабелю, визначається перехідними загасаннями між парами. Відповідно до діючих нормативів для телефонного зв'язку можуть бути використані пари, перехідне загасання між якими на ближньому кінці A_o складає величину не менше 69,5 дБ на частоті 1020 Гц [14...16]. Для передачі сигналів дискретної інформації потрібні пари, що володіють підвищеним значенням A_o.

Перехідне загасання на ближньому кінці

Середні значення перехідного загасання на ближньому кінці кабелів типу ТП з повивною і пучковою побудовою осердя на частоті 1 МГц наведені в табл. 5.16 і 5.15 [6].

Таблиця 5.16

Середнє значення перехідного загасання на ближньому кінці в кабелі типу ТП з повивною побудовою осердя на частоті 1 МГц

Розташування пар в осерді кабелю	Середнє значення перехідного загасання на ближньому кінці, дБ	Середньоквадратичне відхилення, дБ
Суміжні в повиві	53	4,7
Через 1 пару в повиві	65	5,5
Через 2 пари в повиві	73	7,4
Через 3 пари в повиві	74	7,2
Через 4 пари в повиві	75	5,2
У суміжних повивах	68	5,6
Через 1 повив	75	6,3
Через 2 повиви	79	6,8
Через 3 повиви	81	6,2
Через 4 повиви	81,5	6,9

Таблиця 5.17

Середнє значення перехідного загасання на ближньому кінці в кабелі типу ТП з пучковою побудовою осердя на частоті 1 МГц

Розташування пар в осерді кабелю	Середнє значення перехідного загасання на ближньому кінці, дБ	Середньо-квадратичне відхилення, дБ
Усередині елементарного пучка	65	8,1
У суміжних елементарних пучках	69	7,2
Через один елементарний пучок	84	6,5
Через два елементарних пучки	88	5,2
В елементарних пучках суміжних повивів	75	7,7

Залежність середнього значення перехідного загасання між парами на ближньому кінці в кабелях типу ТП від частоти в діапазоні від 10 кГц до 2 МГц можна визначити за наступною, заснованою на аналізі проведених авторами результатів вимірів, наближеною формулою:

$$A_0(f) = A_{01} - 15\lg(f/1000), \tag{5.1}$$

де A_{01} – значення перехідного загасання на ближньому кінці на частоті 1 МГц (табл. 5.17); f – частота, кГц.

Як показали виміри на абонентських лініях, середнє значення перехідного загасання на ближньому кінці в багатопарних кабелях не залежить від довжини і визначається перехідним загасанням на ближньому кінці першої будівельної довжини.

Захищеність і перехідне загасання на дальньому кінці

Середнє значення перехідного загасання на дальньому кінці й захищеності на дальньому кінці багатопарного кабелю МТМ залежать від частоти і довжини АЛ та визначається за допомогою наступних формул:

$$A_{зал} = A_{збд} - 10\lg\left(l/l_{бд}\right), \tag{5.2}$$
$$A_{lал} = A_{зал} + \alpha \cdot l,$$

де $A_{зал}$ – захищеність на дальньому кінці АЛ, дБ, довжиною l км;

$A_{з\ бд}$ – захищеність на дальньому кінці однієї будівельної довжини кабелю, дБ;

$A_{lал}$ – перехідне загасання на дальньому кінці АЛ, дБ;

α – коефіцієнт загасання кабелю, дБ/км, на частоті f;

$l_{бд}$ – протяжність будівельної довжини кабелю, км.

Кабелі з пучковою побудовою осердя

Середнє значення захищеності на дальньому кінці будівельної довжини багатопарного кабелю типу ТП протяжністю 280 м *між поруч розміщеними парами* (усередині одного елементарного пучка) на частотах вище 10 кГц визначається за допомогою виразу, що ґрунтується на результатах, проведених авторами вимірів:

$$A_{зсд}(f) = 125 - 20\lg(f), \tag{5.3}$$

де f – частота, кГц.

Слід зазначити, що в тому випадку, якщо протяжність будівельної довжини кабелю $l_{сд}$ відрізняється від 280 м, то величина захищеності на дальньому кінці змінюється на величину, що дорівнює мінус $10\cdot\lg(l_{сд}/280)$.

Величина захищеності $A_{з\ сд1}$ на дальньому кінці *між не поруч розміщеними парами* (у різних елементарних пучках одного повива або осердя) однієї будівельної довжини кабелю визначається за формулою:

$$A_{\text{зсд1}} = A_{\text{зсд}} + \delta A_{\text{з}}, \tag{5.4}$$

де $\delta A_{\text{з}}$ – приріст захищеності за рахунок взаємного впливово віддалення, і схильного до впливу пар, установлений на основі проведених авторами вимірів і наведений в табл. 5.18.

Таблиця 5.18

Значення приросту захищеності на дальньому кінці ($\delta A_{\text{з}}$) будівельної довжини кабелю типу ТП з пучковою побудовою осердя за різного взаємного розташування пар відносно одна одної

Розташування пар в осерді кабелю	Приріст захищеності на дальньому кінці, дБ
У суміжних елементарних пучках	10
Через один елементарний пучок	11,5
Через два елементарних пучки	12
У елементарних пучках суміжних повивів	11
Через 1 повив пучків	13
Через 2 повиви пучків	14,5
Через 3 повиви пучків	15

Кабелі з повивною побудовою осердя

Середнє значення захищеності на дальньому кінці кабелів типу ТП довжиною 280 м між парами, *розміщеними поруч усередині одного повиву*, на частотах вище ніж 10 кГц приблизно визначається за допомогою виразу, заснованого на проведених авторами результатах вимірювань:

$$A_{\text{збд}}(f) = 60 - 20\lg(f/1000), \tag{5.5}$$

де f – частота, кГц.

У тому випадку, якщо протяжність будівельної довжини кабелю $l_{\text{бд}}$ відмінна від 280 м, величина захищеності на дальньому кінці змінюється на величину, яка дорівнює мінус $10\lg(l_{\text{бд}}/280)$.

Величина захищеності $A_{\text{з бд1}}$ на дальньому кінці *між не поруч розміщеними парами* (між не сусідніми парами одного повиву або між парами різних повивів), однієї будівельної довжини кабелю визначається за формулою:

$$A_{\text{збд1}} = A_{\text{збд}} + \delta A_{\text{з}}, \tag{5.6}$$

де $\delta A_{\text{з}}$ – збільшення захищеності за рахунок взаємного видалення впливом пари, і пари, підданої впливу, – було установлене на основі проведених авторами вимірювань і наведене в табл. 5.19.

Таблиця 5.19

Значення збільшення захищеності на дальньому кінці (δA_3) будівельної довжини кабелю типу ТП з повивною побудовою осердя за різного взаємного розміщення пар

Розміщення пар в осерді кабелю	Збільшення захищеності на дальньому кінці, дБ
Через 1 пару в повиві	6
Через 2 пари в повиві	10
Через 3 пари в повиві	11
Через 4 пари в повиві	12
У суміжних повивах	8
Через один повив	13
Через два повиви	15
Через три повиви	16
Через чотири повиви	16,5

Допустимі значення параметрів взаємного впливу між парами кабелів категорій 3, 5 і 5е, ЕКС-ГВПВ-5 4х2х0,52, КВППепЗ і КЦППепЗ наведені в табл.. 5.20...5.22 [7, 8].

Таблиця 5.20

Перехідне затухання на ближньому кінці (NEXT) між парами кабелів категорій 3, 5 і 5е довжиною 100 м

Частота, МГц	Перехідне затухання на ближньому кінці (NEXT), дБ		
	Категорія 3	Категорія 5	Категорія 5е
0,772	43	64	67
1	41	62	65
4	32	53	60
10	26	47	50
16	23	44	47
20	-	42	45
31,25	-	39	42
62,5	-	35	38
100	-	32	35

Таблиця 5.21

Середні значення параметрів впливу в кабелі ЭКС-ГВПВ-5 4×2×0,52 довжиною 300 м

Частота, кГц	Середні значення перехідного загасання на ближньому кінці, дБ		Середні значення захищеності на дальньому кінці, дБ	
	між сусідніми парами	через одну пару	між сусідніми парами	через одну пару
1	92	95	92,5	97,5
80	88,5	92,5	87	84,5
160	87,5	88,5	81,5	80,5
512	84,5	82,8	71	71
1024	78	78,8	65	68,5
2048	66	72,8	61,5	67,5

Таблиця 5.22

Нормовані значення параметрів впливу кабелів КВППепЗ і КЦППепЗ однієї будівельної довжини (буд.д.)

Вид перехідного загасання	Норма
Перехідне загасання на ближньому кінці між колами, не менше, дБ/буд. д.: на частотах 40, 80 і 160 кГц:	
50 % комбінацій	70
40 % комбінацій	65
10 % комбінацій	60
на частотах 512 і 1024 кГц:	
50 % комбінацій	65
40 % комбінацій	60
10 % комбінацій	58
Захищеність між колами на дальньому кінці, не менше, дБ/буд.д: на частотах 40, 80 і 160 кГц:	
40 % комбінацій 60 % комбінацій	65
на частотах 512 і 1024 кГц:	70
40 % комбінацій	50
60 % комбінацій	55

Про нормування параметрів взаємного впливу багатопарних кабелів

У [46] наведена залежність допустимих значень перехідних згасань на ближньому $A_{0\ \text{доп}}$ (NEXT) і захищеності $A_{з\ \text{доп}}$ (ELFEXT) на дальньому кінцях кабелів з пучковою скруткою осердя від частоти f, кількості пар кабелю m, зайнятих для організації xDSL-ліній і довжини l:

$$A_{\text{о_доп}}(f, m) = 58 - 6\lg(m-1) - 15\lg(f/300), \qquad (5.7)$$

$$A_{з_доп}(f, l, m) = 56 - 6\lg(m-1) - 20\lg(f/300) - 10\lg(l), \qquad (5.8)$$

де f – частота, кГц;

l – довжина кабелю, км;

m – кількість пар кабелю, які використовуються для організації xDSL-ліній;

58 дБ і 56 дБ – відповідають мінімально припустимим значенням перехідного загасання на ближньому кінці й захищеності на дальньому кінці тільки для двох взаємовпливових пар в елементарному пучку на частоті 300 кГц при довжині кабелю 1 км.

У [47] наведені допустимі значення перехідних згасань на ближньому і захищеності на дальньому кінцях для кабелів з пучковим скрученням осердя на частоті 300 кГц, при 100% завантаженні кабелю, які дорівнюють 52 і 48 дБ відповідно. Проте при цьому не вказується довжина кабелю, для якої установлена норма на захищеність.

За даними деяких виробників кабельної продукції країн СНД (Російська Федерація, Республіка Білорусь, Узбекистан і Україна), отриманими через Інтернет, мінімальні значення перехідних згасань на ближньому кінці і захищеності на дальньому кінцях кабелів завдовжки 1 км на частоті 300 кГц складають 52 і 50 дБ відповідно.

Виходячи з наведених у Довіднику середніх значень перехідних згасань у кабелях типу ТП були визначені мінімальні значення перехідного загасання на ближньому і захищеності на дальньому кінцях кабелю з пучковим скрученням осердя, які на частоті 300 кГц, при довжині 1 км і 100% завантаженні пучка, склали 51 і 48 дБ відповідно.

Порядок набуття цих значень включав:

1) на частоті 1 МГц були визначені середні значення перехідних згасань на ближньому кінці $A_{0\ бд}$ і захищеності на далекому кінці $A_{з\ бд}$, які склали 65 дБ (табл. 5.17) і 65 дБ (за формулою (5.5) для будівельної довжини кабелю протяжністю 280 м) відповідно.

2) з визначених у п. 1 значень відняли подвоєні значення середньо-квадратичного відхилення, які дорівнюють 16,2 дБ як для $A_{0\ бд}$, так і для $A_{з\ бд}$;

3) з визначених у п. 2 значень $A_{0\ бд}$ відняли 37,2 дБ, а з $A_{з\ сд}$ відняли 49,5 дБ, які врахували перехід на частоту 300 кГц за формулами (5.1) і (5.5);

4) з визначеного у п.3 значення $A_{з\ бд}$ відняли 5,5 дБ (перехід на довжину 1 км згідно з (5.2));

5) з визначених у п. 3 і 4 значень перехідного загасання на ближньому кінці і захищеності на дальньому кінцях була віднята величина 5,7 дБ (перехід від двох взаємновпливаючих пар у пучку до десяти проводився за складовими формулами (5.7) і (5.8)).

У табл. 5.23 наведені отримані з різних джерел мінімально приустимі значення перехідних згасань на частоті 300 кГц при довжині кабелю з пучковим скрученням осердя 1 км і 100% завантаженні пучка кабелю лініями xDSL.

Таблиця 5.23

Допустимі значення перехідних згасань

Мінімальне припустиме значення перехідного загасання, дБ	ANSI T1. 417 [41]	МСЭ-Т L.19 [42]	СНГ	Метод. посібник (п. 5.3.3)
на ближньому кінці	52	52	52	51
захищеності на дальньому кінці	50	48	50	48

Недостатня однорідність і симетрія кабельної пари є джерелами додаткової дії як зовнішніх, так і перехідних завад. У міжнародних стандартах [40...42] наведені норми на загасання асиметрії і відбиття. Так, загасання асиметрії для ADSL повинне складати не менше 40 дБ в діапазоні частот 25...1104 кГц [40, 42]. Згідно з [41] у діапазоні частот 8-800 кГц величина загасання асиметрії a_{ac} повинна задовольняти умові:

$$\alpha_{ac} \geq 44 - 5\lg(f/80), \tag{5.9}$$

де f – частота, кГц.

Побічно в [46] сформульована вимога до мінімальної величини загасання відбиття кабельного кола, яке в діапазоні частот 50...400 кГц складає не менше 10 дБ при внутрішньому опорі вимірювального приладу 100 Ом, 13 дБ при 120 Ом і 15 дБ при 135 Ом.

5.3.4. Нормування електричних параметрів абонентських ліній

Нині нормуються електричні параметри абонентських ліній [14...16]. До нормованих експлуатаційних параметрів аналогових кабельних абонентських ліній МТС відносяться:

1) електричний опір 1 км кола постійного струму при температурі довкілля 20ºС не повинен перевищувати значень, наведених в табл. 5.24;

Таблиця 5.24

Електричний опір 1 км кола постійному струму

Тип кабелю	Діаметр жил, мм	Опір кола, Ом, не більше
Т, ТП	0,32	458
	0,4	296
	0,5	192
	0,64	116
	0,7	96

2) омічна асиметрія кола постійному струму має бути не більше 1% від опору шлейфа;

3) електричний опір ізоляції 1 км жил за нормальних кліматичних умов при введенні в експлуатацію повинен мати значення не менше приведених в табл. 5.25;

Таблиця 5.25

Електричний опір ізоляції 1 км жил кабелю постійному струму

Тип кабелю	Опір ізоляції, МОм, не менше, при стані лінії	
	без кінцевих пристроїв	з кінцевими пристроями
Т	8000	1000
ТП	5 000	1 000
ТППэпЗ	6 500	1 000
ТСтШп	8 000	1 000
ТСВ	200	200

4) електричний опір ізоляції 1 км жил за нормальних кліматичних умов і різного терміну експлуатації наведений в табл. 5.26;

Таблиця 5.26

Електричний опір ізоляції 1 км жил кабелю постійному струму без кінцевих пристроїв з урахуванням терміну експлуатації

Тип кабелю	Електричний опір ізоляції 1 км жил, МОм, не менше, при терміні експлуатації		
	до 5 років	до 10 років	понад 15 років
Т	1 000	400	200
ТП	1 000	500	300
ТППЗ	1 000	800	500

5) робоча ємність кола, перерахована на 1 км довжини, наведена в табл. 5.27;

Таблиця 5.27

Робоча ємність 1 км жил кабелю постійному струму

Тип кабелю	Робоча ємність, нФ, не більше		
	до 5 років	до 10 років	понад 15 років
Т	52	55	60
ТП	50	55	60
ТППэпЗ	50	50	55

6) загасання кола на частоті 1020 Гц не повинне перевищувати 5 дБ з діаметром жил 0,32 мм і 6 дБ з діаметром жил 0,4; 0,5 і 0,64 мм;

7) значення перехідного загасання між колами на ближньому кінці на частоті 1020 Гц має бути не менше 69,5 дБ;

8) псофометрична потужність завад не повинна перевищувати 100 пВт, а незважена потужність завад не повинна перевищувати 200 пВт;

9) загасання асиметрії в діапазоні частот від 300 до 3400 Гц має бути не менше 43,5 дБ;

10) опір заземлення металевих екранів і оболонок кабелів залежно від питомого опору ґрунту ρ не повинен перевищувати 20 Ом при $\rho \leq 100$ Ом·м; 30 Ом при $300 \geq \rho > 100$ Ом·м; 35 Ом при $500 \geq \rho > 300$ Ом·м; 45 Ом при $1000 \geq \rho > 500$ Ом·м і 55 Ом при $\rho > 1000$ Ом·м;

11) опір заземлення кабельних ящиків залежно від питомого опору ґрунту ρ не повинен перевищувати 10 Ом при $\rho \leq 100$ Ом·м; 15 Ом при $300 \geq \rho > 100$ Ом·м; 20 Ом при $500 \geq \rho > 300$ Ом·м; 25 Ом при $1000 \geq \rho > 500$ Ом·м;

12) опір заземлення абонентських захисних пристроїв залежно від питомого опору ґрунту ρ не повинен перевищувати 30 Ом при $\rho \leq 100$ Ом·м; 45 Ом при $300 \geq \rho > 100$ Ом·м; 55 Ом при $500 \geq \rho > 300$ Ом·м; 65 Ом при $1000 \geq \rho > 500$ Ом·м і 75 Ом при $\rho > 1000$ Ом·м;

13) електричні параметри модулів підключення кінцевих кабельних пристроїв:

– електричний опір контактного з'єднання жил має бути не більше 30 мОм з діаметром жил 0,32 мм; 20 мОм з діаметром жил 0,4 мм; 15 мОм з діаметром жил 0,5 мм, 12 мОм з діаметром жил 0,64 мм;

– електричний опір ізоляції між контактами модулів має бути не менше 5 000 МОм;

– перехідне загасання між контактами має бути не менше 100 дБ на частотах від 0,3 до 3,4 кГц; 80 дБ на частотах від 3,4 до 192 кГц; 70 дБ на частотах від 192 до 1024 кГц.

5.4 Вимоги щодо безпеки та охорони праці; електромагнітних впливів обладнання xDSL-ліній на навколишнє середовище

При розробці проектної документації на будівництво і реконструкцію лінійно-кабельних споруд зв’язку повинні враховуватися вимоги Законів України «Про охорону праці», «Про охорону оточуючого природного середовища», «Про екологічну експертизу», ВБН В.2.2-45-1-2004, ДБН А.2.2-1, ДНАОП 5.2.30-1.07.96 і ДНАОП 5.2.30-1.08.96.

Монтаж та обслуговування лінійних споруд місцевої телефонної мережі необхідно виконувати у відповідності з вимогами ДНАОП 5.2.30-1.07.96 і ДНАОП 5.2.30–1.08.96.

Заходи з захисту експлуатаційного персоналу і користувачів мережі абонентського доступу від небезпечних напруг і струмів повинні відповідати ГОСТ 12. 1. 038, ДНАОП 5.2.30-1.08.96, Рекомендації МСЕ-Т К.9.

Обладнання, що установлюється у користувачів, на АТС (комутаційних станціях), на мережі абонентського доступу і транспортній мережі, повинно бути захищено від перенапруг, великих струмів і відповідати вимогам Рекомендацій МСЕ-Т К.20, К.21, К.45 і К.66.

Електромагнітне випромінювання, що створюється xDSL-лініями в оточуючому середовищі, повинно відповідати вимогам Рекомендації МСЕ-Т К.60.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ ДО ЧАСТИНИ 1

1. *Балашов В.А.* Технологии широкополосного доступа xDSL. Инженерно-технический справ очник / Балашов В.А., Лашко А.Г., Ляховецкий Л.М. – М.: Эко-Трендз, 2009. –256 с.

2. *Бакланов И.Г.* Технологии ADSL/ADSL2+: теория и практика применения / Бакланов И.Г. – М.: Метротек, 2007.

3. *Брискер А.С.* Городские телефонные кабели: Справочник / Брискер А.С., Руга А.Д., Шарле Д.Л. – М.: Радио и связь, 1984.

4. *Власов В.Е.* Кабели СКС на сетях электросвязи: теория, конструирование, применение / Власов В.Е., Парфенов Ю.А., Рысин Л.Г., Кайзер Л.И. – М.: Эко-Трендз, 2006.

5. *Горальски Вальтер.* Технологии ADSL и DSL / Горальски Вальтер. – М.: Изд-во „Лори", 2000.

6. *Гроднев И.И.* Линии связи / И.И. Гроднев, С.М. Верник. – М.: Радио и связь, 1988.

7. *Парфенов Ю.А.* Кабели электросвязи / Парфенов Ю.А. – М.: Эко-Трендз, 2003.

8. *Парфенов Ю.А.* Цифровые сети доступа. Медные кабели и оборудование / Ю.А. Парфенов, Д.Г. Мирошников. – М.: Эко-Трендз, 2005.

9. Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов: ГОСТ 12.1.038 ССБТ. – [Чинний від]. – К.: Держкомстандарт України, 2006. – 181 с. – (Національний стандарт України).

10. Городские симметричные телефонные кабели с медными жилами в свинцовой оболочке: ГОСТ 20802-75. – [Чинний від]. – К.: Держкомстандарт України, 2006. – 181 с. – (Національний стандарт України).

11. Городские телефонные кабели с полиэтиленовой изоляцией в пластмассовой оболочке: ГОСТ 22498-77. – [Чинний від]. – К.: Держкомстандарт України, 2006. – 181 с. – (Національний стандарт України).

12. Кабели телефонные, кабели с полиэтиленовой изоляцией в пластмассовой оболочке: ГОСТ Р 51311-99. – [Чинний від]. – К.: Держкомстандарт України, 2006. – 181 с. – (Національний стандарт України).

13. Технічні засоби телекомунікацій. Напруги живлення. Загальні вимоги та методи вимірювань: ГСТУ 45.022-2001. – [Чинний від]. – К.: Держкомстандарт України, 2006. – 181 с. – (Національний стандарт України).

14. Линии кабельные, воздушные и смешанные городских телефонных сетей. Нормы электрические эксплуатационные: ОСТ 45.36-97. – [Чинний від]. – К.: Держкомстандарт України, 2006. – 181 с. – (Національний стандарт України).

15. Сеть телефонная городская. Линии абонентские кабельные с металлическими жилами. Нормы эксплуатационные: ОСТ 45.82-96. – [Чинний від]. – К.: Держкомстандарт України, 2006. – 181 с. – (Національний стандарт України).

16. Сеть телефонная сельская. Линии абонентские кабельные с металлическими жилами. Нормы эксплуатационные: ОСТ 45.83-96. – [Чинний

від]. – К.: Держкомстандарт України, 2006. – 181 с. – (Національний стандарт України).

17. ВБН В.2.2-45-1-2004. Відомчі будівельні норми України. Проектування телекомунікацій. Лінійно-кабельні споруди.

18. ДБН А.2.2-1-2003 Проектирование. Состав и содержание материалов оценки воздействия на окружающую среду (ОВОС) при проектировании и строительстве предприятий, зданий и сооружений. Основные положения проектирования.

19. ДНАОП 5.2.30-1.07.96. Правила безпеки при роботах на кабельних лініях зв'язку і проводового мовлення.

20. ДНАОП 5.2.30-1.08.96. Правила безпеки при роботах на телефонних і телеграфних станціях.

21. ДНАОП 0.00-1.32-01. Правила побудови електроустановок. Електрообладнання спеціальних установок. – К.: Укрархбудінформ, 2006.

22. РД 45.120-2000. Нормы технологического проектирования. Городские и сельские телефонные сети.

23. Руководство по строительству линейных сооружений местных сетей связи. – М.: ССКТБ-ТОМАСС, 1996.

24. Руководство по эксплуатации линейно-кабельных сооружений местных сетей связи. – М.: Информсвязь, 1998.

25. Рекомендация ITU-T МСЭ-Т G.961. Digital transmission system on metallic local lines for ISDN basic access (Цифровая система передачи на металлических линиях для доступа на базовой скорости ЦСИС).

26. Рекомендация ITU-T МСЭ-Т G.902 Framework Recommendation on functional access networks. Architecture and functions, access types, management and service node access (Базовая Рекомендация по функциональным сетям доступа. Архитектура и функции, типы доступа, доступ к узлу управления и услуг).

27. Рекомендация ITU-T МСЭ-Т G.991.1 High bit rate Digital Subscriber Line (HDSL) transceivers (Приемопередатчики высокоскоростной цифровой абонентской линии (HDSL)).

28. Рекомендация ITU-T МСЭ-Т G.991.2 Single-pair high-speed digital subscriber line (SHDSL) transceivers (Приемопередатчики однопарной высокоскоростной цифровой абонентской линии (SHDSL)).

29. Рекомендация ITU-T МСЭ-Т G.992.1 Asymmetrical digital subscriber line (ADSL) transceivers (Приемопередатчики асимметричной цифровой абонентской линии (ADSL)).

30. Рекомендация ITU-T МСЭ-Т G.992.2 Splitterless asymmetric digital subscriber line (ADSL) transceivers (Приемопередатчики асимметричной цифровой абонентской линии (ADSL) без сплиттера)).

31. Рекомендация ITU-T МСЭ-Т G.992.3 Asymmetric digital subscriber line transceivers 2 (ADSL2) (Приемопередатчики асимметричной цифровой абонентской линии 2 (ADSL2)).

32. Рекомендация ITU-T МСЭ-Т G.992.4 Splitterless asymmetric digital subscriber line transceivers 2 (splitterless ADSL2) (Приемопередатчики асимметричной цифровой абонентской линии без сплиттера 2).

33. Рекомендация ITU-T МСЭ-Т G.992.5 Asymmetrical Digital Subscriber Line (ADSL) transceivers – Extended bandwidth ADSL2 (ADSL2+) (Приемопередатчики асимметричной цифровой абонентской линии – расширенная полоса частот ADSL2 (ADSL2+)).

34. Рекомендация ITU-T МСЭ-Т G.993.1 Very high speed digital subscriber line transceivers (Приемопередатчики сверхвысокоскоростной цифровой абонентской линии).

35. Рекомендация ITU-T МСЭ-Т G.993.2 Very high speed digital subscriber line transceivers 2 (VDSL2) (Приемопередатчики сверхвысокоскоростной цифровой абонентской линии (VDSL2)).

36. Рекомендация ITU-T МСЭ-Т G.995.1 Overview of digital subscriber line (DSL) Recommendations (Обзор Рекомендаций по цифровым абонентским линиям (DSL)).

37. Рекомендация ITU-T МСЭ-Т G.996.1 Test procedures for digital subscriber line (DSL) transceivers (Процедуры тестирования приемопередатчиков цифровой абонентской линии (DSL)).

38. Рекомендация ITU-T МСЭ-Т G.997.1 Physical layer management for digital subscriber line (DSL) transceivers (Управление на физическом уровне для приемопередатчиков цифровых абонентских линий).

39. Рекомендация ITU-T МСЭ-Т L.19 Multi-pair copper network cable supporting shared multiple services such as POTS, ISDN and xDSL (Многопарные медные сетевые кабели, обеспечивающие одновременную работу нескольких служб, таких как POTS, ISDN и xDSL).

40. Рекомендація МСЕ-Т K.9 Protection of telecommunication staff and plant against a large earth potential due to a neighboring electric traction line (Захист персоналу зв’язку і підприємств від великих потенціалів у ґрунті, що виникають через високовольтні лінії).

41. Рекомендація МСЕ-Т K.20 Resistibility of telecommunication switching equipment to overvoltage’s and overcorrects (Захист комутаційного обладнання від перенапруг і великих струмів).

42. Рекомендація МСЕ-Т K.21 Resistibility of subscriber's terminal to overvoltage’s and overcorrects (Захист обладнання абонентів від перенапруг і великих струмів).

43. Рекомендація МСЕ-Т K.45 Resistibility of telecommunication equipment installed in the access and trunk networks to overvoltage’s and overcorrects (Захист обладнання зв’язку, установленого на мережі доступу і транспортній мережі від перенапруги і великих струмів).

44. Рекомендація МСЕ-Т K.60 Emission limits and test methods for telecommunication networks (Обмеження на випромінювання і методи тестування для мереж зв’язку).

45. Рекомендація МСЕ-Т K.66 Protection of customer premises from overvoltage’s (Захист абонентського обладнання від перенапруг).

46. ANSI T1.417 – 2001. American National Standard for Telecommunications. – Spectrum Management for Loop Transmission Systems (Управление спектром для систем передачи по абонентским линиям).

47. ETSI TR 101 830 -2v.1.1.1. Technical Report. Transmission and multiplexing (TM); Access networks; Spectral management on metallic access networks; Part 2: Technical methods for performance evaluation (Передача и мультиплексирование; Сети доступа. Управление спектром на сетях доступа, построенных на кабелях с металлическими жилами; Часть:. Технические методы для оценки характеристик).

48. Сети и телекоммуникации. – № 12. – 2011.

ЧАСТИНА 2
ПРОЕКТУВАННЯ ОПТИЧНОЇ МЕРЕЖІ ДОСТУПУ

На даний час найпоширенішим у світі видом широкосмугового доступу (ШД) є xDSL-доступ, що використовує добре розвинену мережу абонентських ліній (АЛ) місцевої телефонної мережі. Але застосування xDSL-технологій на всій протяжності мережі доступу (МД) від точки присутності оператора до точки присутності абонента є тільки тимчасовим рішенням: економія на використанні існуючих лінійних споруд обертається принциповими обмеженнями у швидкості передавання цифрових потоків – прокладені багатопарні мідні кабелі типу ТПП від початку були розраховані на роботу в низькочастотному спектрі, крім того, існує значна проблема взаємних впливів між парами, посилена умовами їх експлуатації. Тому реально xDSL-модеми можуть працювати з максимальною швидкістю тільки по кількох парах у багатопарному кабелі на обмеженій відстані.

Найпоширеніша на сьогодні xDSL-технологія – ADSL2+ вже зараз перебуває «на межі» вимог користувачів: популярна останнім часом концепція «тріади послуг» (Triple Play) передбачає надання користувачам телефонії, передачі даних і відеоінформації через одну мережу. При доступі до мережі Інтернет потрібно мати швидкість передавання 1…2 Мбіт/с, а для потокового відео зі стандартною роздільною здатністю (SDTV) – 4...6 Мбіт/с (в MPEG-2). Цим практично і вичерпуються можливості модема при невеликій відстані до абонента. А попит на широкосмуговий доступ продовжує підвищуватися та визначається розвитком нових технологій: відео за запитом (VOD), потокове відео, інтерактивні ігри, відеоконференції, передача голосу в комп'ютерних мережах (VoIP), телебачення високої чіткості (HDTV) й інші. Так, при передачі сигналів HDTV потрібне забезпечення швидкості передавання 20 Мбіт/с (в MPEG-2) або 9 Мбіт/с (в MPEG-4) для одного ТБ каналу. Такий попит може задовольнити технологія VDSL2, яка дозволяє досягти швидкості передавання до 100 Мбіт/с, але на відстані у кілька сотень метрів.

Слід зазначити, що технології xDSL продовжують розвиватися у напряму збільшення швидкості передавання, так вже зараз проходить тестування перший дослідний зразок системи передачі Giga DSL, який дозволяє досягти швидкості 1 Гбіт/с у прямому та зворотному напрямах по одній парі на відстані 100 м та 500 Мбіт/с на відстані 200 м.

Отже, xDSL-технології хоч і підтримують високі швидкості передавання, але лише на невеликій відстані, яка обмежується розподільною ділянкою мережі доступу, а саме приміщення абонента – розподільна шафа. Тому виникає питання, як забезпечити передавання інформації з високою швидкістю далі до точки присутності оператора. Відповідь на це питання одна – побудова оптичних мереж доступу. Зараз розвиваються та конкурують між собою кілька технологій оптичного доступу, тому при виборі технології доступу оператори повинні враховувати потреби користувачів, їх розташування, різні економічні аспекти. Проектована мережа повинна бути гнучкою, надійною, керованою, масштабованою, зручною в експлуатації.

Таким чином, застосування оптичних рішень на мережах доступу стає єдиним підходящим способом організації широкосмугового фіксованого доступу. Вже зараз, використовуючи оптичні технології Passive Optical Network, Active Ethernet та Micro SDH, проектування яких розглядається у частині 2, можлива організація високошвидкісних потоків зі швидкістю передавання до 10 Гбіт/с. А застосування технологій хвильового мультиплексування дозволить передавати такі потоки на кожній з кількох оптичних несучих.

Застосування гібридних волоконно-коаксіальних технологій (HFC), проектування яких розглядається у частині 3, добре себе проявили в мережах кабельного телебачення (КТБ). Впровадження оптичної мережі на магістралі в поєднанні з існуючою розподільною внутрішньобудинковою мережею на коаксіальному кабелі успішно застосовуються операторами КТБ.

6. ВАРІАНТИ ПОБУДОВИ, СТРУКТУРА ТА ТЕХНОЛОГІЇ ОПТИЧНИХ МЕРЕЖ ДОСТУПУ

6.1. Варіанти побудови оптичних мереж доступу FTTx

FTTx (*fiber to the x* – оптичне волокно до точки *x*) – це загальний термін, що означає технологію організації оптичних мереж доступу (ОМД), за якої від мережного вузла зв'язку (точки присутності оператора) до певного місця (точка *x*) доходить волоконно-оптичний кабель, а далі до абонента йде мідний кабель [1]. Отже, технологія організації ОМД FTTx припускає наявність ділянки з розподільними мідними кабелями, але чим вона коротша, тим більше пропускна здатність мережі.

Існує кілька варіантів реалізації FTTx (рис.6.1):

FTTH – Fiber To The Home (доведення волокна до квартири);

FTTB – Fiber To The Building (доведення волокна до будівлі);

FTTO – Fiber To The Office (доведення волокна до офісу);

FTTC – Fiber To The Curb (доведення волокна до кабельної шафи);

FTTCab – Fiber To The Cabinet (аналог FTTC, різниця полягає у тому, що кабельна шафа розміщується не на вулиці біля стіни будівлі, а у спеціально обладнаному приміщенні – Cabinet);

FTTR – Fiber To The Remote (доведення волокна до віддаленого модуля, концентратора);

FTTN – Fiber to the Node (доведення волокна до мережного вузла);

FTTOpt – Fiber To The Optimum (доведення волокна до оптимального пункту);

FTTP – Fiber To The Premises (доведення волокна до точки присутності клієнта).

Ці варіанти можна поділити на чотири групи, які характеризують ступінь проникнення волокна на мережі доступу (наскільки близько до термінала

користувача підходить оптичний кабель) та відповідно довжину розподільного мідного кабелю:

– FTTN – волокно доведено до оптичного мережного блока (ONU – optical network unit), який знаходиться від термінала клієнта на відстані понад 500 м (звичайно це мережний вузол місцевої транспортної мережі – приміщення комутаційної станції, в якому розміщується DSLAM);

– FTTC – волокно доведено до оптичного мережного блока, який знаходиться від термінала клієнта на відстані менше 500 м (звичайно це розподільна шафа, точка розмежування магістральної та розподільної ділянки телефонної мережі, де розміщується виносний модуль комутації, концентратор або DSLAM);

– FTTB/O – волокно доведено до оптичного мережного блока, який знаходиться від термінала клієнта на відстані менше 100 м (зазвичай це спеціально обладнане місце, що знаходиться на цокольному поверсі або горищі житлового будинку чи офісу);

– FTTH – волокно доведено до приміщення клієнта, тобто ONT (optical network terminal) – індивідуальний термінал кожного клієнта, а мідна ділянка абонентської лінії (АЛ) відсутня.

Дамо характеристику кожному із наведених варіантів FTTx.

FTTN доцільно використовувати там, де існує розподільна «мідна» інфраструктура і прокладання оптоволокна нерентабельне. Для цього варіанта характерна невисока якість надаваних послуг, обумовлена суттєвим обмеженням за швидкістю і кількістю підключень в одному кабелі, у зв'язку зі специфічними проблемами багатопарних мідних кабелів (магістральна ділянка телефонної мережі), що лежать у телефонній каналізації. Довжина мідної ділянки АЛ достатньо велика, тому для надання послуг широкосмугового доступу в цьому варіанті передбачається застосування оптичних технологій разом з технологіями xDSL (ADSL або VDSL).

У випадку з FTTC, здебільшого, використовуються мідні кабелі, прокладені всередині будівель, тому невелика протяжність мідної ділянки абонентської дозволяє досягти більш високої швидкості передавання.

FTTC у першу чергу доцільно застосовувати операторам, що вже використовують технології xDSL, і операторам кабельного телебачення: реалізація цієї архітектури дозволить їм з меншими витратами збільшити кількість обслуговуваних користувачів та смугу пропускання, що виділяється кожному з них.

У даному випадку оптимальним варіантом буде поєднання оптичних технологій та VDSL, але є випадки коли деякі невеликі оператори використовують концепцію FTTC для будівництва Ethernet-мереж (для переходу від «оптики» до «міді» в цьому випадку застосовуються медіаконвертери).

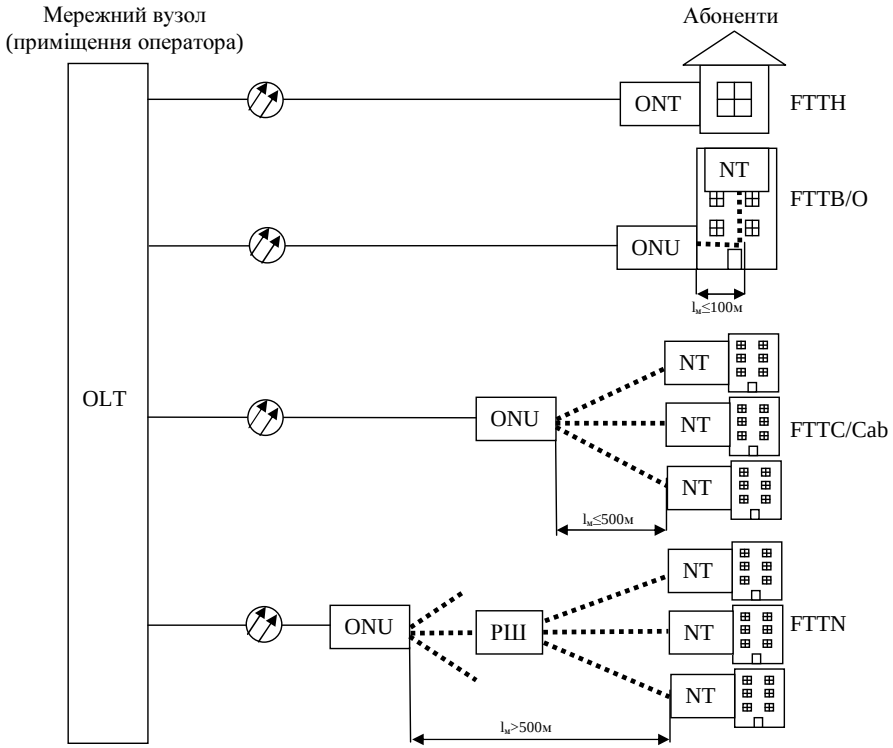


Рис. 6.1. Варіанти побудови оптичних мереж доступу FTTx

Варіант FTTB вирішує задачу підведення оптики до багатоквартирних будинків або офісів. Розведення всередині будинку потрібно виконувати кабелем типу «вита пара» за технологією Ethernet (переважно) або VDSL. Даний варіант завдяки коротким мідним лініям забезпечує високими швидкостями доступу для підключення до операторів, що надають Інтернет-послуги для офісних центрів або Triple Play для житлового багатоквартирного сектору.

Варіант доступу FTTH є найбільш витратним, але у той самий час і найбільш перспективним, серед усіх типів доступу FTTx, тому що забезпечує найбільшу смугу пропускання, а тому цей варіант повною мірою може задовольнити зростаючі потреби користувачів в обміні інформацією.

Вибір технології FTTx побудови ОМД залежить від безлічі умов, в першу чергу – від наявності існуючої мідної розподільної інфраструктури, щільності розміщення абонентів та їх платоспроможності. Орієнтовно можна зазначити, що варіант FTTH слід застосовувати в елітних котеджних і нових багатоквартирних забудовах та бізнес-центрах, які характеризуються великими необхідними швидкостями доступу та високою платоспроможністю. Варіант FTTB буде вдалим у багатоквартирній забудові зі значною щільністю населення та їх середньою платоспроможністю. Технологію FTTC/FTTN доцільно застосовувати у малоповерховій, не елітній житловій і дачній забудові, які характеризуються малою концентрацією користувачів, невеликим попитом на високі швидкості доступу та за наявності існуючої розподільної «мідної» інфраструктури.

Треба зазначити, що FTTx – це тільки фізичний рівень оптичних технологій доступу. Проте фактично дане поняття охоплює і велике число технологій канального і мережного рівнів, таких як SDH, Ethernet та PON.

6.2. Технології оптичних мереж доступу

На оптичних мережах доступу можуть використовуються наступні технології [3, 4, 12]:

– мікро-мережа SDH (Micro-SDH);

– активні мережі Ethernet (Active Ethernet, AE, EFMF);

– пасивні оптичні мережі (Passive Optical Network, PON);

– гібридні волоконно-коаксіальні мережі (Hybrid Fiber Coax, HFC).

Розглянемо особливості будівництва оптичних мереж на базі даних технологій, за виключенням останньої, яка докладно розглядається у третій частині навчального посібника.

6.2.1. Технологія оптичного доступу мікро-SDH

У цьому варіанті будівництва ОМД у приміщенні оператора (на станції, мережному вузлі) установлюється транспортна платформа SDH, яка має модульну структуру та розміщується на стандартному стояку у шасі U19” (при цьому в одному конструктиві може розміщуватися кілька систем SDH). Зв'язок з абонентами здійснюється на рівні STM-1 або 4, а для зв’язку з транспортною мережею застосовується STM більш високого рівня (4/16). На стороні абонентів найчастіше розміщуються одноплатні мультиплексори розміром 1 U19” (MiniRack), рідше більш потужні мультиплексори розміром 3 U19” рівня STM-1/4 з інтеграцією Fast Ethernet та каналів E1 (рис. 6.2). При побудові мережі доступу зазвичай використовують топологію «кільце» (рідше «точка-точка» або «лінійна»).

Застосування технології мікро-SDH є доцільним у наступних випадках:

– бізнес-сектор, де є потреба у передаванні TDM-трафіка, тобто наданні доступу по цифрових потоках E1, E3, STM-1 та паралельно з цим потрібно організувати підключення локальних мереж по Ethernet 10/100 Мбіт/с – при цьому застосовується варіант будівництва оптичної мережі FTTO, тобто обладнання мікро-SDH розміщується у приміщенні корпоративних абонентів, що спрощує організацію електроживлення та захист від несанкціонованого доступу до обладнання;

– побудова оптичної мережі при модернізації існуючої або побудові нової телефонної мережі загального користування, коли район обслуговування АТС розбивається на зони, в центрі яких розміщуються виносні модулі комутації (ВМК) та DSLAM, зв'язок АТС з ВМК організується по ВОК на базі обладнання мікро-SDH – такий варіант відповідає варіанту побудови оптичної мережі FTTC/Cab/R.

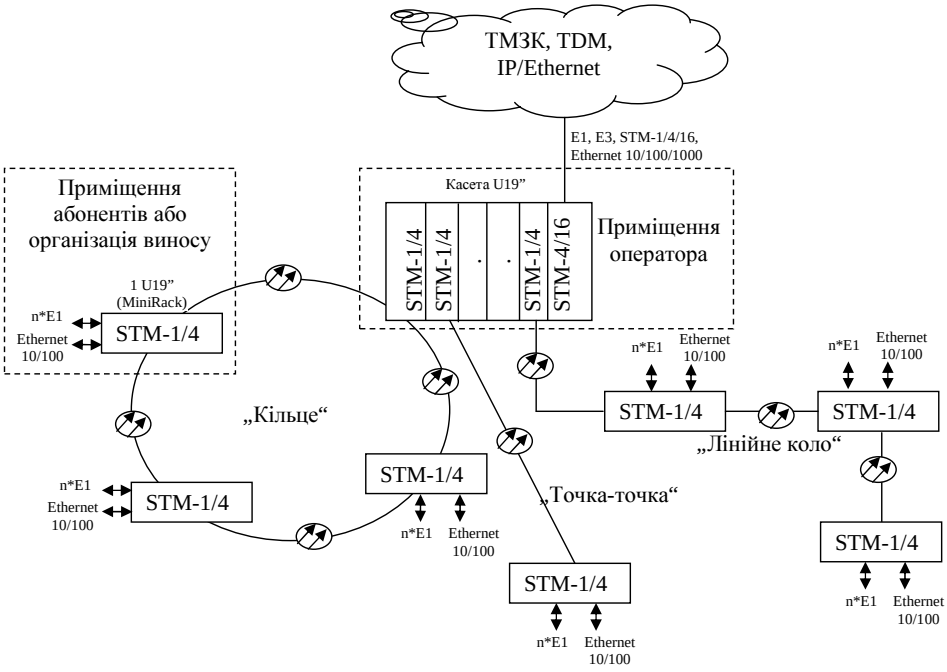


Рис. 6.2. Побудова ОМД на базі технології мікро-SDH

6.2.2. Технологія активних оптичних мереж Ethernet

В оптичних активних мережах Ethernet застосовуються топології «точка-точка» або «дерево з активними вузлами» – це відповідає концепції будівництва мереж Ethernet на останній (першій) милі EFMF (Ethernet in First Mile Fiber, Point-to-point fiber) [4, 12].

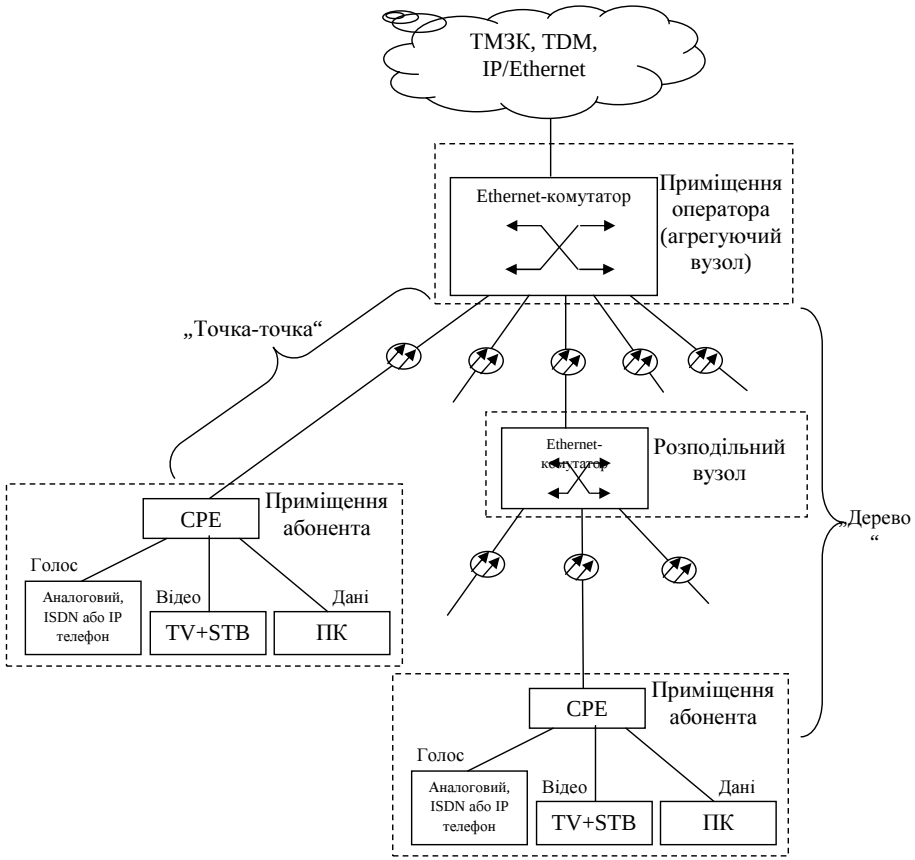
На рис. 6.3 представлені можливі схеми застосування технології Ethernet.

Обов'язковий елемент архітектури активної оптичної мережі Ethernet – центральний агрегуючий вузол (потужний Ethernet-комутатор) з інтерфейсами, відповідними специфікації 802.3ah, безпосередньо до якого по оптиці може підключатися користувач (топологія «точка-точка»), або між агрегуючим вузлом і користувачем може бути присутнім необов'язковий елемент даної архітектури (топологія «дерево») – розподільний вузол (менш потужний ніж на центральному вузлі Ethernet-комутатор), який розташовується в зоні обслуговування центрального вузла для більш ефективного використання оптичного волокна або в будівлі, де знаходиться абонент і з'єднується з ним по внутрішній мідній або оптичній проводці. Специфікація 802.3ah передбачає можливість роботи оптичних інтерфейсів у розширеному діапазоні температур, тому розподільний і агрегуючий вузли можуть також розміщуватися і у вуличних шафах. Пристроєм користувача (CPE - Customer Premises Equipment) може бути Ethernet-комутатор або домашній шлюз (residental gateway), що має на додаток до Ethernet ще аналогові або ISDN BRI інтерфейси і підтримує VoIP протоколи з сигналізаціями H.323, SIP або MGCP. Якщо оператор забезпечує трансляцію відеоконтенту, то для його перегляду на телевізорі необхідний IP STB (Set-Top-Box), який декодує, стислий відеопотік, що надходить у вигляді IP пакетів.

Практика побудови мереж доступу показала, що:

– активні мережі Ethernet найбільш ефективні за варіантом доступу FTTB (точніше, «волокно до під'їзду») для підключення приватних абонентів при новому будівництві, при якісній кабельній інфраструктурі, коли немає необхідності сильно економити волокна і якщо є можливість розміщення та організації електроживлення активного обладнання та за варіантом FTTO для підключення корпоративних абонентів, які вимагають організації виділених оптичних ліній;

– також доцільно застосовувати Ethernet за технологією FTTC для підключення до мережі DSLAM, які зазвичай мають вбудовані Ethernet-комутатори.



CPE – Customer Premises Equipment, пристрій користувача;
STB – Set-Top-Box, телевізійна приставка;
ПК – персональний комп’ютер;
– волоконно-оптичний кабель.

Рис. 6.3. Побудова ОМД на базі технології Active Ethernet

6.2.3. Технології пасивних оптичних мереж доступу

Однією з важливих переваг PON (Passive Optical Network) є можливість надання споживачу всіх послуг (голос, Інтернет, телебачення – концепція Triple Play) по одному оптичному волокну [5]. Технологія PON надає найбільш гнучкі можливості використання оптичних волокон, забезпечуючи, зокрема, передавання телевізійного сигналу на окремо виділеній оптичній піднесучій 1550 нм, при цьому IP-канал вільний для передачі Інтернет-трафіка та голосу.

На відміну від активних мереж, технологія пасивних оптичних мереж передбачає створення розгалуженої мережі (переважно топології «дерево», іноді «зірка» або «променева») без активних компонентів – на пасивних оптичних розгалужувачах (ОР) (рис. 6.4). Для «дерева» характерно кілька каскадів ОР, а для «зірки» та «променевої» – лише один ОР (у першому випадку ОР розміщується на головній станції, а у другому – ОР винесено максимально близько до району концентрації абонентів).

Передавання і приймання в обох напрямах здійснюється по одному оптичному волокну: у прямому потоці/напряму (від станції до абонента) використовують довжину хвилі 1490 нм, а у зворотному (від абонента до станції) – 1310 нм, довжина хвилі 1550 нм виділяється для передавання всім абонентам телевізійного сигналу. На станції установлюється оптичний мультиплексор WDM для об'єднання відеосигналу (1550 нм) та цифрового сигналу прямого (1490 нм) і зворотного (1310 нм) напрямів передавання.

У сімействі технологій PON існує кілька різновидів, що відрізняються, в першу чергу, базовим протоколом передавання. На даний час широко застосовується дві технології: GPON (Gigabit-capable PON, за Рекомендацією ITU-T G.984) [9] та GEPON (Gigabit Ethernet PON, за стандартом IEEE 802.3ah).

Порівняння технологій GPON та GEPON показує, що кожна з них має свої переваги та недоліки. Якій технології віддати перевагу проектувальник мережі визначає виходячи з вихідних даних які задані на проектування. Окреслимо основні відмінності технологій GPON та GEPON:

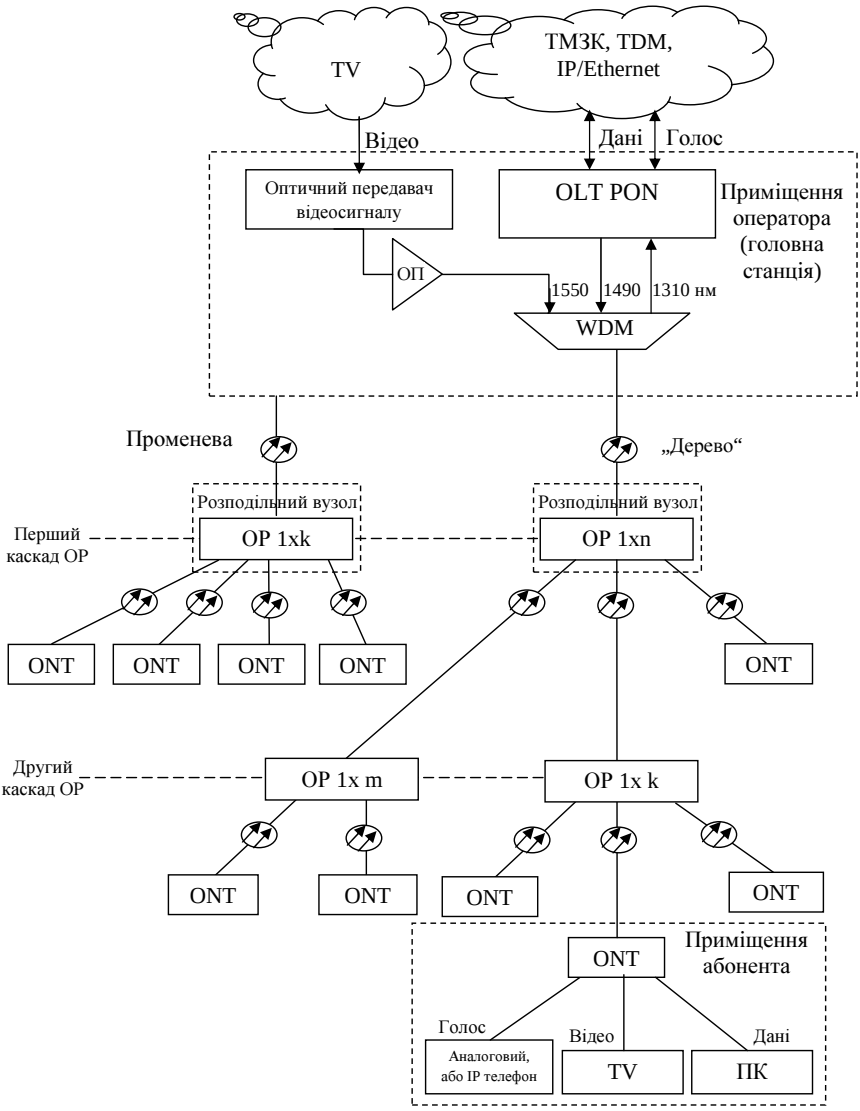
– GEPON орієнтована на IP-трафік, тому виникають складнощі при взаємодії з іншими технологіями (в першу чергу при передачі TDM-трафіка), у той час як GPON підтримує стандартний TDM-трафік;

– з іншого боку, GPON має складну рівневу систему Ethernet/GEM/GTC інкапсуляції, що ускладнює управління, а у GEPON передаються вихідні Ethernet-пакети, що визначає просте і недороге управління;

– GPON має більшу швидкість передавання та більший енергетичний потенціал, що зумовлює можливість побудови більш потужної та розгалуженої мережі порівняно з GEPON.

Отже, якщо потрібно побудувати невелику чи середніх розмірів мережу, орієнтовану на IP-трафік та IPTV з мінімальними витратами, то застосувати треба технологію GEPON; при побудові великих та розгалужених мереж з потребою передавання, як IP-трафіка, так і TDM-трафіка, застосувати треба технологію GPON.

Технологія PON – це рішення операторського класу, її переваги порівняно з активними мережами починають виявлятися при реалізації великих проектів, коли кількість ONT перевищує кілька тисяч. При малих розмірах мережі, коли кількість терміналів рахується сотнями, не виявляються повною мірою переваги PON, а при дуже малих (менше сотні ONT) – ми маємо навіть програш, що зумовлено капітальними витратами центрального вузла і не настільки явно вираженою економією на пасивній інфраструктурі та зниженні експлуатаційних витрат.



OLT PON – станційне обладнання технології PON;

ONT – абонентське обладнання технології PON;

ПК – персональний комп'ютер;

ОР – оптичний розгалужувач;

ОП – оптичний підсилювач;

WDM – спектральний мультиплексом;

– волоконно-оптичний кабель.

Рис. 6.4. Побудова ОМД на базі технологій PON

Отже, застосування технології PON доцільно у наступних випадках:

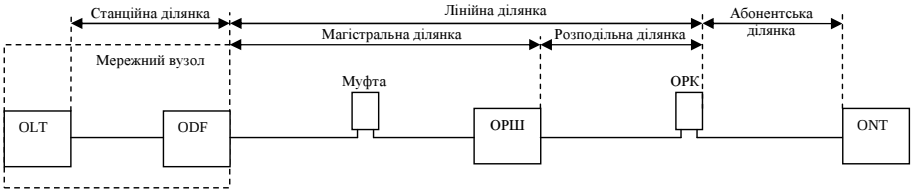
– варіант FTTH, де максимально виявляються переваги пасивних оптичних мереж – відсутність активних елементів у мережі і спільне використання ресурсів (портів, волокон) значно знижує операційні витрати на експлуатацію та технічне обслуговування, електроживлення та оренду площ – у цьому випадку застосовуються індивідуальні оптичні термінали ONT, в яких інтегровані абонентські інтерфейси: 10/100/1000Ethernet, POTS-FXS, RF-Video (кількість інтерфейсів Ethernet та POTS коливається від одного до чотирьох);

– варіант FTTB/O для підключення групи приватних абонентів багатоквартирного житлового будинку або корпоративних абонентів, як великого (BUSINESS), так і малого бізнесу (SOHO) – в цьому випадку застосовуються групові оптичні блоки ONU, в яких інтегровані абонентські інтерфейси: 10/100/1000Ethernet, POTS-FXS, RF-Video, VDSL2 та E1 (кількість інтерфейсів Ethernet, VDSL2 та POTS може доходити до 24, що достатньо для 100% підключення одного під'їзду шестиповерхового будинку);

– наявність інтерфейсів VDSL2 у ONU дає можливість застосовувати технологію PON у варіанті доступу FTTC без застосування у шафі додаткового обладнання (DSLAM) за малої щільності абонентів.

6.3. Структура оптичної мережі доступу

У загальному вигляді, оптичну мережу FTTx (рис.6.5) можна поділити на три основні частини:



OLT – станційне активне обладнання;
ONT – абонентське активне обладнання;
ODF – оптичний крос;
ОРШ – оптична розподільна шафа;
ОРК – оптична розподільна коробка.

Рис. 6.5. Структура оптичної мережі доступу

– станційна ділянка – це ділянка в приміщенні головної станції (зазвичай ГС розміщується в приміщенні АТС) від станційного активного обладнання OLT до оптичного кросу ODF;

– абонентська ділянка – це розводка абонентським ОК одно- або двоволоконним кабелем (дроп-кабелем) від елементів спільних розподільних пристроїв до оптичної розетки та абонентського активного обладнання ONT у приміщенні абонента або групового активного обладнання ONU в офісі

корпоративного клієнта чи в зоні концентрації групи абонентів (абонентська ділянка присутня у варіанті FTTH та в деяких випадках у варіанті FTTB);

– лінійна ділянка – включає в себе волоконно-оптичний кабель, розподільні пристрої, оптичні розгалужувачі (ОР), з'єднувачі (конектори) на всьому проміжку між станційною та абонентською ділянкою (у варіантах FTTN/C та в деяких випадках FTTB на абонентській стороні лінійна ділянка закінчується в точці підключення активного обладнання ONU).

Лінійна ділянка у свою чергу складається з двох частин:

– магістральна ділянка – це кабель, що прокладається в каналах телефонної каналізації або ПЛЗ від кросу ODF на ГС у напрямку зони концентрації абонентів та закінчується розподільним пристроєм (оптична розподільна шафа – ОРШ або спеціальна габаритна муфта зі швидким доступом до вмісту); зазвичай в ОРШ розміщується перший (або єдиний) каскад оптичних розгалужувачів;

– розподільна ділянка – це кабель, що прокладається від ОРШ у напряму до абонентських пристроїв та закінчується, в залежності від варіанта будівництва мережі FTTx, в оптичній розподільній коробці (ОРК) або Y-подібному відгалуженні, останньому каскаді оптичних розгалужувачів чи у точці підключення активного обладнання ONU.

7. ПРОЕКТУВАННЯ ОПТИЧНОЇ МЕРЕЖІ ДОСТУПУ

7.1. Загальні підходи до проектування ОМД

Будь-яке проектування починається з видачі Замовником завдання, що містить вихідні дані для проектування (див. частину 1 п. 2.5):

1. Загальна кількість об'єктів, що будуть підключатися до мережі широкосмугового доступу (ШД) (квартир, офісів, підприємств, організацій) із зазначенням категорій абонентів (бізнес, котедж, багатоквартирні будинки, малоповерхова неелітна місцевість).
2. Прив'язка об'єктів до карти району, в якому проектується мережа.
3. Дані про існуючу телефонну мережу, план кабельної каналізації.
4. Дані з відсотка охоплення абонентів послугами ШД (дані надаються планово-економічними службами Замовника).
5. Дані за видами послуг, що плануються надавати за допомогою проектованої мережі (доступ до мережі Internet, IP-TV, CATV, телефонний зв'язок, передача TDM-трафіка, наприклад, цифрових потоків E1).

За отриманими вихідними даними проектування проводиться у наступній послідовності:

1. Визначення оптимальної технології організації оптичної мережі доступу FTTx.
2. Вибір конкретної технології ОМД, яка дозволить надавати повний спектр послуг, зазначених замовником.
3. Визначення топології будівництва мережі та трас проходження кабелю.
4. Розрахунок енергетичних параметрів ОМД
5. Розробка схеми організації зв'язку проектованої мережі. Перелік та кількість необхідного обладнання.

Вище наведено загальні підходи до проектування ОМД, коли проектувальнику надається можливість вибору оптимальної технології, яка, на його думку, найбільш ефективно дозволить виконати умови завдання. Але в більшості випадків Замовник у завданні сам вказує варіант будівництва FTTx та технологію ОМД (наприклад, GPON/FTTH або Ethernet/FTTB), при цьому навіть може вказуватися обладнання конкретного виробника.

7.2. Приклад вибору варіанта побудови оптичної ділянки мережі широкосмугового абонентського доступу

При модернізації існуючої або будівництві нової мережі широкосмугового абонентського доступу (див. частину 1 п.2.9) звичайно виконується розбиття території, що обслуговується автоматичною телефонною станцією (АТС) на зони обслуговування (рис. 7.1), в центрі яких розміщується виносний модуль комутації (ВМК) для забезпечення телефонним зв'язком абонентів та мультиплексор цифрових абонентських ліній (МЦАЛ, DSLAM) для надання широкосмугового доступу xSDL. Між АТС та виносами зв'язок

організується за допомогою волоконно-оптичних кабелів. Такий варіант побудови оптичної мережі відповідає технології FTTN/Cab/C.

Потрібно визначити застосування якої оптичної технології дозволить забезпечити ВМК зв'язок з АТС. Для організації транспортування телефонних сигналів потрібно застосовувати систему передачі, що підтримує передавання TDM-трафіка, наприклад, СП SDH – STM-1/4 (мережа мікро- SDH), при цьому логічно використовувати топологію «кільце», як показано на рис. 7.1. Для підключення МЦАЛ застосовується технологія Ethernet, як правило, МЦАЛ мають вбудовані Ethernet-комутатори з оптичними інтерфейсами, тобто оптичне волокно підключається безпосередньо до МЦАЛ через SFP-модуль, при цьому допускається каскадування МЦАЛ (вони можуть об'єднуватися один з одним, таким чином можливо побудувати мережу передавання даних будь-якої топології – «зірка», «лінійне коло», «кільце»). Схема організації зв'язку мережі має вид показаний на рис. 7.2. На рис. 7.3 та 7.4 відповідно наведені схеми організації зв'язку головної станції та ВМК.

У такому варіанті між вузлами мережі потрібно прокласти чотири-волоконний кабель (2 ОВ для STM та 2 ОВ для МЦАЛ). Розрахунок бюджету потужності (довжини регенераційної ділянки) при цьому проводиться так само як і для транспортних мереж, але тому що відстані між вузлами не перевищують 10 км (зазвичай це – 1…3 км), то потреби у такому розрахунку немає.

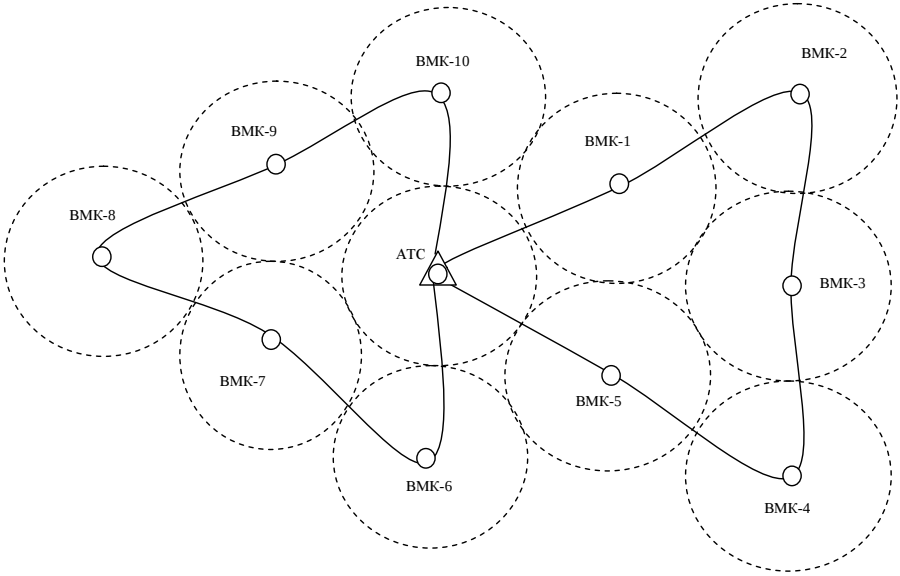


Рис. 7.1. Розбиття території, що обслуговується АТС, на зони обслуговування ВМК та визначення топології побудови ОМД

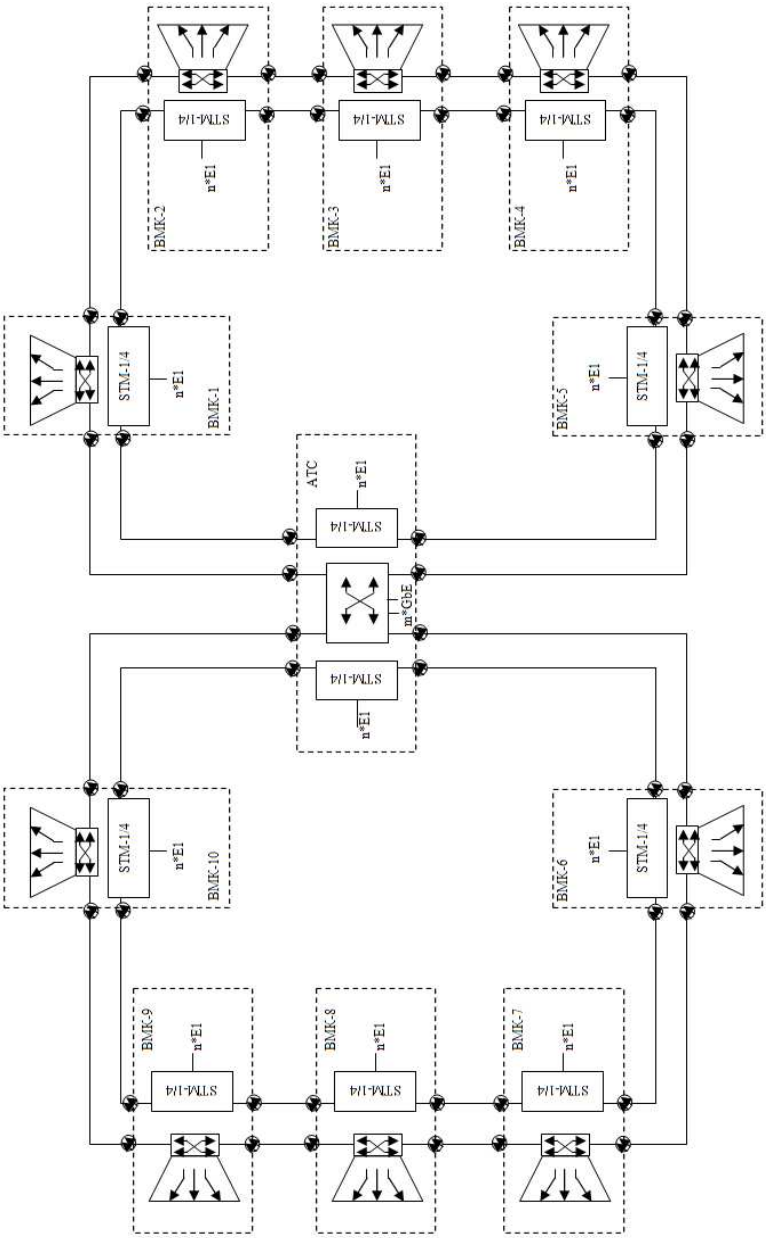


Рис. 7.2. Схема організації зв'язку проектованої оптичної мережі доступу

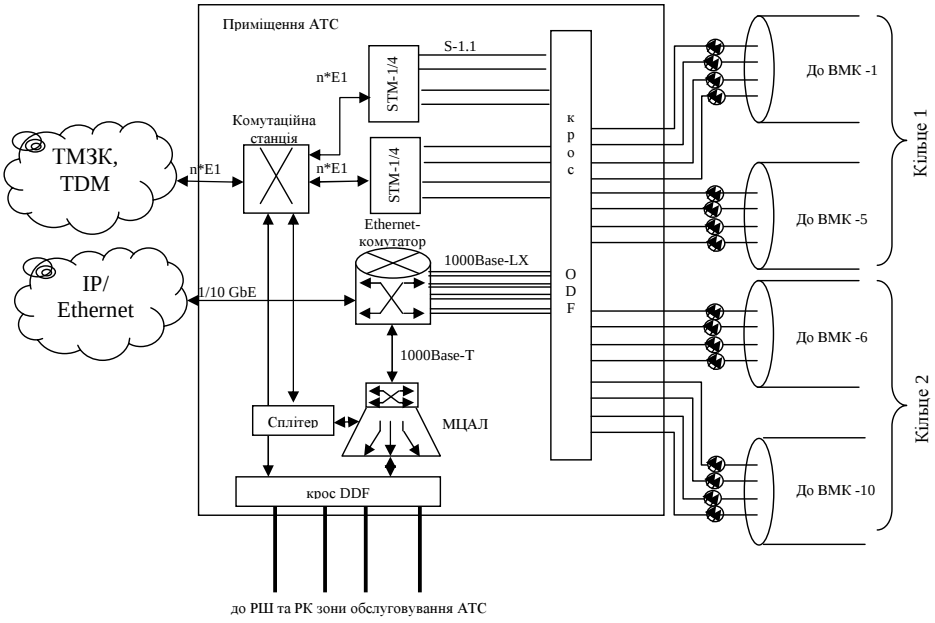


Рис. 7.3. Схема організації зв’язку головної станції (приміщення АТС)

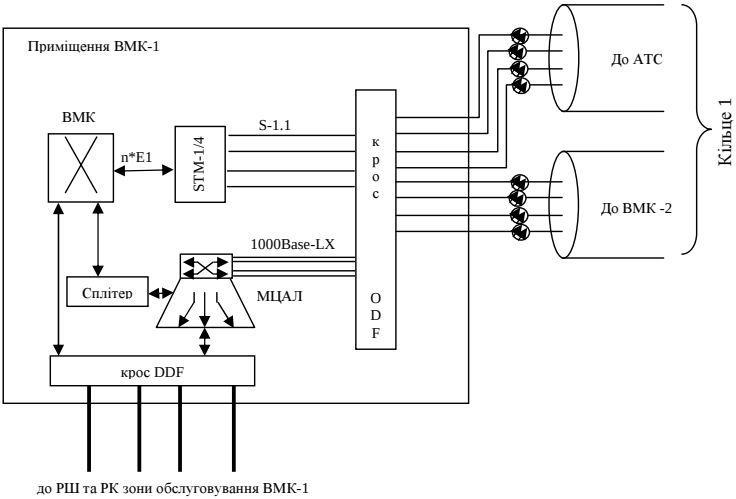


Рис. 7.4. Схема організації зв’язку ВМК-1

Іншим варіантом побудови даної мережі є застосування технології PON, а саме GPON, тому що потрібно забезпечити передавання TDM-трафіка (GEPON не забезпечує потрібну якість і термінальне обладнання не має інтерфейсів E1) [5].

Тому що відстані між вузлами невеликі, то для побудови мережі PON можна застосовувати топологію «зірка», але при цьому немає економії волокна, іншим варіантом є топологія «дерево» з двома каскадами оптичних розгалужувачів – перший каскад (один ОР-1 х 2) розміщується на станції, другий каскад (два ОР-1 х 5) розміщується в зоні концентрації ONU так, щоб мінімізувати довжину оптичного кабелю (рис. 7.5).

Схема організації зв'язку пасивної оптичної мережі доступу зображена на рис. 7.6. На відміну від першого варіанта побудови ОМД, при застосуванні PON використовується всього лише одне оптичне волокно, на стороні ВМК до якого підключається ONU, яке має інтерфейси E1 для підключення ВМК та GigabitEthernet для підключення МЦАЛ.

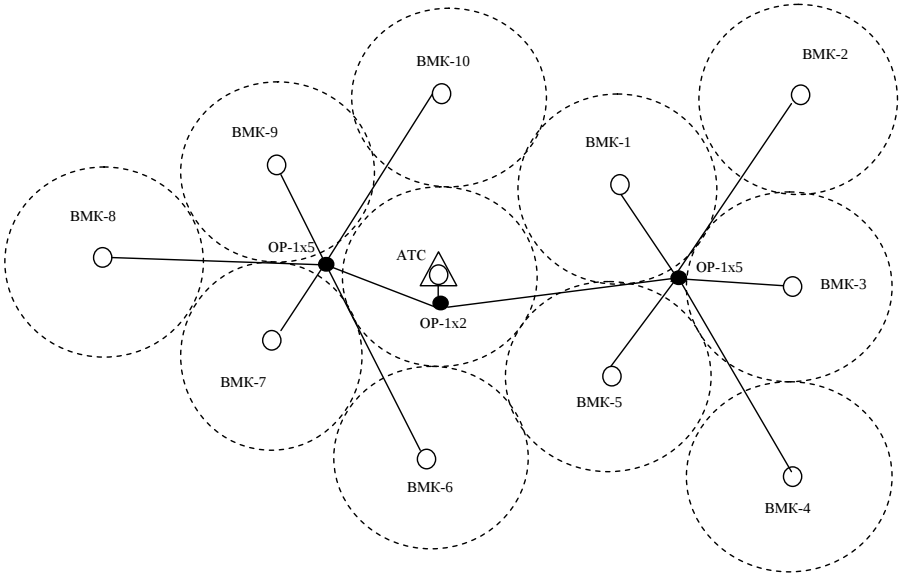


Рис. 7.5. Визначення топології побудови ОМД при застосуванні технології PON

7.3. Особливості проектування пасивних оптичних мереж доступу

Особливістю PON, порівняно з іншими оптичними технологіями, є використання оптичних розгалужувачів для підключення множини абонентських пристроїв до одного станційного. Оптичні розгалужувачі розподіляють вхідну оптичну потужність між вихідними портами, тобто, чим більше абонентських пристроїв підключено до мережі, тим більше згасання

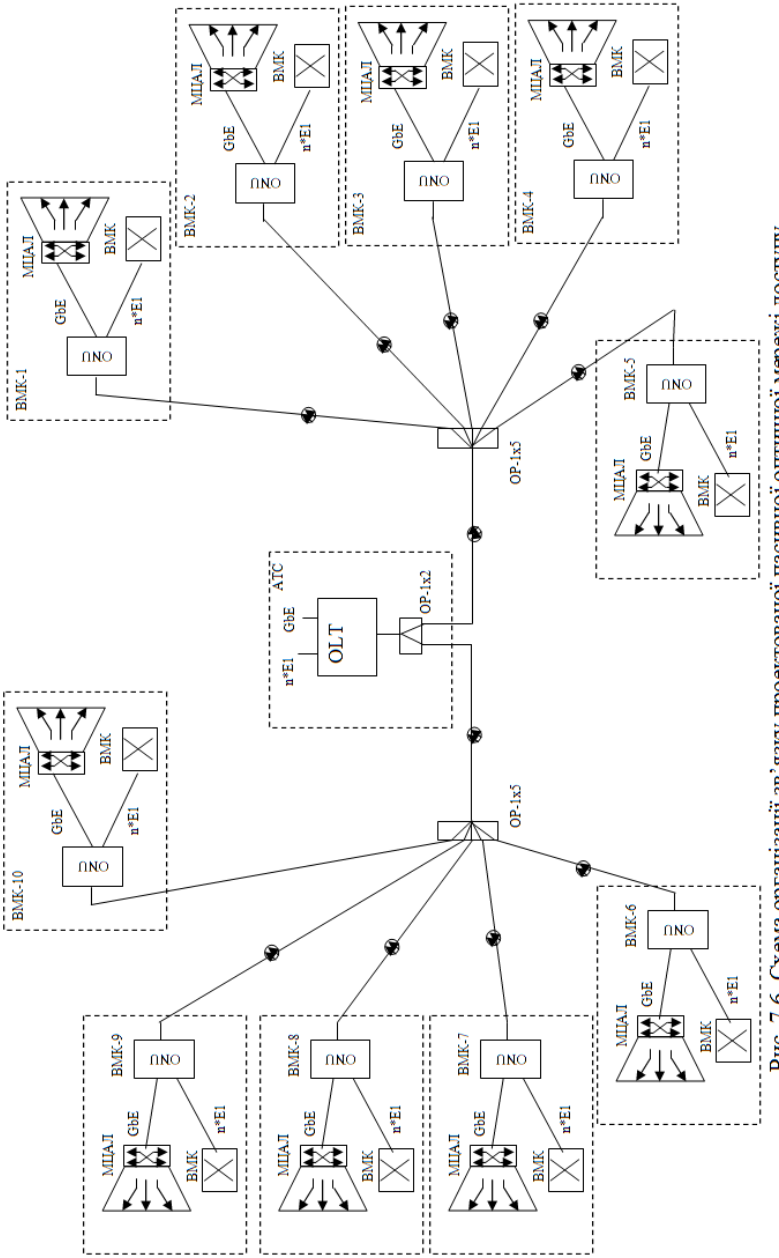


Рис. 7.6. Схема організації зв'язку проектованої пасивної оптичної мережі доступу

вносять ОР. Отже, між максимальною відстанню до абонентів та їх кількістю існує зв'язок – чим більше абонентів, тим менша максимальна дальність зв’язку. Це потребує розробки особливої методики розрахунку бюджету втрат оптичної мережі.

Задача проектування PON полягає у виконанні послідовності наступних операцій:

1. Вибір технології FTTx.

2. Визначення місць установлення ONU/ONT.

3. Вибір топології побудови мережі, місць встановлення оптичних розгалужувачів та їх тип.

4. Вибір трас проходження та типу волоконно-оптичного кабелю.

5.Розрахунок енергетичних параметрів ОМД: розрахунок бюджету втрат для кожної гілки (сегмента) мережі, визначення оптимальних коефіцієнтів розгалуження всіх ОР, визначення класу активного обладнання PON.

Вибір технології FTTx, якщо не оговорюється Замовником, то визначається згідно з рекомендаціями, вказаними у п 6.1 відповідно до завдання на проектування.

Місця установлення ONU/ONT автоматично визначаються варіантом побудови мережі FTTx, знову ж таки відповідно до завдання на проектування.

7.4. Вибір топології побудови мережі. Стратегія розміщення та типи оптичних розгалужувачів

На мережі може бути використана однорівнева або каскадна (багаторівнева) схема ввімкнення оптичних розгалужувачів, що визначає стратегію їх розміщення, та як результат, топологію будівництва мережі. При побудові мережі PON можуть застосовуватися дві стратегії розміщення сплітерів (оптичних розгалужувачів): централізоване та розподілене.

За централізованого розміщення оптичні розгалужувачі установлюються в ОРШ, тим самим відділяючи магістральну ділянку від розподільної ділянки мережі. Отже, за централізованого розміщення ОР архітектура мережі PON має однорівневу схему розміщення розгалужувачів. При цьому коефіцієнт ділення повинен бути значним, не менше за 1 х 16 (близьким до максимального при розрахунку оптичного бюджету системи PON). Дана стратегія спрямована на максимальну ефективність утилізації капітальних витрат на оптичні розгалужувачі як один з основних компонентів пасивної оптичної мережі.

При розподіленому розміщенні застосовується каскадна структура ввімкнення розгалужувачів, яка дозволяє зменшити загальну протяжність найбільш дорогої частини оптичної мережі – розподільної ділянки. При цьому рекомендується застосовувати тільки два каскади ОР (дворівнева схема розміщення), збільшення кількості каскадів ОР різко збільшує складність та вартість мережі, не прогнозовано погіршує параметри оптичного бюджету лінії (на каскадуванні ОР, через розкид параметрів згасання) та знижує загальну ефективність експлуатації (вимірювання, усунення пошкоджень, контроль якості сигналу). У цьому варіанті коефіцієнт ділення першого каскаду визначає

кількість зон концентрації абонентів, підключених до даного «дерева» PON (зазвичай малий коефіцієнт ділення: значення коливається в межах 1 х 2…1 х 8); другий каскад визначає кількість абонентів у заданій зоні обслуговування (зазвичай великий коефіцієнт ділення – не менше 1 х 8).

Кожна стратегія має свої переваги:

– чим менше рівней каскадування ОР, тим простіше мережа та, відповідно, більше можливостей швидкого усунення пошкоджень, підвищення якості зв'язку за рахунок ввімкнення можливих перехідних викривлень на багатоступеневій передачі сигналів;

– з іншого боку, каскадування дозволяє більш гнучко розташувати розподільні пристрої та кабелі, таким чином оптимально побудувати пасивну розподільну мережу.

При побудові пасивної оптичної мережі можуть використовуватися оптичні розгалужувачі двох типів [13], що відрізняються методом виготовлення: сплавні (FBT – Fused Biconical Taper) та планарні (PLC – Planar Lightwave Circuit Coupler). При виборі типу ОР, крім ціни та коефіцієнта ділення, слід враховувати ще масу факторів: величина вношуваних втрат та їх однорідність, величина коефіцієнта спрямованості та оптичні втрати на відбиття ORL(Optical Return Loss), величина поляризаційно-залежних втрат (Polarization Dependent Loss), температурний діапазон.

Розгалужувачі PLC мають низку важливих переваг перед FBT: мала залежність параметрів передачі від довжини хвилі (тобто більш лінійну амплітудно-частотну характеристику, що особливо важливо при переході у майбутньому до PON-WDM); велика точність коефіцієнта ділення; малі втрати на відбиття; більш широкий температурний діапазон. Пороте складність технології виробництва PLC робить доцільним їх застосування тільки за достатньо значної кількості вихідних портів (1 х 8 і більше) або великими партіями. В оптичних мережах ж зазвичай потрібна досить широка номенклатура пристроїв з різною кількістю портів і різними коефіцієнтами розподілу, але за невеликих обсягів партій. Виходячи з технічних параметрів до недоліків розгалужувачів PLC можна віднести більш високі (на 0,1…0,2 дБ) поляризаційно-залежні втрати, що обумовлені неокругленістю планарних хвилеводів. Також треба відзначити, що планарні ОР виробляються лише з симетричними виходами (тобто з однаковими коефіцієнтами ділення на всіх вихідних полюсах) та кількістю вихідних полюсів кратних 2, на відміну їм сплавні ОР можуть вироблятися за замовленням з довільними коефіцієнтами ділення та коефіцієнтами розгалуження потужності, кратними 1%.

На основі наведеного вище, можна сформулювати наступні рекомендації з вибору стратегії розміщення та типу ОР:

– при побудові мережі PON-FTTH у житлових масивах з елітною багатоквартирною забудовою, яка характеризується значною щільністю розташування абонентів, найбільш ефективною буде однорівнева схема розміщення ОР на мінімальній відстані від місця концентрації абонентів, при цьому застосовуються виключно PLC-розгалужувачі з великим коефіцієнтом ділення;

– при побудові мережі PON-FTTH в елітних котеджних забудовах та мережі PON-FTTB, які характеризуються середньою щільністю абонентів та більшою ніж FTTH площею покриття, доцільно застосовувати двокаскадну схему, а типи ОР підбирати під конкретний випадок окремо (можна використовувати тільки PLC-розгалужувачі або комбінацію – FBT на першому каскаді, а PLC на другому каскаді для будівництва «збалансованої» мережі);

– при побудові мереж PON-FTTC/N, які характеризуються малою щільністю абонентів та значною площею покриття, доцільно застосовувати двокаскадну або навіть трикаскадну (коли перший каскад ОР розміщується у приміщенні головної станції на ODF, що дозволяє економити активні порти OLT за малої щільності підключення ONU та не знижує загальну ефективність експлуатації) схему, при цьому логічно застосовувати FBT-розгалужувачі із заданими коефіцієнтами ділення та розгалуження потужності для побудови «збалансованої» мережі.

7.5. Вибір типу волоконно-оптичного кабелю

Згідно з вимогами Рекомендації ITU-T G.983 [7, 8, 9], для будівництва PON повинні застосовуватися кабелі з одномодовими оптичними волокнами типу G.652 або сумісні з ними (наприклад, G.655 або G.657).

Оскільки PON використовує оптичні кабелі, що прокладаються на різних ділянках (магістральний, розподільний, абонентський) і в різних умовах (в каналізації, підвішуванні на опорах, в будівлях абонентів), то і конструкції кабелів для цієї мережі можуть відрізнятися досить сильно.

Конструкції кабелів визначаються, в першу чергу, умовами прокладання кабелю (прокладання в грунт, в кабельну каналізацію, підвішування на опорах, прокладання у внутрішніх каналах і стояках будівлі тощо), а також необхідним числом волокон.

Для правильного вибору типів волоконно-оптичного кабелю (ВОК) для мереж доступу та кількість оптичних волокон у них, спочатку потрібно визначитися на яких ділянках (магістральних, розподільних, абонентських тощо) ці кабелі будуть використовуватися.

Магістральні ділянки є найбільш протяжними і відповідальними – при їх пошкодженні порушується робота всієї мережі. Тому умови їх прокладання і кабелі, що застосовуються на цих ділянках, повинні забезпечувати максимальну надійність. Тут не рекомендується економити на вартості ВОК, витратах на монтаж і прокладання. Тим більше, що довжина магістралей зазвичай менше сумарної довжини розподільних і абонентських ділянок. У конструкції магістральних кабелів обов’язково повинен бути передбачений запас волокон на подальший розвиток мережі. Запас, залежно від необхідного числа волокон, може становити 20…50%. Це не вплине суттєво на загальну вартість ВОК, але напевно зніме деякі проблеми у майбутньому.

На розподільних ділянках можна використовувати менш дорогі кабелі. Для цих кабелів характерне прокладання в найрізноманітніших умовах, які і визначають їх конструкцію. Вони мають меншу довжину та їх простіше

замінити при пошкодженні. Але це не означає, що треба нехтувати надійністю конструкцій. При виборі таких ВОК зазвичай виходять з компромісу між ціною і якістю. Найчастіше в них присутній запас волокон, але невеликий (зазвичай 10…20%), тому що при розвитку мережі іноді простіше прокласти новий кабель.

Кабелі абонентських ділянок мають найменшу довжину, але найбільшу кількість ділянок. Але це не означає, що потрібно шукати найдешевші конструкції. По-перше, абонентські ВОК зазвичай проходять всередині будівель, де можуть пошкоджуватися гризунами, й усередині приміщень, де їх часто пошкоджують самі користувачі. Тому, залежно від умов, ВОК повинні мати необхідні елементи для захисту волокон. По-друге, абонентські кабелі, що проходять усередині будинків, обов'язково повинні мати зовнішню оболонку, що не поширює горіння, оскільки кабелі часто проходять через кілька приміщень. Запас по волокнах на цій ділянці в кабелях зазвичай не закладають, тому що легше прокласти новий маловолоконий кабель.

У з'єднувальних кабелях і шнурах (патч-корди, пігтейли) для міжстоякових та міжблочних перемикань зазвичай використовується одне або два волокна з індивідуальним захистом від вигинів при вводах, випадкових ударів, ривків, стиснення, впливу сухого тепла та інших факторів. В якості зовнішніх оболонок зазвичай використовують недорогі матеріали, які не підтримують горіння.

Таким чином, тип оптичного волокна, кількість волокон у кабелі, конструкція кабелю на кожній ділянці має визначатися конкретним проектом мережі.

7.6. Вибір роз'ємних з'єднувачів

На всьому сегменті мережі PON необхідно використовувати однотипні роз'ємні з'єднувачі – конектори, це спрощує комплектацію об'єктів та підготовку обслуговуючого персоналу, скорочує асортимент запасних комплектів.

Металеві конектори зазнають впливу корозії, більш дорогі та менш технологічні через підвищені габарити. Слід віддати перевагу конекторам з пластиковими роз'ємами SC.

Серед варіантів поліровки контактів роз'ємних з'єднувачів слід віддати перевагу конекторам з кутовим фізичним контактом APC (Angled Physical Contact) [2]. Вони більш дорогі, але забезпечують мінімальний рівень зворотних втрат за рахунок виведення з волокна відбитої потужності, що падає на межу розділу серцевина/оболонка під кутом більше критичного, це запобігає передчасному виходу з ладу дорогих станційних лазерів. Також APC має широкі вікна прозорості, що може знадобитися у майбутньому при переході на PON-WDM.

Усі зварювальні та механічні з'єднання на мережі повинні бути виконані також під кутове полірування, інакше сенс застосування дорогих конекторів SC/APC буде майже повністю втрачено.

У деяких випадках, при вимушеній економії місць під розміщення великих кросових масивів на вузлі зв'язку у приміщенні головної станції припускається застосування з'єднувачів типу LC/UPC. Застосування з'єднувачів типу LC/APC для патч-панелей ОРШ усередині будівлі припускається лише в окремих випадках, коли власником будівлі висуваються жорсткі вимоги до мінімальних габаритів ОРШ та де ОРШ розташовується у легкодоступному місці зі зручною організацією робіт. У ОРШ вуличного виконання застосування ніяких з'єднувачів крім типу SC не допускається.

7.7. Розрахунок оптичного бюджету лінії PON та вибір класу активного обладнання

Розрахунки згасання оптичного сигналу виконуються для оптичної лінії від точки підключення волокна до активного обладнання головної станції до найвіддаленішого абонента, якщо у сегменті мережі застосовуються тільки симетричні оптичні розгалужувачі або для всіх абонентів, якщо будується збалансована мережа із застосуванням несиметричних ОР. У мережі PON джерелом втрат є:

– згасання в оптичному волокні – залежить від довжини ОВ та коефіцієнта згасання на певній довжині хвилі (для PON розрахунок згасання повинен проводитися на довжині хвилі з максимальним коефіцієнтом згасання);

– втрати на зварних з'єднаннях – залежать від втрат у кожному з'єднанні та їх кількості;

– втрати на роз'ємних з'єднаннях – залежать від втрат у кожному конекторі та їх кількості;

– втрати в оптичних розгалужувачах – залежать від типу ОР, кількості вихідних полюсів та коефіцієнта розгалуження потужності (для ОР з нерівномірним коефіцієнтом розгалуження);

– штрафні втрати – це втрати на вигини кабелів при прокладанні.

Сума всіх втрат, що виникають на ділянці оптичної мережі представляє собою енергетичний бюджет згасання. При розрахунках слід враховувати ще експлуатаційний запас на організацію додаткових стиків та вставок при проведенні ремонтних робіт, а також запас на природне старіння волокна. В цілому рекомендується залишати запас бюджету лінії 1…2 дБ після повністю виконаного підключення всього тракту від OLT до ONT.

Бюджет втрат для технології GPON базується на Рекомендації ITU G.984.2 [11] та залежить від класу активного обладнання, що використовується при будівництві мережі, відмінність обладнання цих класів полягає у потужності передавачів та чутливості приймачів. Так, згідно з Рекомендацією G.984.2 повні втрати в мережі PON у залежності від класу не повинні перевищувати:

– 21 дБ для класу A;

– 26 дБ для класу B;

– 31 дБ для класу C.

Більшість обладнання GPON, що зараз виробляється, належить до класу B+ за якого оптичний бюджет лінії складає 28 дБ. Отже, при розрахунку параметрів мережі PON логічно обмежуватися саме цим значенням втрат.

Обмеження бюджету втрат є дуже жорстким, особливо за великих коефіцієнтів ділення ОР, тобто за фіксованої кількості ONT у сегменті PON визначає радіус охоплення мережею.

На рис. 7.7 наведена структура лінії PON, яка дозволяє визначити бюджет втрат. Якщо прийняти значення втрат у WDM-мультиплексорі та на станційному кросі ODF по 1 дБ, а також врахувати запас – 1 дБ, тоді з оптичного бюджету лінії у 28 дБ залишається 25 дБ на всю зовнішню оптичну мережу (ЗОМ). ЗОМ – це оптична мережа доступу за виключенням станційної ділянки – магістральна, розподільна та абонентська ділянки, конентори, оптичні розгалужувачі (в мережі може бути кілька каскадів ОР) та оптичні бокси в ОРШ, зварні з'єднання в оптичних кабельних муфтах.

У більшості випадків, коли радіус охоплення не перевищує 10 км та групи абонентів сконцентровані в певних зонах, великих проблем у розрахунку оптичного бюджету лінії не виникає, навіть виконуються з коефіцієнтом ділення 1 х 64 умови за бюджетом втрат. Але якщо абоненти розосереджені на великій території (радіус охоплення понад 10 км), тоді виникає питання: яким чином побудувати мережу та яку максимальну кількість абонентів можливо підключити до одного сегмента (гілки, дерева) PON, щоб виконувалася умова з обмеження бюджету втрат.

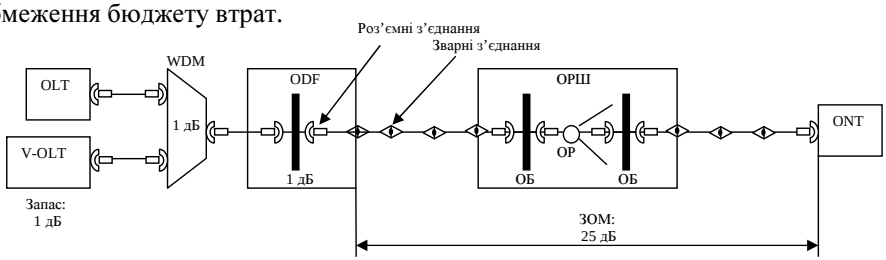


Рис. 7.7. Структура лінії PON для розрахунку бюджету втрат

Приклад. Вважаємо, що на попередніх етапах проектування було визначено, що сегмент мережі PON-FTTB має топологію «дерево» з двома каскадами ОР (рис. 7.8). До мережі планується підключити три групи абонентів, тому перший каскад ОР має коефіцієнт ділення 1 х 3. У кожній зоні концентрації абонентів планується підключити по 6 ONU, але з урахуванням розвитку доцільно використовувати ОР з коефіцієнтом ділення 1 х 8, що дозволить у процесі експлуатації даного сегмента мережі, у кожній зоні підключити ще по два ONU (точки приросту – ТП). У першій та другій зонах максимальна відстань від ОР до ONU складає 1 км, а у третій – 2 км.

Послідовність розрахунку бюджету втрат наступний:

Крок 1. Розрахунок починається з боку абонентів (ONU) та виконується на довжині хвилі 1310 нм де згасання сигналу найбільше. Так, при використанні кабелю з ОВ за Рекомендацією G.652.D воно складає 0,35 дБ/км. Тому що будується збалансована мережа, то розрахунок потрібно виконувати для кожної гілки «дерева» PON. На ділянках ONU – ОР-2 розрахунок здійснюється за формулою:

$$A_x = L_x \cdot \alpha + N_{\text{рз-}x} \cdot A_{\text{рз}} + N_{\text{зз-}x} \cdot A_{\text{зз}}, \qquad (7.1)$$

де L_x – довжина лінії від ONU-X до ОР другого каскаду;

α – коефіцієнт згасання на розрахунковій довжині хвилі;

$N_{\text{рз-}x}$ – кількість роз'ємних з'єднань на ділянці x;

$A_{\text{рз}}$ – згасання одного роз'ємного з'єднання (для конекторів типу SC/APC в розрахунках можна прийняти рівним 0,2 дБ);

$N_{\text{зз-}x}$ – кількість зварних з'єднань на ділянці x,

$A_{\text{зз}}$ – згасання одного зварного з'єднання (у розрахунках можна прийняти рівним 0,1 дБ).

Тому що відстані від ОР до ONU невеликі, то розрахунок будемо виконувати для максимальної відстані в кожній зоні концентрації абонентів:

$$A_{1\ldots16} \le 1 \times 0{,}35 + 2 \times 0{,}2 + 3 \times 0{,}1 = 1{,}05 \text{ дБ},$$
$$A_{17\ldots24} \le 2 \times 0{,}35 + 2 \times 0{,}2 + 3 \times 0{,}1 = 1{,}4 \text{ дБ}.$$

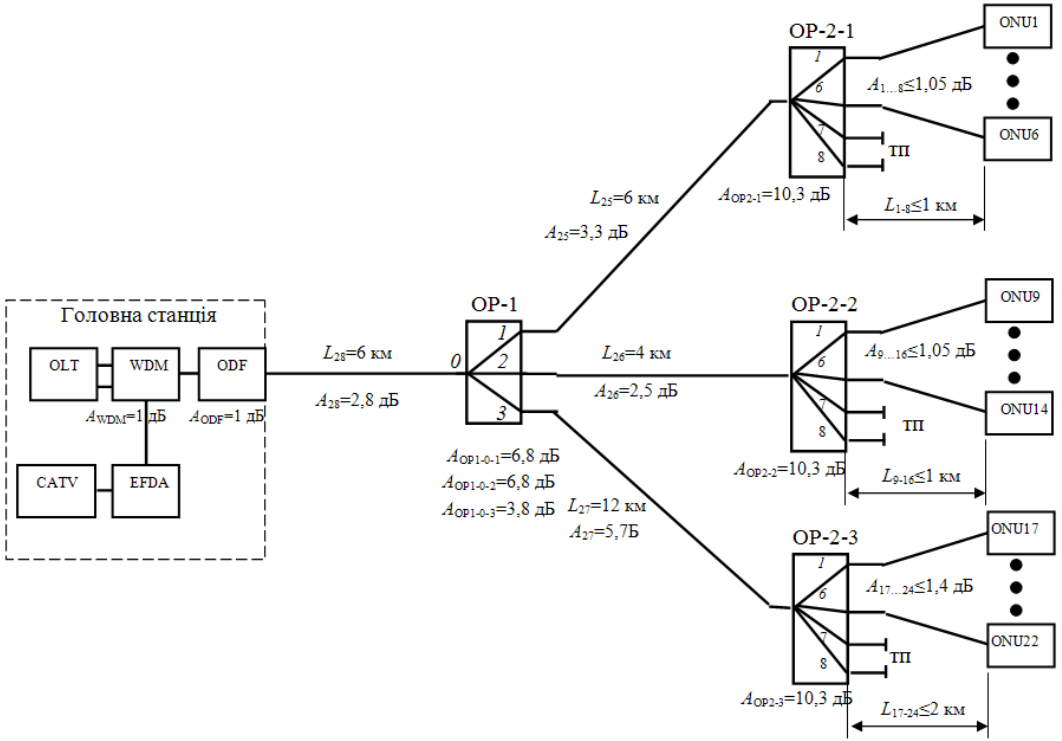


Рис. 7.8. Структурна схема сегмента мережі PON для розрахунку бюджету втрат

Крок 2. Визначення згасання у оптичних розгалужувачах другого каскаду. В другому каскаді доцільно застосовувати планарні ОР з симетричними виходами (однаковими коефіцієнтами розгалуження потужності), тому що різниця згасань між ділянками ONU – ОР-2 у перших двох зонах не перевищує (0…0,35 < 0,5 дБ), а для третьої зони може незначно перевищувати (0…0,7 дБ) рівномірність втрат між виходами ОР. Тому під час будівництва мережі при проведенні вимірювань, ділянки більшої довжини можна підключити до виходів з меншим згасанням, а ділянки меншої довжини – до виходів з більшим згасанням. Отже, згасання в PLC ОР 1 х 8 з рівномірним розподілом потужності між виходами дорівнює 10,3 дБ (в розрахунках враховуємо максимальне згасання реального планарного ОР виробництва Optokon Co, LTD [13], хоча з урахуванням оптимізації підключення ділянок до ОР під час будівництва мережі можна використовувати не максимальне, а типове значення згасання – 9,6 дБ). Згасання лінії від ONU до вхідного полюса ОР-2 для абонентів першої (другої) та третьої зони складає відповідно:

$$A_{1\text{-OP2-1}} = 1{,}05 + 10{,}3 = 11{,}35 \text{ дБ},$$
$$A_{17\text{-OP2-3}} = 1{,}4 + 10{,}3 = 11{,}7 \text{ дБ}.$$

Крок 3. Визначення згасання лінії від ONU до вихідних полюсів оптичного розгалужувача першого каскаду проводиться за формулою (7.1) до якої додається згасання ділянки ONU – вхідний полюс ОР другого каскаду:

$$A_{1\text{-}25} = 6 \times 0{,}35 + 4 \times 0{,}2 + 4 \times 0{,}1 + 11{,}35 = 14{,}65 \text{ дБ};$$
$$A_{9\text{-}26} = 4 \times 0{,}35 + 4 \times 0{,}2 + 3 \times 0{,}1 + 11{,}35 = 13{,}85 \text{ дБ};$$
$$A_{17\text{-}27} = 12 \times 0{,}35 + 4 \times 0{,}2 + 7 \times 0{,}1 + 11{,}7 = 17{,}4 \text{ дБ}.$$

Крок 4. Визначення згасання в оптичному розгалужувачі першого каскаду. Різниця згасань між вихідними полісами ОР-1 складає понад 3,5 дБ, тому для будівництва збалансованої мережі в даному випадку потрібно застосовувати оптичний розгалужувач типу FBT з несиметричним розподілом потужності. Щоб визначити згасання в кожному напряму передачі ОР-1 потрібно значення загасань кожної ділянки ONU-1,9,17 – вихідний полюс ОР-1 перевести у коефіцієнт згасання за формулою:

$$A_x = 10^{0,1 \times A_x},$$

де A_x – згасання ділянки x від ONU до відповідного вихідного полюса ОР.

Отже:

$$a_{1\text{-}25} = 10^{0,1 \times 14,65} = 29{,}2 \text{ раза},$$
$$a_{9\text{-}26} = 10^{0,1 \times 13,85} = 24{,}3 \text{ раза},$$
$$a_{17\text{-}27} = 10^{0,1 \times 17,4} = 55 \text{ разів}.$$

Далі необхідно визначити суму коефіцієнтів згасання та коефіцієнт відгалуження потужності сигналу за вихідними полюсами ОР, відповідно за формулами:

$$a_{\Sigma} = \sum_{x=1}^{N} a_x ,$$

$$\kappa_x = a_x / a_{\Sigma},$$

де x – номер вихідного полюсу ОР;
N – кількість вихідних полюсів ОР.

Якщо коефіцієнт відгалуження потужності сигналу помножити на 100, то отримаємо коефіцієнт відгалуження у відсотках – відсоток відгалуження потужності сигналу за вихідними полюсами ОР:

$$\kappa_{x\%} = \kappa_x \times 100\% = (a_x / a_{\Sigma}) \times 100\%.$$

В результаті розрахунків отримаємо наступні значення:

$$a_{\Sigma} = 29{,}2 + 24{,}3 + 55 = 108{,}5;$$

$\kappa_1 = 29{,}2/108{,}5 = 0{,}269;$	$\kappa_{1\%} = 26{,}9\%;$
$\kappa_2 = 24{,}3/108{,}5 = 0{,}224;$	$\kappa_{2\%} = 22{,}4\%;$
$\kappa_1 = 55/108{,}5 = 0{,}507;$	$\kappa_{3\%} = 50{,}7\%.$

Зазвичай ОР виготовляються з коефіцієнтами розгалуження кратними 5% (збільшення точності реалізації коефіцієнта розгалуження збільшує вартість виробництва ОР), крім того, потрібно враховувати нерівномірність втрат по виходах та власні (внутрішні, надлишкові, Excess loss) втрати реального оптичного розгалужувача (в розрахунках можна вважати, що ці втрати складають 20% або в децибелах – 0,8 дБ від загальних втрат на розгалуження, тобто $a_{\Sigma p} = 1{,}2 \times a_{\Sigma}$). Отже:

$$a_{\Sigma p} = 1{,}2 \times 108{,}5 = 130{,}2;$$

$\kappa_{1p} = 0{,}25;$	$\kappa_{1\%p} = 25\%;$
$\kappa_{2p} = 0{,}25;$	$\kappa_{2\%p} = 25\%;$
$\kappa_{3p} = 0{,}5;$	$\kappa_{3\%p} = 50\%.$

Далі визначаємо згасання у ОР-1 між вхідним (0) та вихідними полюсами (1, 2, 3) з урахування коефіцієнтів розгалуження та власних втрат ОР за формулою:

$$A_{\text{OP-0-}x} = 10\lg(a_{\Sigma p} / \kappa_{xp} \cdot a_{\Sigma}) = 10\lg(1 / \kappa_{xp}) + 10\lg(a_{\Sigma p} / a_{\Sigma}) = A_{IL\,x} + A_{EL}.$$

де $A_{IL\,x}$ – втрати, що вносить ідеальний ОР (Insertion loss) при передаванні сигналу з вхідного полюса до вихідного полюса X;

A_{EL} – надлишкові втрати (Excess loss) реального розгалужувача.

$$A_{\text{OP1-0-1}} = 10\lg(130{,}2 / 0{,}25 \times 108{,}5) = 6{,}8 \text{ дБ};$$
$$A_{\text{OP1-0-2}} = 10\lg(130{,}2 / 0{,}25 \times 108{,}5) = 6{,}8 \text{ дБ};$$
$$A_{\text{OP1-0-3}} = 10\lg(130{,}2 / 0{,}5 \times 108{,}5) = 3{,}8 \text{ дБ}.$$

Крок 5. Визначення втрат в кожній гілці «дерева» на ділянці ONU – вхідний полюс оптичного розгалужувача першого каскаду, для цього потрібно до згасання ділянки ONU – вихідний полюс ОР-1 додати згасання самого ОР-1 у відповідному напряму:

$$A_{\text{1-OP1}} = 14{,}65 + 6{,}8 = 21{,}45 \text{ дБ};$$
$$A_{\text{9-OP1}} = 13{,}85 + 6{,}8 = 20{,}65 \text{ дБ};$$
$$A_{\text{17-OP1}} = 17{,}4 + 3{,}8 = 21{,}2 \text{ дБ}.$$

Як бачимо, найбільше згасання має сигнал у першій гілці «дерева», тому далі розрахунок виконується саме для неї.

Крок 6. Визначення втрат на ділянці ONU – вхід головної станції за формулою (7.1) до якої додається згасання попередніх ділянок мережі:

$$A_{\text{1-28}} = 6 \times 0{,}35 + 2 \times 0{,}2 + 3 \times 0{,}1 + 21{,}45 = 24{,}25 \text{ дБ}.$$

Крок 7. Визначення загальних втрат у мережі PON з урахуванням втрат станційної ділянки мережі. До згасання на зовнішній оптичній мережі додається згасання на станційному оптичному кросі ODF (1дБ, враховуючи всі з'єднання на кросі) та у мультиплексорі WDM (1 дБ, враховуючи згасання у роз'ємних з'єднувачах):

$$A_{ONU\text{-}OLT} = 24{,}25 + 1 + 1 = 26{,}25 \text{ дБ}.$$

Крок 8. Визначення експлуатаційного запасу. Запас визначається як різниця між максимальним та розрахованим оптичним бюджетом втрат:

$$A_{\text{зап}} = 28 – 26{,}25 = 1{,}75 \text{ дБ}.$$

Виконані розрахунки вказують на працездатність даного сегмента мережі PON. Крім того, зменшити бюджет втрат можна:

– за рахунок застосування, замість оптичних боксів з роз'ємними з'єднувачами, зварних з'єднань ОР-1 з оптичним волокном (це дозволить отримати виграш 0,8 дБ), звичайно, це зменшує експлуатаційну ефективність даного сегмента мережі;

– за рахунок, як вказувалося вище (крок 2), оптимального підключення ліній 1…24 до другого каскаду ОР на етапі будівництва мережі, тобто у процесі інсталяції оптичного розгалужувача (ОР-2-1, ОР-2-2, ОР-2-3) вимірюється

згасання у напряму від вхідного полюса до кожного з вихідних полюсів, на основі цих розрахунків до виходу з мінімальним згасанням підключається найвіддаленіший ONU, до виходу з максимальним згасанням підключається найближчий ONU. Таким чином, при розрахунку бюджету втрат можна враховувати не максимальне, а типове значення згасання оптичного розгалужувача – 9,6 дБ (це дозволить отримати виграш 0,7 дБ).

7.8. Розрахунок техніко-економічних показників PON

Основним техніко-економічним показником, який дозволяє оцінити ефективність реалізації будь-якого проекту, є термін окупності, методика розрахунку якого наведена в частині 1, п 2.7.4 та 2.10.4.

Капітальні витрати на побудову мережі PON складаються з витрат на активне обладнання (головної станції і абонентів) та пасивне обладнання (лінійної частини оптичної мережі та розміщене у приміщенні головної станції і абонентів).

Для будівництва розглянутого вище сегмента пасивної оптичної мережі (рис.7. 8) потрібно наступне обладнання [14…16]:

У приміщенні головної станції:

– платформа OLT;

– передавач відеосигналу CATV на довжині хвилі 1550 нм;

– оптичний підсилювач ТВ сигналу з вихідною потужністю +19 дБм;

– мультиплексор WDM, для об’єднання зустрічних напрямів передачі даних та відеосигналу;

– оптичний крос (для одного сегмента мережі достатньо малий оптичний крос стійковий – патч-панель, для будівництва кількох сегментів мережі PON потрібно застосовувати оптичний крос великої щільності – ODF);

– станційні оптичні кабелі (СОК) типу «патчкорд» та «пігтейл» з роз’ємами SC/APC.

В лінійній частині оптичної мережі:

– лінійні оптичні кабелі (ЛОК) будівельною довжиною 2 км (достатньо використовувати ЛОК з чотирма оптичними волокнами, якщо в цьому напряму не планується будувати інші сегменти мережі);

– оптичні муфти (для з’єднання волокон будівельних довжин кабелю);

– оптичні розгалужувачі з роз’ємними з’єднувачами SC/APC;

– оптичні розподільні шафи;

– оптичні бокси 1U (для комутації портів ОР);

– оптичні кабелі типу «пігтейл».

У приміщенні ONU:

– груповий абонентський оптичний мережний блок ONU (для підключення групи абонентів до послуг зв’язку: телефонії, передачі даних та кабельного телебачення);

– оптична розподільна шафа;

– оптичний кабель типу «пігтейл»;

– щиток живлення;

– джерело безперебійного живлення (ДБЖ).

Перераховане обладнання зведене до табл. 7.1 та 7.2.

Таблиця 7.1

Кошторис витрат на станційне обладнання

№ з/п	Обладнання	Од. виміру	Кількість	Ціна за шт.	Вартість, $
Приміщення головної станції:					
1	Платформа OLT (8 інтерфейсів GPON)	шт.	1	12000	12000
2	Передавач ТВ сигналу (CATV), 3дБм	шт.	1	6690	6690
3	Оптичний підсилювач, 19 дБм	шт.	1	490	490
4	Мультиплексор WDM	шт.	1	30	30
Приміщення оптичних вузлів:					
5	ONU	шт.	18	240	4320
6	Щиток живлення	шт.	18	12	216
7	Джерело безперебійного живлення	шт.	18	390	7020
Всього: 30766 $ / 246128 грн.					

Таблиця 7.2

Кошторис витрат на лінійні спорудження

№ з/п	Обладнання	Од. виміру	Кількість	Ціна за шт.	Вартість, $
Приміщення головної станції:					
1	Оптичний крос (8 гнізд)	шт.	1	20	20
2	СОК типу «патчкорд»	шт.	4	4	16
3	СОК типу «пігтейл»	шт.	1	2	2
Лінійна частина оптичної мережі:					
4	ЛОК з чотирма ОВ	км.	52	860	44720
5	Муфти оптичні	шт.	10	50	500
6	Оптичний розгалужувач FBT 1x3	шт.	1	26	26
7	Оптичні розгалужувачі PLC 1x8	шт.	3	92	276
8	Оптичні розподільні шафи (настінні)	шт.	4	145	580
9	Оптичні бокси 1U (16 гнізд)	шт.	3	20	60
10	СОК типу «пігтейл»	шт.	25	2	50
Приміщення оптичних вузлів:					
11	Оптичні розподільні шафи (настінні)	шт.	18	145	2610
12	СОК типу «пігтейл»	шт.	18	2	36
Всього: 48896 $ / 391168 грн.					

За формулами (2.9…2.11, п. 2.10.4) розраховуємо тарифні доходи проектованої мережі. При цьому враховуємо, що на початковому етапі експлуатації вводиться в роботу 18 ONU, кожний з яких може надати послуги Triple Play одному багатоповерховому будинку (без установлення додаткового обладнання – 24 абоненти). Отже, всього 432 абонентам надається телефонний зв'язок (абонплата за місяць складає 27 грн.), доступ до мережі Internet на швидкості до 100 Мбіт/с (абонплата за місяць складає 100 грн.) та послуги кабельного телебачення (абонплата за місяць складає 55 грн.).

$$Д_т = (27+100+55) \times 432 = 78\,624 \text{ грн.}$$

Розрахуємо власні доходи за формулою (2.4, п. 2.7.4):

$$Д_{в} = 78\,624 \times 12 = 943\,488 \text{ грн.}$$

Розраховуємо капітальні вкладення на придбання й установлення обладнання ЦСП за формулою (2.7, п. 2.7.4):

$$К_{ст} = 246\,128 \times 1{,}4 = 344\,579{,}2 \text{ грн.}$$

Розраховуємо капітальні вкладення на лінійні спорудження за формулою (2.12, п. 2.10.4), при чому коефіцієнт k, що враховує проведення будівельно-монтажних робіт та вимірювання параметрів мережі PON при будівництві, приймаємо рівним 2,5:

$$К_{лін} = 391\,168 \times 2{,}5 = 977\,920 \text{ грн.}$$

За формулою (2.6, п. 2.7.4) розрахуємо загальні витрати:

$$К_{заг} = 344\,579{,}2 + 977\,920 = 1\,322\,499{,}2 \text{ грн.}$$

За виразом (2.5, п. 2.7.4) розраховуємо експлуатаційні витрати:

$$С = 0{,}08 \times 1\,322\,499{,}2 = 105\,799{,}93 \text{ грн.}$$

Підставивши числові значення у (2.3, п. 2.7.4), розраховуємо коефіцієнт економічної ефективності:

$$E_0 = (943\,488 - 105\,799{,}93) / 1\,322\,499{,}2 = 0{,}63.$$

Термін окупності капітальних вкладень визначається виразом (2.8, п. 2.7.4):

$$T_0 = 1 / 0{,}63 \approx 1{,}59 \text{ року.}$$

Слід зазначити, що даний фрагмент мережі PON має по дві точки приросту в кожному ОР другого каскаду, використання яких дозволить зменшити термін окупності капітальних вкладень мережі, крім того, питомі витрати на станційне обладнання будуть зменшені за рахунок утилізації дорогого активного обладнання (платформа OLT має 8 портів GPON, а проектований фрагмент мережі підключений до одного з них).

8. БУДІВНИЦТВО ОПТИЧНИХ МЕРЕЖ ДОСТУПУ

8.1. Особливості будівництва оптичної мережі абонентського доступу на базі технології PON

Принципи будівництва оптичної мережі широкосмугового абонентського доступу мають схожі риси з будівництвом абонентської мережі на металевому кабелі, особливо для варіанта FTTH. Враховуючи недостатній рівень пропрацьованості нормативної бази, що регламентує питання будівництва абонентської мережі з використанням оптичного кабелю та оптичних розгалужувачів, слід максимально використовувати існуючий доробок будівництва класичної телефонної мережі.

Основними особливостями будівництва оптичної мережі абонентського доступу на базі технології PON є:

– необхідність акуратного поводження з волокном при роботі;

– вимоги до професійної підготовки спеціалістів служби експлуатації, щодо питань прокладання та ремонту оптичних кабелів, як на лініях зв'язку, так і у розподільних пристроях;

– необхідність розробки особливого механізму проведення аварійно-відновлювальних та профілактичних робіт, методики вимірювань, ведення паспортизації та технічного обліку;

– використання спеціального підходу до застосування та розміщення розподільних пристроїв у житлових будинках;

– вимоги до наявності особливої методики оптимального розподілу оптичних розгалужувачів та їх розміщення у розподільних пристроях.

Разом з тим, принципи системного підходу при будівництві магістральних та розподільних ділянок оптичної мережі повинні залишатися незмінними та включати облік концентрації абонентів та перспективи розвитку житлових кварталів (масивів, районів), оптимального прив'язування до головної станції, особливостей існуючих трас кабельної каналізації (або ПЛЗ – повітряних ліній зв'язку), застосування різних методів резервування мережі (запас волокон під резерв).

Будівництво станційної та лінійної ділянок виконується на підставі інвестиційних проектів. Абонентська ділянка формується з операційних бюджетів в міру задоволення заявок на підключення (цей процес зазвичай значно розтягнутий у часі).

Найбільш складною та капіталомісткою є лінійна ділянка, що складається зі значної кількості різноманітного пасивного обладнання та потребує проведення значного обсягу будівельно-монтажних робіт, тому дуже важливе застосування найбільш оптимальних методів її будівництва.

8.2. Прокладання оптичного кабелю в каналах кабельної каналізації. Монтаж муфт

В умовах міста оптичний кабель прокладається в каналах кабельної каналізації.

При затягуванні в канали кабельної каналізації ОК найбільше піддаються впливу механічних навантажень: розтягувальним зусиллям, вигинам, перекручуванню, поперечним стискуванням, вібраціям, внаслідок чого виникають напруги в конструктивних елементах кабелю, що може в окремих випадках призвести до зміни передатних характеристик кабелю. Тому під час затягування кабелю в канал необхідно контролювати силу тяжіння і в разі необхідності (при випадкових ривках) обмежувати.

У кабельну каналізацію прокладають кабелі, що не мають зовнішнього броньованого покриття. Загальне число кабелів в одному каналі каналізації не повинно перевищувати трьох, сумарна площа їхнього перетину не повинна перевищувати 20…25 % від площі перетину каналу.

Затягування кабелю у вільні канали здійснюється сталевими тросами діаметром 5…6 мм. У зайняті канали кабель затягується за допомогою пенькових або сталевих тросів у поліетиленових шлангах.

При прокладанні приєднання до ОК тросу здійснюється за допомогою спеціального пристрою – захоплювача, виготовленого з гнучкої тефлонової трубки, нейлонової втулки і перехідного кільця – рис. 8.1: 1 – телефонна трубка; 2 – втулка; 3 – оптичний кабель; 4 – кінцева напівмуфта; 5 – армування кабелю; 6 – перехідне кільце; 7 – трос. Армувальні елементи оптичного кабелю кріпляться до перехідного кільця захоплювача. Таким чином, все навантаження при прокладанні в каналізації переходить на ці елементи кабелю, а скляні волокна не зазнають розтягувальних зусиль. Для зменшення тертя і підтримки зусиль тяжіння в межах норми використовуються мастильні матеріали (вазелін). Мастило дозволяє знизити зусилля тяжіння мінімум на 20 %.

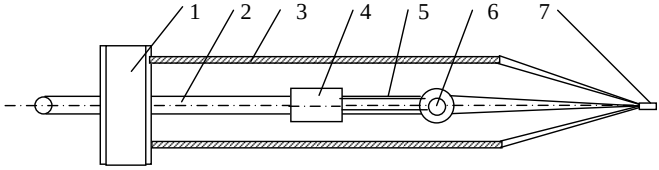


Рис. 8.1. Пристрій для захоплення оптичного кабелю

При прокладенні ОК в кабельній каналізації необхідні пристрої, що полегшують прокладання та виключають його пошкодження, зокрема:

– лебідка ручна тросова з регульованим зусиллям тяжіння, що забезпечує заготовку каналів проволокою (тросами) для затягування ОК;

– пристрій для розмотування кабелю з барабана;

– направляюча труба для вводу кабелю;

– ролики для направлення проволоки (тросу) і запасу ОК.

Характерною особливістю є необхідність забезпечення тяжіння ОК одночасно за його оболонку та його силові елементи. В місцях зміни направлення траси в колодязях установлюють кабельні блоки. На відносно прямолінійних ділянках траси можна транзитом затягувати кабель довжиною до 1 км, а на трасі зі значною кількістю поворотів будівельну довжину кабелю слід скорочувати до 500 м. При прокладанні ОК великої будівельної довжини зазвичай починають прокладання з середини траси і протягують крізь каналізацію спочатку одну, а згодом іншу половину будівельної довжини. В усіх випадках необхідно суворо дотримуватись допустимого радіуса вигину ОК.

При з'єднанні довжин кабелю між собою або в місцях розгалуження кабельних ліній установлюються кабельні муфти. Їх основне завдання – розмістити і захистити з'єднання оптичних волокон. Конструкції муфт містять сплайс-касети, в яких розміщуються зварні з'єднання в захисних термоусаджуваних гільзах. Усередині касет, з допустимим радіусом вигину (не менше 30 мм), укладається запас оптичних волокон. Корпус муфти повинен захищати волокна і зростки від проникнення вологи, механічних і кліматичних впливів.

За розташуванням вводів розрізняють прохідні муфти (кабельні вводи зроблені з протилежних сторін) і тупикові (вводи з одного боку). Конструкція корпусу також може бути плоскою або круглою. Вибір типу корпуса муфти багато в чому визначається умовами її установлення. Плоскі муфти, наприклад, зручніше кріпити до стін у підвалах, на горищах будинків, у колодязях. Тупикові муфти зручні при підведенні кабелю з одного боку, наприклад, для установлення на опорах (освітлювальних, контактній мережі транспорту та ін.) за допомогою металевої скоби або для кріплення на стінах за допомогою металевого кронштейна. Прохідні муфти більш придатні для прокладання в грунт, у колодязях кабельної каналізації (укладання на консолях), а також для повітряних кабелів при підвішуванні на несучому тросі за допомогою спеціальних скоб.

Кабельні вводи в муфти повинні бути надійно герметизовані, не залежно від перепадів зовнішніх температур, доступу вологи та інших довготривалих впливаючих факторів, що впливають. Найчастіше застосовується організація введення за допомогою термоусаджуваних трубок. Усадка виконується достатньо швидко і, за правильного виконання всіх операцій, забезпечує надійну герметичність вводів. Проте усадку бажано проводити спеціальним монтажним феном, для чого ще потрібно електроживлення. В крайньому випадку, застосовується паяльник, що передбачає роботу з відкритим полум'ям. Інший спосіб передбачає використання герметизуючої стрічки, яка намотується на зовнішню оболонку кабелю в місці його введення в муфту. Після затискання накидної гайки на вступній втулці м'яка стрічка заповнює весь вільний простір у місці введення, що забезпечує надійну його герметизацію. Такий спосіб не вимагає гарячих методів монтажу, але тут важлива акуратність і ретельність

проведення монтажних операцій. Крім того, муфти з такими вводами не бажано використовувати в місцях постійного впливу вологи.

При виборі необхідного типу муфти також необхідно враховувати кількість кабельних вводів (портів) та їх діаметр. Деякі конструкції допускають введення в один великий порт двох оптичних кабелів невеликих діаметрів з поділом їх при термоусадці металевою кліпсою з термоклеєвою вставкою.

При вводах у муфту кабелів з металевими елементами, вони повинні з'єднуватися між собою, а за необхідності – ще й заземлюватися. Для цього всередині муфти знаходиться заземлювальна шина з гвинтовим кріпленням для металевих силових елементів.

8.3. Прокладання оптичного кабелю всередині будівель

Треба зауважити, що потреба у будівництві розподільної оптичної мережі всередині будівлі існує для варіанта FTTH будівництва ОМД, коли оптичне волокно заводиться безпосередньо до житлового приміщення абонента.

Будівництво вертикальної оптичної розподільної мережі. При прокладанні оптичного кабелю (ОК) всередині будівель звичайно переважає вертикальна складова – розподільний кабель заводиться у будівлю та прокладається вертикально по міжповерхових стояках або у металевому рукаві по сходових маршах, від підвального приміщення до горища через усі поверхи будівлі.

При побудові розподільної оптичної мережі всередині будівель вирішуються наступні задачі:

– розміщення оптичних розподільних коробок по під'їздах та поверхах;

– монтаж оптичних розгалужувачів (якщо вони передбачені проектом);

– спосіб прокладання оптичного кабелю та способи його захисту і резервування.

При побудові вертикальної розподільної мережі будівлі необхідно керуватися принципами максимальної оперативності підключення абонентів до вертикального розподілення та мінімальної вартості комплектуючих для його організації.

Спосіб монтажу вертикальної розподільної мережі обирається на підставі низки характеристик будівлі, найбільш важливими з яких є: кількість квартир на поверсі, доступність слабострумних ніш та наявність вільного простору в них, можливість прокладання кабелю у вертикальних каналах будівлі.

Якщо у під'їзді дому передбачено два стояки або декілька вертикальних каналів, то для прокладання кабелю обирається тільки один, найменш завантажений канал. У випадку неможливості прокладання кабелю в єдиному існуючому стояку, потрібно розглянути варіант укладання кабелю у металевому рукаві або гофрованій трубі спірально вздовж стін сходових маршів (при цьому потрібно використовувати кабель з малим радіусом вигину до 15 мм). Такий спосіб дає велику перевитрату розподільного кабелю, але може виявитися дешевше за будівництво нового вертикального стояка або і зовсім бути єдиним можливим варіантом (наприклад, неприпустима проробка нових отворів у міжповерхових перекриттях).

У кожному під'їзді у вертикальних каналах прокладається один ОК модульної структури ємністю, найбільш близькою до кількості квартир у під'їзді з урахуванням запасу оптичних волокон (ОВ). На кожному поверсі відділяється потрібна кількість ОВ, яка повинна бути достатньою для підключення 100 % абонентів протягом наступних кількох років експлуатації мережі, тому що вільне місце у вертикальних стояках за цей період може бути зайнято іншими комунікаціями.

Забороняється використовувати складовий вертикальний кабель з ділянками різної ємності. Також слід відмовитися від муфт та зварних з'єднань волокон, а застосовувати кабельні зборки або технологію швидкого механічного монтажу роз'єму на волокно у польових умовах.

Організація горизонтального відгалуження в оптичній розподільній мережі. Існує два варіанти організації поверхових горизонтальних відгалужень від міжповерхового вертикального кабелю:

– застосування оптичних розподільних коробок (ОРК);

– Y-подібне відгалуження оптичних волокон (кабель спеціальної конструкції у комплекті з фурнітурою та інструментом).

Перший варіант – це класичний спосіб організації підключення абонента до вертикальної розподільної мережі будівлі на поверсі з використанням оптичних роз'ємів. Як правило, ОРК мають дві базові ємності – на 8 та 12 абонентських підключень, використання ОРК більшої ємності не доцільне (рідко зустрічаються житлові будинки з кількістю квартир більше за шість). При будівництві розподільної мережі слід притримуватися принципу – одна ОРК на поверх, бо неможна передбачати прокладання абонентського оптичного кабелю навіть між сусідніми поверхами, тому що міжповерхові стояки швидко заповнюються сміттям і кабелями інших операторів та служб.

Отже, розподільну мережу всередині будівель на базі ОРК доцільно використовувати у житлових будинках з кількістю квартир не менш ніж шість на поверх та за умови достатнього місця для монтажу ОРК у слабострумній ніші. При чому ОРК монтуються у процесі будівництва вертикальної розподільної мережі будівлі.

Другий варіант – це сучасний альтернативний спосіб, що не потребує монтажу ОРК та, відповідно, використання роз'ємних з'єднань на поверсі.

У цьому варіанті, при будівництві вертикальної розподільної мережі застосовується ОК спеціальної сухої внутрішньої конструкції, в якому кожне волокно знаходиться у власному кевларовому модулі та має малий радіус вигину (волокна за Рекомендацією ITU G.657). Такий кабель (1) дозволяє в міру необхідності виймати потрібну кількість маркованих волокон (2) з невеликого надрізу (3) оболонки вздовж кабелю (менш 10 см) на кожному поверсі (рис. 8.2). Місце відгалуження на кабелі захищається спеціальним Y- подібним малогабаритним фіксуючим пристроєм пластику, що не горить (4). Типові розміри таких відгалужувачів передбачаються виробниками на чотири або шість абонентських підключень. У комплект входить уся необхідна пластикова фурнітура для організації захищених відводів та набір спеціальних інструментів.

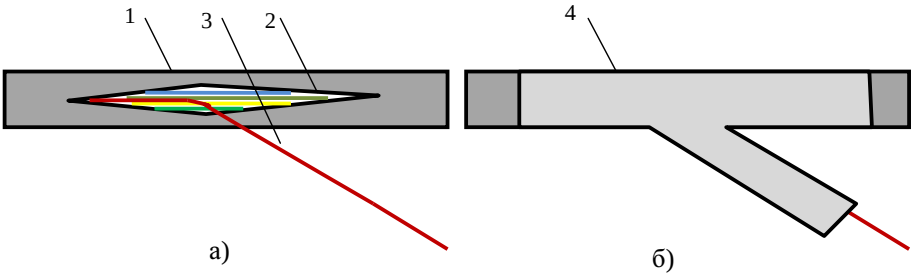


Рис. 8.2. Організація Y-подібного відгалуження: а) надріз оболонки ОК та виймання волокна; б) монтаж фіксуючого пристрою

Отже, розподільну мережу всередині будівель на базі Y-подібних відгалужень доцільно використовувати у житлових будинках з малою кількістю квартир на поверх – від шести та менше.

Цей самий підхід може бути використаний при будівництві горизонтальної оптичної розподільної мережі в офісних будівлях, де переважає горизонтальна складова на просторих поверхах.

8.4. Будівництво абонентської ділянки оптичної мережі доступу

Абонентська ділянка не входить до складу робочих креслень проекту оптичної мережі доступу, тому монтується службою експлуатації в міру надходження заявок абонентів на підключення до послуг ШАД та укладання договорів. Тим не менш, робочим проектом повинно бути передбачено як спосіб підключення абонентів (патчкорди, пігтейли, монаж ОРК або організація Y-подібного відгалуження), так і спосіб розміщення оптичної розетки та абонентського термінала ONT у квартирі.

Спосіб введення волокна у квартиру повинен передбачати:

– найменший час присутності монтажників у квартирі;

– монтаж абонентського термінала ONT поряд з оптичною розеткою та розеткою електроживлення;

– можливість прокладання металевих кабелів по приміщенню до кінцевих пристроїв – комп'ютерів, телефонів та телевізорів (за узгодженням з абонентом).

8.5. Вимірювання в оптичних мережах у процесі будівництва

На етапі будівництва PON необхідно виконати виміри: вхідний контроль та виміри при будівельно-монтажних роботах.

Вхідний контроль параметрів компонентів мережі проводиться перед початком будівництва. Виробляється перевірка відповідності параметрів ОК, шнурів, ОР та інших пристроїв заявленим значенням.

Будівельно-монтажні виміри містять у собі: двоспрямований вимір ORL; двоспрямований вимір оптичних втрат між двома будь-якими кінцевими точками.

Примітка. На змонтованій мережі PON, згідно з [2], ORL повинно бути більше ніж 32 дБ. Проте, на етапі будівництва рекомендується прийняти загальний рівень ORL для змонтованої мережі PON не менше ніж 40 дБ, що дозволить уникнути деградації сигналу в майбутньому.

Для тестування інфраструктури PON потрібно забезпечити точки підключення відповідних вимірювальних приладів. Ці точки повинні бути обладнані рознімними з'єднаннями.

Точки можливого підключення вимірювальних приладів показані на рис. 8.3. Такими точками повинні бути: вихід OLT (1), вихід мультиплексора WDM (2), станційний крос ODF (3), вхідний (4) та вихідний (5) порт ОР у ОРШ та вхід ONT (6).

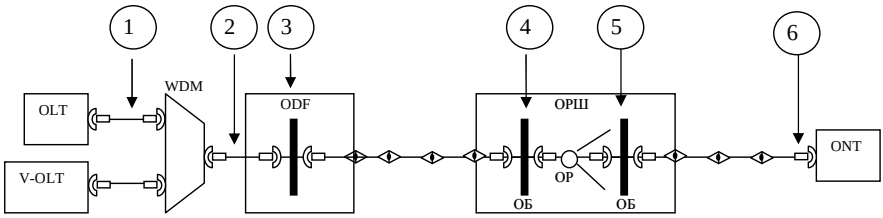


Рис. 8.3. Точки мережі PON для підключення вимірювального обладнання

Тестування лінії «точка-точка» повинне виконуватися на кожному побудованому сегменті PON. Зокрема, після прокладання магістрального ВОК, до підключення активного обладнання і розгалужувачів повинне проводитися тестування всіх ОВ між виходами оптичного кроса на мережному вузлі (АТС) та їхніми закінченнями у змонтованому ОРШ. Виміри згасання необхідно проводити в обох напрямах на трьох довжинах хвиль: 1310, 1490 і 1550 нм.

Визначення внесених втрат і зворотних відбиттів на портах розгалужувача виконуватися після його установлення в ОРШ. Тестування «точка-точка» повинно бути виконане між кожним вихідним портом розгалужувача й OLT. У випадку встановлення СОК (на поверхах будівлі) тестування повинне бути проведене між кожним абонентським закінченням у СОК і OLT.

При будівництві рекомендується робити двуспрямоване зняття характеристик лінії, тобто рефлектограма змонтованої PON зі сплітером від станції до абонента.

Примітка. Рефлектограма повинна відображати наступні параметри: оптичні втрати лінії на трьох довжинах хвиль, значення ORL.

Всі виміряні параметри PON повинні відповідати розрахунковим значенням.

Приймально-здавальні виміри оптичних параметрів пасивної оптичної мережі проводяться в наступному об'ємі: а) вимір оптичної потужності на виході передавальних пристроїв; б) вимір згасання в оптичному лінійному тракті.

Примітка. Виміри оптичної потужності на вихідних портах оптичних передавальних пристроїв і на вхідних портах оптичних приймальних пристроїв OLT і ONT проводити безпосередньо в момент пусконалагоджувальних робіт на цьому обладнанні.

Вимір оптичної потужності передавачів в оптичному кросі після WDM мультиплексора виконується на довжині хвилі 1490 нм (випромінювач OLT) і на 1550 нм (передавач телевізійних сигналів). При невідповідності отриманих значень проектним даним слід провести вимір безпосередньо на виході обох передавальних приладів, а також на виході оптичного підсилювача. Слід зробити вимір потужності на вході оптичних приймачів OLT і ONT.

Примітка. Потужність на виході WDM мультиплексора треба вимірювати приладом, що має вбудовані фільтри для окремого виміру на кожній довжині хвилі, оскільки звичайний вимірювач потужності покаже деяке сумарне значення, що не характеризує різні передавальні прилади. Фотодіод вимірювача потужності має досить широку спектральну смугу і детектує сумарну оптичну потужність у діапазоні довжин хвиль 1200…1650 нм. Проте, чутливість фотодіода на різних довжинах хвиль є неоднаковою.

Слід також проводити вимір загального згасання для всіх гілок PON. При отриманні значення втрат вище за розраховані, слід провести виміри втрат потужності сигналу в окремих сегментах мережі.

Примітка. За відсутності каліброваного джерела випромінювання у вигляді окремого приладу для виміру згасання в різних точках PON можна використати передавальний пристрій OLT (на 1490 нм) або оптичний передавальний пристрій телевізійного сигналу (на 1550 нм). Вважаючи їхнє випромінювання практично безперервним, потрібно спочатку виміряти рівень потужності на виході передавача, а потім – у заданій точці мережі. Різниця цих рівнів (дБм) і покаже згасання на вимірюваної ділянці мережі.

9. ЕКСПЛУАТАЦІЯ ОПТИЧНИХ МЕРЕЖ ДОСТУПУ

Основними завданнями технічного обслуговування мереж PON є наступні: виконання комплексу заходів з підтримки в працездатному стані засобів зв'язку; підтримка в установлених межах показників якості експлуатованої мережі. Перелік і порядок проведення заходів з технічного обслуговування мереж PON визначаються експлуатаційними документами виробника і відповідними стандартами та технологічними інструкціями експлуатаційних організацій з урахуванням місцевих умов та обсягу обслуговуваного обладнання мережі.

Технічне обслуговування включає виконання наступних робіт:

– управління мережею (віддалений моніторинг ONT засобами OLT, конфігурація мережі та ONT через OLT);

– збір аварійної сигналізації від активного та пасивного обладнання мережі;

– проведення профілактичних (планових) вимірів;

– пошук і усунення пошкоджень у мережі;

– огляд і профілактичне обслуговування пасивного обладнання;

– виміри при підключенні нових абонентських пристроїв;

– проведення охоронних заходів.

Роботи з технічного обслуговування обладнання мереж PON виконуються відповідно до затверджених річного та квартальних планів-графіків. Виявлені недоліки підлягають усуненню при ремонті обладнання мереж PON.

Річний план профілактичних робіт складається з урахуванням рекомендацій постачальника обладнання, викладених в експлуатаційних документах, з метою контролю основних параметрів мережі PON і прогнозування можливого погіршення якості передавання. Календарні річні плани проведення профілактичних робіт складаються щорічно і затверджуються головним інженером експлуатаційної організації або начальником станційного цеху. На підставі календарного річного плану складаються робочі плани на кожен місяць. Плани робіт мають бути вивішені на видному місці.

Доступ до обладнання управління і технічного обслуговування повинен мати тільки зареєстрований обслуговуючий персонал. Для цього персоналу мають бути установлені різні рівні адміністративного управління і відповідні обмеження. Технічний персонал, обслуговуючий активне обладнання, здійснює: цілодобовий контроль за працездатністю і якістю роботи обладнання, облік і усунення усіх збоїв і ушкоджень; аналіз, діагностику й усунення ушкоджень, виявлених за допомогою моніторингу; передачу заяв про ушкодження в інші підрозділи.

9.1. Управління мережею

Управління мережею PON здійснюється віддалено з робочого місця оператора автоматизованої системи управління мережею (елементами мережі), організованого на центральному вузлі.

Автоматизована система управління мережею (елементами мережі) виконує функції управління: а) відмовами, б) конфігурацією, в) якістю передачі та г) безпекою.

Область управління відмовами дозволяє контролювати помилки, що виникають при передаванні інформації в різних вузлах мережі у висхідному і низхідному потоках, інформувати оператора про статус помилок, за допомогою спеціальних алгоритмів виявити місце виникнення помилок та інше.

Область управління конфігурацією включає такі функції, як конфігурацію обладнання, конфігурацію інтерфейсів UNI, організацію каналів, вибір швидкості передавання та деякі додаткові функції.

Область управління якістю передачі включає постійний моніторинг роботи системи, проведення автоматичних перевірок. Відстежуються тимчасові затримки, кількість помилок в мережі, стан середовища передачі оптичного сигналу. Область управління безпекою забезпечує збереження цілісності і захищеності інформації, наприклад, шифрування даних, обмін ключами і деякі інші функції.

9.2. Збір аварійної сигналізації від обладнання мережі

Аварійна сигналізація в процесі експлуатації мережі PON дає найбільш важливу інформацію для пошуку несправностей. Аварійні сигнали у системі управління мережею (елементами мережі) відображаються у вигляді текстових або графічних повідомлень. Усі повідомлення, що приймаються, містять:

– фізичну та/або логічну адресу несправного обладнання;

– категорію терміновості усунення несправності (пріоритет аварійного повідомлення);

– дату і час виникнення несправності;

– текст аварійного повідомлення;

– іншу додаткову інформацію, яку обслуговуючий персонал може використати для локалізації й усунення несправності обладнання.

Після надходження аварійного повідомлення обслуговуючий персонал повинен виконати усі необхідні заходи для установлення причини виникнення аварійного повідомлення й усунення несправності відповідно та зробити відповідні записи в оперативному журналі. Переліки аварійних і інформаційних повідомлень, що включають опис формату повідомлень, ідентифікатори повідомлень та їх опис є в експлуатаційних документах на обладнання OLT.

9.3. Профілактичні вимірювання

Профілактичні виміри виконуються відповідно до затверджених річних і квартальних планів-графіків з метою контролю основних параметрів мережі PON і прогнозування можливого погіршення якості передавання.

При проведенні технічного обслуговування обладнання мереж PON виконуються двоспрямовані виміри: 1) згасання (втрат) – IL; 2) зворотних втрат (внаслідок відбиття) – ORL.

Виміри на діючій мережі PON проводяться без відключення абонентських пристроїв (крім, за необхідності, тестованого). Виміри здійснюються на неробочій довжині хвилі (1625 нм) із застосуванням додаткових пристроїв (хвильових мультиплексорів, фільтрів), щоб випромінювання вимірювального обладнання не додавало завад до корисного сигналу.

Загальне згасання в лінійному тракті повинне відповідати проектному бюджету втрат. Згасання на довжині хвилі 1625 нм у середньому на 10 % вище, ніж на 1550 і 1490 нм. Тому вимір згасання на довжині хвилі 1625 нм дає верхню оцінку згасання на робочих довжинах хвиль. Якщо ця оцінка укладається у проектний бюджет, то згасання на робочих довжинах хвиль свідомо задовольняє вимогам бюджету.

Мінімальне значення ORL для мережі G-PON складає 32 дБ, а для обладнання E-PON (GE-PON) 20дБ.

Для проведення вимірів повинні використовуватися вимірювач оптичних втрат (OLTS) і вимірювач зворотних втрат ORL (ORL-тестер), оптичні рефлектометри (OTDR), що адаптовані до специфіки оптичних мереж.

Зручно застосовувати багатофункціональні оптичні тестери «все в одному», що містять: тестер втрат; вимірювач потужності; вимірювач зворотних оптичних втрат (ORL); візуальний дефектоскоп; багатомодові і одномодові джерела випромінювання; цифровий переговорний пристрій (оптофон); вимірювач довжини волокна; відеомікроскоп. Такий багатофункціональний тестер (набір) дозволяє:

– вибрати параметри виміру і пороги для оцінки за критерієм придатний/непридатний;

– налаштувати параметри користувача і параметри ідентифікації волокна;

– створити звіти за результатами проведених вимірів;

– отримати доступ до даних і завантажити результати на персональний комп'ютер через порт RS-232.

9.4. Пошук і усунення несправностей в мережі PON

На діючих мережах PON для визначення пошкодженої ділянки волокна, а також для усунення пошкодження використовується метод прямого накладання двох рефлектограм – еталонної (опорної) і тестової (виміряної).

Рефлектограма – це графік згасання в лінії в залежності від відстані. Опорна рефлектограма, яка відповідає нормальному стану мережі PON, знімається на справній діючій мережі і має бути змінена за будь-якої, навіть

незначної зміни структури мережі (підключення нового абонента, заміни розгалужувача і тому подібне). При виявленні проблем у мережі (наприклад, якщо виміряне згасання виявилося вище за розрахункове) знімається нова рефлектограма, яка порівнюється з опорною. Нові події на рефлектограмі вказують місце розташування неоднорідності/пошкодження.

Зняття рефлектограми «дерева» PON для порівняння її з опорною рефлектограмою необхідно робити не рідше одного разу на місяць за допомогою позасмугового оптичного рефлектометра (OTDR). OTDR забезпечує графічне представлення лінії, що дозволяє виявляти й оцінювати кожен її елемент (з'єднувачі, розгалужувачі і т.п.) і ушкодження. OTDR з тестовим модулем на 1625 нм підключається до вільного кінця хвильового мультиплексора на центральному вузлі. Випромінювання OTDR поширюється по гілках PON і за рахунок відбиття на неоднорідностях і зворотного розсіювання в оптичному волокні повертається назад на вхід OTDR.

Якщо пошкоджена ділянка знаходиться не дуже далеко від одного або декількох непрацюючих ONT, то виміри лінії проводять на ділянці від ONT до центрального вузла. OTDR може визначити характер несправності та їх місцеположення, якщо між рефлектометром і неоднорідністю є не більше двох розгалужувачів.

Оскільки більшість компонентів у мережі PON є пасивними, несправності в мережі, здебільшого, виникають внаслідок пошкоджень, погано підключених з'єднувачів, обривів або макровигинів ОК.

Пошкодження оптичного з'єднувача може викликати пил, бруд, сліди ізопропілового спирту, жир від рук, олія, сліди гелю, чорнил на жировій основі або будь-яка комбінація цих факторів. Пошкодження з'єднувача призводить до збільшення ORL, погіршення швидкості передавання сигналу, збільшення BER, погіршення загальних параметрів лінії. Наприклад, порошинка розміром 1 мкм в одномодовому волокні зменшує сигнал на 1% (0,05 дБ). Для контролю якості і чистоти поверхні оптичного з'єднувача застосовуються оптичні мікроскопи або відеомікроскопи. Використання відеомікроскопів прийнятніше, оскільки вони дають об'єктивнішу картину стану з'єднувача і менше стомлюють обслуговуючий персонал.

Макровигини можуть виникати при маніпуляціях обслуговуючого персоналу з технологічними петлями оптичного волокна в розподільній шафі, затисках петель або їх надмірному вигині, проникненні води, яка потім замерзає в корпусах, що створює значні втрати. Втрата світла при макровигині збільшується з довжиною хвилі. Наприклад, типові втрати на макровигин на 1550 нм – 4дБ, а на довжині хвилі 1650 нм – вже 8 дБ.

Дуже часто причиною аварії на мережі PON є пошкодження оптичних шнурів. Це відбувається внаслідок недбалого поводження обслуговуючого персоналу або користувачів зі шнурами, підключеними до оптичних кросів, розподільних пристроїв або абонентських терміналів. У результаті вигинів з малим радіусом, ударів, ривків, стискування і тому подібне можуть утворюватися тріщини або обриви волокна, як в самому шнурі, так і на його кінці, що прилягає до корпуса з'єднувача. Іноді пошкодження виникають у

зв'язку з низькою якістю шнура, який не витримує декількох операцій підключення/відключення.

Виявити ушкодження станційних шнурів, неякісні зварні з'єднання і критичні вигини волокон у кросових пристроях, розподільних боксах і муфтах можна за допомогою джерела видимого лазерного випромінювання (візуального дефектоскопа). Візуальний дефектоскоп містить лазер на довжину хвилі 650 нм (червоне світло) й універсальний адаптер для підключення до з'єднувачів різного типу. При підключенні джерела до шнура місце ушкодження яскраво світиться і легко виявляється візуально навіть крізь оболонку шнура.

При виникненні на вузлі мережі PON аварії або ушкодження першої категорії (припинення надання послуг зв'язку більш ніж на 50 % або більше 50 % абонентам вузла) технічний персонал повинен:

– оперативно визначити характер і місце ушкодження;

– доповісти про те, що сталося керівникові структурного підрозділу, головному інженерові організації;

– викликати необхідних фахівців для усунення пошкодження, якщо воно сталося в нічний час або у вихідні дні. Список номерів телефонів фахівців мають бути у чергового персоналу;

– за необхідності звернутися за послугами у сервісний центр технічної підтримки;

– після усунення пошкодження провести контрольні перевірки працездатності обладнання і забезпечити його нормальну експлуатацію.

9.5. Огляд і профілактичне обслуговування пасивного обладнання

При огляді і профілактичному обслуговуванні пасивного обладнання мережі PON виконуються наступні роботи: а) огляд стану кабелів і муфт**;** б) при профілактичному обслуговуванні оптичної розподільної шафи (ОРШ) і ОР – виправка положення ОК, прочищення цоколя і протирання корпуса ОРШ і СОК (усередині і зовні); заміна нумерації ОРШ і СОК.

9.6. Виміри при підключенні нового абонентського пристрою

При додаванні нового ONT до мережі PON робиться перевірка можливості надання послуг Triple Play за допомогою аналізатора Triple Play. Якщо при тестуванні послуг виявилися помилки або відмови, проводять вимір оптичної потужності в низхідному і висхідному напрямах на цій гілці, при цьому допустимі втрати оптичного сигналу на усьому шляху від оптичного передавача до приймача не повинні перевищувати оптичний бюджет потужності.

Для виконання вимірів використовується вимірювач потужності для PON з функцією розподілу довжини хвиль, який підключається як наскрізний (на прохід) пристрій в місці розташування ONT, забезпечуючи при цьому безперешкодне проходження сигналів у низхідному і висхідному напрямах.

Оптична потужність у низхідному напрямі на довжинах хвиль 1550 і 1490 нм повинна відповідати мінімальній чутливості приймального пристрою ONT у залежності від класу PON відповідно до [2].

Якщо при проведенні вимірів у місці розташування ONT виявляється недостатній рівень оптичної потужності, необхідно визначити в лінійному тракті PON за допомогою OTDR компонент абонентської лінії, який має завищене значення оптичних втрат.

Після приведення абонентської лінії до норми за оптичним бюджетом потужності виконується повторна перевірка можливості надання послуг Triple Play за допомогою аналізатора Triple Play.

10. ДОВІДКОВІ МАТЕРІАЛИ ДО ЧАСТИНИ 2

10.1. Пасивні компоненти мереж доступу

Пасивними називають пристрої, які для свого функціонування не потребують енергії живлення. До них відносять оптичні волокна й кабелі, оптичні розгалужувачі, оптичні з'єднувачі, спектральні мультиплексори та ін.

10.1.1. Оптичні волокна

В оптичних мережах доступу використовуються оптичні кабелі (ОК) з одномодовими (ОМ) ОВ. У табл. 10.1 наведені параметри передачі стандартного одномодового ОВ.

Таблиця 10.1

Параметри стандартного одномодового ОВ і ОК

Назва рекомендації G. 652	Основні ознаки ОВ (оптичного кабелю)	Коефіцієнт згасання, дБ/км	Коефіцієнт хроматичної дисперсії, пс/(нм·км)
Параметри: стандартний ОМ ОВ і ОК на його основі	Нульова хроматична дисперсія й довжина хвилі відсікання не зміщені з області 1260…1360 нм	0,35...0,5 в області 1288...1339 нм	≤ 3,5 в області 1288...1339 нм
		0,2...0,4 в області 1550 нм	≤ 18,0 в області 1550 нм
Примітки: 1) Будівельна довжина оптичного кабелю $l_б$ = 2…7 км. 2) При прокладанні ОК у кабельній каналізації МТМ – $l_б$ = 2 км.			

10.1.2. Оптичні розгалужувачі

Розгалужувачі (splitters) і відгалужувачі (couplers) застосовуються в багатьох випадках – у мережах КТБ, у ЛОМ, у системах моніторингу й у пасивних оптичних мережах (PON) доступу. В рекомендації ITU-T G.671 викладені вимоги до параметрів оптичних розгалужувачів незалежно від області їхнього застосування.

Оптичний розгалужувач – це пасивний оптичний багатополюсник, що розподіляє потужність вхідного випромінювання на кілька вихідних потоків

(об'єднуючий потужності кількох потоків при зміні напряму передачі світла на зворотне). У загальному випадку в розгалужувачі може бути M вхідних і N вихідних портів. В оптичних мережах доступу найбільш часто використають розгалужувачі типу 1x N (з одним вхідним і N вихідними портами). Розгалужувачі 2 x N застосовуються у системах з резервуванням волокон. *Відгалужувачем* звичайно називають пристрій, в якому вихідна потужність розподіляється не обов'язково в рівній пропорції між вихідними портами.

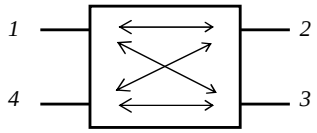


Рис.10.1. Умовне графічне зображення чотирипортового розгалужувача X-типу

На рис. 10.1 показаний двоспрямований розгалужувач із чотирма портами (розгалужувач X-типу), де можливі напрями розподілу потужності випромінювання показані стрілками. Для опису параметрів розгалужувача приймемо, що на порт *1* надходить потужність P_1. Ця потужність розподіляється між портами *2* і *3* відповідно до необхідного коефіцієнта розгалуження. В ідеальному випадку ніяка потужність не попадає до порту *4* (ізольований порт). Без втрат спільності розгляду можемо прийняти, що потужність P_2, що з'являється з порту *2*, дорівнює або більше, ніж потужність P_3, що з'являється з порту *3*. Вводять наступні параметри, що описують параметри передачі (рази) і втрати (дБ):

1. *Коефіцієнт передачі* P_2/P_1 і *втрати передачі* (throughput loss)

$$a_{\text{пер}} = -10\lg(P_2/P_1) = 10\lg(P_1/P_2),\ \text{дБ},$$

визначає передачу потужності із вхідного порту *1* на один з вихідних портів *2* або *3*.

2. *Коефіцієнт відгалуження* P_3/P_1 і *втрати відгалуження* (tap loss)

$$a_{\text{від}} = -10\lg(P_3/P_1) = 10\lg(P_1/P_3),\ \text{дБ}$$

враховують передачу потужності із вхідного порту *1*в порт відгалуження *3*.

3. *Коефіцієнт спрямованості* P_4/P_1 і *спрямованість* (directionality)

$$a_{\text{спр}} = -10\lg(P_4/P_1) = 10\lg(P_1/P_4),\ \text{дБ}$$

визначає передачу потужності із вхідного порту *1* в ізольований порт *4*.

4. *Надлишкові втрати* (excess loss)

$$a_{\text{над}} = -10\lg\,[(P_2 + P_3)/P_4] = 10\lg[P_4/(P_2 + P_3)],\ \text{дБ}$$

оцінюють потужність, що втрачається всередині розгалужувача. Вона обумовлена випромінюванням, розсіюванням, поглинанням і відгалуженням енергії в ізольований порт.

5. *Зворотні втрати ORL* (*optical return loss*) – відношення вхідної потужності P_1 до потужності P_R, що повертається по тому ж самому вхідному порту

$$ORL = 10\lg(P_1/P_R),\ \text{дБ}.$$

6. *Нерівномірність* (*uniformity*) розгалужувача U, дБ – розкид втрат передачі по всіх вихідних портах розгалужувача (для відгалужувача не має змісту).

7. *Полярізаційно-залежні втрати* – втрати передачі (відгалуження), що обумовлені зміною стану поляризації оптичного випромінювання.

8. *Коефіцієнт розгалуження* (*ділення*) *R* (*splitting ratio*) дорівнює відсоткам відношення потужностей на вихідних портах. Наприклад, якщо P_2 = 0,3 мВт; P_3 = 0,7 мВт, тоді *R* = 30/70 %.

В ідеальному розгалужувачі ніяка потужність не попадає в ізольований порт *4* ($a_{спр} = \infty$). До того ж, він не має внутрішніх втрат потужності, так що загальна потужність, що з'являється з портів *2* і *3*, дорівнює потужності на вході ($P_2 + P_3 = P_1$), що дає надлишкові втрати 0 дБ. Добре виготовлені розгалужувачі мають надлишкові втрати ≤1 дБ і коефіцієнт спрямованості ≥ 40 дБ.

Для розгалужувача без втрат $P_2 = P_1 - P_3$, так що втрати передачі можуть бути записані у вигляді

$$a_{пер} = -10\lg(1 - 10^{-a_{від}/10}) = 10\lg(1 - 10^{-a_{від}/10)-1}, \text{ дБ.}$$

Це співвідношення пов'язує втрати передачі із втратами відгалуження.

За числом вихідних портів і коефіцієнтами ділення потужності виробники пропонують низку номіналів для симетричних розгалужувачів 1 х *N*, двох і трипортових розгалужувачів. Звичайно крок коефіцієнта відгалуження становить 5%. Деякі виробники виготовляють на замовлення розгалужувачі з необхідними коефіцієнтами ділення, при цьому крок коефіцієнта ділення за кожним портом також становить 5 %.

Параметри одномодових оптичних розгалужувачів серії HLP 1000 [17] наведені в табл. 10.2 – 10.4.

Таблиця 10.2

Параметри та умови експлуатації одномодових оптичних розгалужувачів

№	Параметр	Од. виміру	Кількість одиниць
1	Робоча довжина хвилі	нм.	1310 і 1550
2	Ширина оптичного спектра	нм.	± 20
3	Спрямованість	дБ.	> 55
4	Температурний коефіцієнт	дБ/°С	< 0,001
5	Діапазон робочих температур	°С	– 40.....+ 85
6	Стандарти оптичних з'єднувачів	–	FC/UPC, FC/APC, SC/UPC, SC/APC, E-2000

Таблиця 10.3

Параметри одномодових оптичних розгалужувачів Y-типу (1 х 2) з одним вхідним і двома вихідними портами

Коефіцієнт розгалуження, %		Максимальне внесене згасання, дБ				Типове внесене згасання, дБ			
		Вих. порт 1		Вих. порт 2		Вих. порт 1		Вих. порт. 2	
Вих 1	Вих 2	Мін.	Макс.	Мін.	Макс.	Мін.	Макс.	Мін.	Макс.
95	5	0,2	0,3	12,2	14,0	0,2	0,2	12,6	13,5
90	10	0,4	0,6	9,6	10,5	0,4	0,5	9,8	10,2
85	15	0,7	0,8	8,0	8,6	0,7	0,7	8,1	8,5
80	20	0,9	1,1	6,7	7,3	0,9	1,0	6,8	7,2
75	25	1,2	1,4	5,8	6,3	1,2	1,3	5,9	6,6
70	30	1,4	1,7	4,9	5,5	1,5	1,6	5,1	5,4
65	35	1,7	2,1	4,3	4,8	1,8	2,0	4,4	4,7
60	40	2,1	2,4	3,8	4,2	2,1	2,3	3,8	4,1
55	45	2,4	2,8	3,2	3,8	2,5	2,7	3,3	3,6
50	50	2,8	3,3	2,8	3,3	2,9	3,1	2,9	3,1

Таблиця 10.4

Параметри одномодових оптичних зіркоподібних розгалужувачів (1 х *N*) типу з одним вхідним і *N* вихідними портами

Конфігурація розгалужувача	Згасання, що вносить ідеальний[1)] розгалужувач, дБ	Максимальне значення параметра реального розгалужувача		
		Внесене згасання, дБ	Неоднорідність за портами, дБ	Надлишкові втрати, дБ
1 х 3	4,77	5,4	0,6	0,4
1 х 4	6,02	6,6	0,7	0,4
1 х 5	7,00	8,0	0,8	0,6
1 х 6	7,78	8,7	0,85	0,6
1 х 7	8,45	9,4	0,9	0,6
1 х 8	9,03	10,0	0,95	0,6
1 х 9	9,54	10,8	1,0	0,8
1 х 10	10,00	11,2	1,1	0,8
1 х 11	10,41	11,7	1,3	0,8
1 х 12	10,80	12,1	1,4	0,8
1 х 13	11,14	12,5	1,5	0,8
1 х 14	11,46	12,6	1,6	0,8
1 х 15	11,76	12,8	1,7	0,8
1 х 16	12,04	13,3	1,9	0,8

[1)] Ідеальний (без внутрішніх втрат) зіркоподібний розгалужувач вносить згасання $10\lg(N)$, дБ, де N – число вихідних портів.

10.1.3. Оптичні з'єднувачі

Оптичний з'єднувач – це пасивний пристрій, призначений для з'єднання різних компонентів волоконно-оптичного лінійного тракту. Характерними прикладами є з'єднання: 1) джерела випромінювання з волокном (ДВ-ОВ); 2) волокна із приймачем випромінювання (ОВ-ПВ); 3) волокна з волокном (ОВ-ОВ). Втрати в з'єднувачах ДВ-ОВ і ОВ-ПВ враховує виготовлювач приймально-передавального обладнання, тому вони не розглядаються (і не враховуються) при проектуванні.

Розрізняють нероз’ємні та роз’ємні з'єднувачі ОВ. Нероз'ємні з'єднувачі установлюють у місцях постійного монтажу оптичних кабельних систем, наприклад, при з'єднанні будівельних довжин оптичного кабелю. Роз’ємні з'єднувачі[*] допускають багаторазове з'єднання/роз'єднання компонентів. Їх звичайно застосовують на станціях – в оптичних кросах. Проміжне положення займають з'єднувачі типу механічний «сплайс», що застосовується для тимчасових кабельних вставок. Нижче наведені основні параметри й типи роз’ємних з'єднувачів.

1. *Внесені втрати*

$$a_{вн} = 10\lg(P_{вх}/P_{вих}),\ дБ,$$

де $P_{вх}$ і $P_{вих}$ – оптичні потужності на вході й виході з'єднувача відповідно. У сучасних з'єднувачах (табл. 10.5) $a_{вн}$ = 0,1... 0,5 дБ залежно від стандарту й типу, що з'єднують ОВ – БМ, ОМ.

[*] У літературних джерелах застосовується також англомовний термін коннектор (connector).

2. *Втрати внаслідок зворотного відбиття* (*зворотні втрати*)

$$a_{зв} = 10\lg(P_{від}/P_{вх}),\ дБ,$$

де $P_{вх}$ і $P_{від}$ – вхідна (падаюча) і відбита в з'єднувачі оптичні потужності відповідно. Хоча в сучасних з'єднувачах частина відбитої потужності є меншою за 1/10000 від падаючої ($a_{від} < -40$ дБ) він, потрапляючи в резонатор лазера (що є автогенератором) може суттєво погіршити його роботу. Оптичний з'єднувач тим краще (і дорожче), чим менше значення $a_{вн}$ і $a_{зв}$.

3. *Повторюваність внесених втрат.* Ефективність з'єднання не повинна сильно змінюватися при повторних актах з'єднання/роз'єднання. Типові значення повторюваності становлять 0,1…0,25 дБ в залежності від його стандарту й типу.

4. *Передбачуваність.* Однакові внесені втрати повинні бути отримані, якщо використовуються ті ж самі комбінації з'єднувачів і волокон, тобто втрати не повинні залежати від кваліфікації монтажника.

5. *Великий ресурс роботи.* Повторені акти сполучення-роз'єднання не повинні погіршувати ефективність передавання або міцність з'єднання. Втрати установленого з'єднувача не повинні змінитися з часом. Гарантоване виготовлювачем число актів з'єднання/роз'єднання з'єднувача становить 200...1000.

6. *Висока міцність*. Ефективність з'єднання не повинна погіршитися внаслідок збільшення навантаження на корпус з'єднувача або натягування волокон кабелю.

7. *Сумісність із умовами навколишнього середовища.* З'єднання повинно протистояти змінам температури, вологості, хімічному впливу, попаданню бруду, перепадам тиску й вібраціям.

8. *Простота зборки.* Підготовка волокна й запаковування його в наконечник (ферулу) не повинне бути важким або займати багато часу.

9. *Легкість використання*. З'єднання й роз'єднання відповідних частин з'єднувача повинне бути простим і швидким.

10. *Малі габарити* (для оптичних кросів з високою щільністю).

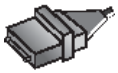
11. *Економічність.* Високоточні з'єднувачі дороги. Більш дешеві з'єднувачі для ЛОМ, виконані із пластмаси, мають гірші параметри.

З'єднувачі типу ОВ-ОВ мають симетричну конструкцію й складаються із трьох елементів – дві однакових вилки й одну розетку-втулку (*coupling*), Головним елементів з'єднувача є наконечник (*ferrule*), по осі якого установлено і зафіксовано (за допомогою клею) ОВ. Розетка є елементом, що центрує. Це трубка з поздовжнім розрізом. В неї із двох боків вставляються наконечники, трубка їх щільно охоплює, забезпечує їх співвісність і мінімальний зазор між торцями.

Зовнішній вигляд і основні параметри рознімних оптичних з'єднувачів наведені в табл. 10.5.

Таблиця 10.5

Зовнішній вигляд (вилка) і основні параметри рознімних оптичних з'єднувачів

Зовнішній вигляд	Стандарт	Внесені втрати, дБ	Повторюваність втрат, дБ	Тип ОВ	Область застосування
	Biconic	0,60...1,0	0,20	БМ, ОМ	Телекомунікації
	D4	0,20…0,5	0,20	БМ, ОМ	
	EC/RACE	0,10...0,30	0,10	ОМ	Високошвидкісна передача даних
	ESCON	0,20...0,70	0,20	БМ	Оптичні мережі
	FC	0,50...1,00	0,20	БМ,	Передача даних, телекомунікації
	FDDI	0,20...0,70	0,20	БМ	Оптичні мережі
	LC	0,15 (ОМ) 0,10 (БМ)	0,20	БМ, ОМ	Оптичні кроси зі значною кількістю з'єднувачів
	MT Array	0,30...1,00	0,25	БМ, ОМ	
	SC	0,20...0,45	0,10	БМ, ОМ	Телекомунікації
	SC Duplex	0,20...0,45	0,10	БМ, ОМ	Передача даних
	ST	0,40[1)] (ОМ) 0,50[1)] (БМ)	0,40[1)] (ОМ) 0,20[1)] (БМ)	БМ, ОМ	Будинкова мережа
Примітка: Подані типові значення; ОМ і БМ – одномодове і багатомодове ОВ відповідно.					

10.1.4. Спектральні мультиплексори

Пристрої спектрального мультиплексування WDM[1)] виконують функції спектрального мультиплексування (*MUX*) (об'єднання) або демультиплексування (*DEMUX*) (поділу) оптичних каналів переданих на різних довжинах хвиль. На боці передачі й прийому можуть установлюватися однотипні пристрої, але працюючі в режимах *MUX* (мультиплексування – об'єднання) і *DEMUX* (демультиплексування – поділу) відповідно.

Термінологія однаково застосовна до всіх WDM пристроїв. Розглянемо параметри простого двоканального мультиплексора. Поряд з функцією об'єднання (рис. 10.2,*а*) WDM-пристрої також можуть виконувати зворотну функцію (демультиплексування) – виділення сигналів різних довжин хвиль із

[1)] *WDM* – абревіатура англ. виразу Wavelength Division Multiplexed.

волокна (рис.10.2,*б*). Більшість WDM пристроїв об'єднують режими мульти/демультиплексування в одному пристрої. Такі пристрої можуть також застосовуватися для мульти/демультиплексування двоспрямованих потоків, рис.10.2,*в*.

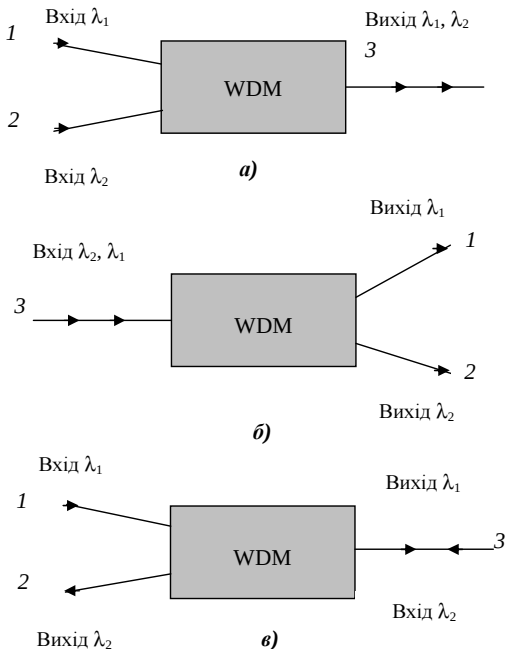


Рис. 10.2. Схематичне зображення двоканальних мульти/демультиплексорів

В ідеалі сигнал λ_1, що надходить на полюс *1* (рис. 10.2, *а*), повинен повністю проходити в загальний вихідний полюс 3 (*common*). Проте на практиці, деяка частка сигналу на довжині хвилі λ_1 відгалужується й проходить на полюс *2*. Аналогічно, стосовно до рис. 10.2, *б*, ідеальним було б, якщо всі 100% вхідної потужності сигналу на λ_1 проходили через полюс *1* і навпаки. Такої ефективності демультиплексування для кожного з існуючих WDM-пристроїв досягти неможливо.

Для оцінки цих негативних явищ вводять поняття *перехідні завади*, що показують, наскільки ефективно працює WDM-пристрій. Розрізняють завади на ближньому і дальньому кінцях. Перехідні завади на ближньому кінці NEXT (near end crosstalk або directivity) аналогічні коефіцієнту спрямованості й визначаються як частка потужності, що реєструється на довжині хвилі λ_1, на полюсі *2* (що відповідає за довжину хвилі λ_2) за умови, що сигнал на довжині хвилі λ_1, подається на полюс *1* (рис. 10.2, *а*).

Перехідні завади на дальньому кінці FEXT (far and crosstalk або isolation) є засобом ізоляції між вихідними полюсами для сигналів різних довжин хвиль. Так, якщо сигнал на довжині хвилі λ_1, надходить на полюс 3 (*common*) (рис.10.2, *б)*, то для нього FEXT – це частка потужності, що реєструється на довжині хвилі λ_1 на полюсі *2*, яка відповідає за довжину хвилі λ_2.

У загальному випадку *WDM-модуль 1 : n* можна описати набором з *n* матриць перехідних коефіцієнтів (по одній матриці на кожну довжину хвилі), де кожна матриця має розмірність (*n + 1*) x (*n + 1*).

Приклад типової матриці WDM модуля (*1:2*) наведений у табл. 10.6.

Таблиця 10.6

Матриця втрат [$a_{i,j}$], дБ WDM-модуля *1:2*

Вхід	Вихід на λ_1 = 1310 нм			Вихід на λ_2 = 1550 нм		
	1	2	3 (*com*)	1	2	3 (*com*)
1	≤ – 50	≤ – 25	≤ 1,5	≤ – 50	≤ – 25	≤ –25
2	≤ – 25	≤ – 50	≤ – 25	≤ – 25	≤ – 50	≤ –1,5
3 (*com*)	≤ 1,5	≤ – 25	≤ – 50	≤ – 25	≤ 2,5	≤ –50

Згідно з Рекомендацією G.671 втрати, що вносить WDM мульти/демультиплексор:

$$A_{\text{mux}} = A_{\text{demux}} = 1{,}51\log_2 n,$$

де n – число вхідних портів мультиплексора або вихідних портів демультиплексора. Наприклад, для n = 8 отримуємо $A_{\text{mux}} = A_{\text{demux}}$ = 4,5 дБ внесених втрат для кожного з цих пристроїв.

Широкосмугові WDM-пристрої призначені для роботи із двома-трьома довжинами хвиль при відстані між каналами більш, ніж 70 нм (наприклад, 1310, 1550, 1625 нм). Вони застосовуються у ВОСП і оптичних мережах доступу. Пара довжин хвиль 1550/1625 нм застосовується при здійсненні дистанційного моніторингу мереж на довжині хвилі 1625 нм.

Як приклад, наведемо основні параметри широкосмугового WDM-фільтра виробництва компанії *DiCon*: довжина хвилі 1310/1550 нм: режими роботи – мультиплексор (рис. 10.2, *а*), демультиплексор (рис. 10.2 ,*б*) або двоспрямована передача сигналу: перехідні завади на ближньому кінці –60 дБ; перехідні завади на дальньому кінці –40 дБ (по вихідному порту *1*) і –20 дБ (по вихідному порту *2*); втрати, що вносяться, не більше 1,0 і 0,7 дБ (у вихідних портах *1* і *2* відповідно): зворотні втрати –55 дБ; застосовано стандартне ОМ волокно; можливе виконання, як без з'єднувачів (стандартний мінікабель діаметром 3 мм, або з волокном у буфері діаметром 900 мкм), так і з рознімними з'єднувачами певного стандарту.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ ДО ЧАСТИНИ 2

1. *Алексеев Е.Б.* Оптические сети доступа: учеб. пособ./ Алексеев Е.Б. – М.: МТУ СИ, 2005. – 140 с.

2. *Корнейчук В.И.* Волоконно-оптические оптические измерения / В.И. Корнейчук, И.П. Лесовой. – К.: Наукова думка, 2002. – 323 с.

3. *Петренко И.И.* Пассивные оптические сети PON: Часть 1 – Архитектура и стандарты/ LIGHTWAVE *Russian Edition* / И.И. Петренко, Р.Р. Убайдуллаев. – 2004. – № 1. – 22-28 с. (www.lightwave-russia.com).

4. *Петренко И.И.* Пассивные оптические сети PON: Часть 2 – Ethernet на первой миле/ LIGHTWAVE *Russian Edition* / И.И. Петренко, Р.Р. Убайдуллаев. 2004. – № 2. – 25-32 с. (www.lightwave-russia.com).

5. *Скляр В.* PON – услуги и сеть как единое целое / Скляр В. // СЕТИ& БИЗНЕС. – 2009. – № 5 (48). – (www.sib.com.ua).

6. Рекомендація ITU-T МСЭ-Т G.983.1. Оптические системы широкополосного доступа, базирующиеся на пассивной оптической сети (PON)

7. Рекомендація ITU-T МСЭ-Т G.983.2 Спецификация интерфейса управления и контроля ONT для систем B-PON.

8. Рекомендація ITU-T МСЭ-Т G.983.3. Система широкополосного оптического доступа с расширенными функциональными возможностями за счет использования распределения по длинам волн.

9. Рекомендація ITU-T G.984.1. Gigabit-capable passive optical networks (GPON): General characteristics (Пасивні оптичні мережі з підтримкою Гігабітної швидкості (GPON): Загальні характеристики).

10. Рекомендація ITU-T G.984.3. Gigabit-capable Passive Optical Networks (G-PON): Transmission convergence layer specification (Пасивні оптичні мережі з підтримкою Гігабітної швидкості (GPON): Специфікація рівня конвергенції передачі).

11. Рекомендація ITU-T G.652 Characteristics of a single-mode optical fibre cable (Характеристики одномодового оптичного волокна).

12. Сайт www.cableman.ru («Кабельщик» – информационно-аналитический журнал для профессионалов кабельного телевидения).

13. Сайт www.optokon.ua (Технічні характеристики сплітерів виробництва Optokon Co, LTD).

14. Сайт www.pbi-russia.com. (Ціни на обладнання, Росія).

15. Сайт www.toima.ru. (Ціни на обладнання, Росія).

16. Сайт www.optalux.com.ua. (Ціни на обладнання, Україна).

17. Сайт www.harmonic.com. (Технічні характеристики сплітерів для мереж КТВ).

ЧАСТИНА 3

ПРОЕКТУВАННЯ ОПТИЧНОЇ ДІЛЯНКИ ГІБРИДНОЇ ВОЛОКОННО-КОАКСІАЛЬНОЇ МЕРЕЖІ ДОСТУПУ

Сучасним варіантом широкосмугового абонентського доступу є «гібридна волоконно-коаксіальна мережа» (Hybrid Fiber Coax – HFC). Ця технологія дозволяє доставляти до абонентів ТВ програми в аналоговому та цифровому форматах, а також забезпечувати додаткові інтерактивні послуги – IP-телефонію, роботу в мережі Інтернет, відео за запитом, передавання сигналів систем охоронної і пожежної безпеки, відеоспостереження, керування домашньою автоматикою («розумний будинок») і т.п.

Мережа HFC з інтеграцією послуг – гнучка телекомунікаційна платформа, призначена для створення широкосмугових, гібридних розподільних телекомунікаційних мереж. Це модульна система, що дозволяє почавши з малої частини й, уже надаючи послуги, нарощувати (у міру необхідності) її можливості як за якістю, так і за кількістю. Така особливість вигідно відрізняє її від інших типів мереж.

Мережі HFC є гібридними в усіх змістах:

– середовище передачі «волокно – мідь»;

– формат передачі «аналог – цифра»;

– «широка смуга – вузька смуга»;

– «розподіл – централізація»;

– «універсальність даних – спеціальні протоколи».

Мережа HFC мережа дає можливість поступового переходу від традиційних (повністю коаксіальних) мереж до перспективних мереж доступу, максимально використовуючи існуючу коаксіально-кабельну інфраструктуру й телекомунікаційне обладнання.

Будівництво оптичної мережі – трудомісткий, тривалий і коштовний процес. Основні витрати при розгортанні мережі припадають на будівельно-монтажні роботи (до 70%), а вартість лінійного й станційного обладнання становить відносно невелику частку. Зазначимо, що кількість волокон в оптичних кабелях не суттєво впливають на вартість проекту.

Хоча життєвий цикл електронних компонентів мережі становить кілька років, оптичний кабель (і мережа на його основі) мають досить тривалий термін служби (принаймні, 30 років). Така довговічність і значні витрати на будівництво ставлять високі вимоги до проектування оптичної мережі. Після того як прокладання кабелю буде завершене, внесення змін буде вимагати суттєвих додаткових витрат. Саме із цієї причини майбутній інженер-зв'язківець повинен уміти правильно спроектувати оптичну мережу доступу.

11 ПОБУДОВА ГІБРИДНОЇ МЕРЕЖІ ДОСТУПУ

11.1. Доступ мережами кабельного телебачення

Користувачі мережі Інтернет можуть вибирати з технологій провідного широкосмугового доступу або цифрову абонентську лінію – ЦАЛ (Digital Subscriber Line – DSL), або кабельний модемний зв'язок – КМЗ*. Кожна із цих технологій доступу має свої переваги, недоліки й свій контингент абонентів.

Доступ за технологіями xDSL організують компанії телефонної мережі загального користування (ТфЗК). Послуги кабельного модемного зв'язку надають оператори мереж кабельного телебачення (КТБ). У світі працює понад 20 тис. великих компаній-операторів КТБ. Компанія, що надає послуги кабельного ТБ, телефонії й доступу до мережі Інтернет, називається «мультисистемним оператором» – МСО (Multiple Systems Operator – MSO). Загальним для КМЗ і асиметричної ЦАЛ є наступне.

Модеми асиметричних ЦАЛ, працюючи по симетричній парі провідників, дозволяють одночасно мати доступ до мережі Інтернет і зберегти традиційні телефонні послуги. Кабельні модеми, працюючи по коаксіальній парі провідників, також дозволяють одночасно взаємодіяти з мережею Інтернет і переглядати програми ТВ. Принципова відмінність цих двох технологій доступу полягає в наступному.

При xDSL доступі кожний абонентський модем з'єднаний з АТС індивідуальною парою провідників симетричного кабелю (СК) – топологія мережі «точка-точка» на рис. 11.1, *а*. Коаксіально-кабельна (КК) мережа, що поєднує абонентів з головною станцією (оптичним вузлом, див. нижче), є більш широкосмуговою та завадостійкою, ніж мережа ТфЗК на основі симетричного кабелю. Однак структура мережі КТБ і, відповідно, кабельного модемного зв'язку має широкомовну організацію – «точка-багато точок», рис. 11.1, *б*. Це означає, що середовище передачі та доступна смуга частот, між модемом користувача й обладнанням передавання даних, що установлено на головній станції (в оптичному вузлі), використається разом з іншими абонентами КМЗ, розташованими в зоні дії ГС (оптичного вузла).

11.2. Гібридна волоконно-коаксіальна мережа доступу

Сучасні інтерактивні мережі КТБ є гібридними волоконно-коаксіальними (Hybrid Fiber-Coax – HFC). Мережі HFC мають наступні переваги:

– поєднання оптичного й коаксіального кабелю дозволяє протягом тривалого часу зберігати інвестиції, що вкладені в ОК, поступово зменшуючи довжини коаксіальних ділянок мережі;

– краща завадостійкість, і, отже, висока якість передавання інформації у порівнянні з мережами, побудованими на симетричному або коаксіальному кабелі;

*До квартири абонента багатоквартирного будинку ще на етапі будівництва прокладаються телефонна лінія та коаксіальний кабель, що живиться від колективної ТВ антени.

– можливість нарощування (порівняно з симетричним кабелем) пропускної здатності мережі та переходу на більш високошвидкісні транспортні протоколи;

– розширення спектра послуг за рахунок цифрового, інтерактивного і платного телебачення (відео), відео конференцзв'язку та інших послуг, що вимагають широкої смуги;

– наявність умов для будівництва районних (локальних), корпоративних і інших мереж з інтеграцією послуг;

– можливість централізованого керування (включаючи діагностику) і обслуговування абонентського обладнання також є вагомим чинником;

– забезпечення приймання й перегляду на екрані телевізора інформації з Web, а на моніторі комп'ютера – ТВ програм.

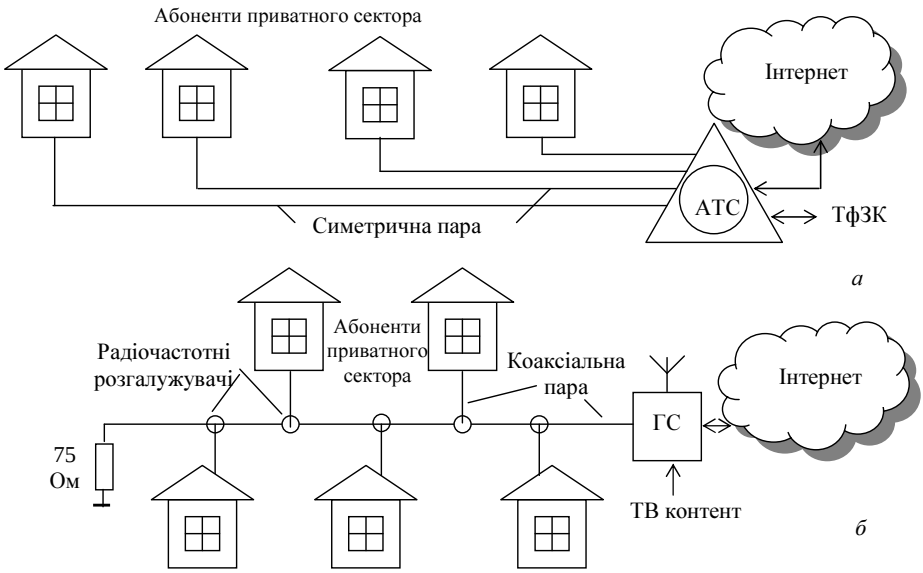


Рис. 11.1. Топології мереж доступу: *а* – «точка-точка» за технологією xDSL; *б* – «точка-багато точок» мережею кабельного телебачення

Мережа доступу, реалізована за технологією HFC, є сучасною телекомунікаційною платформою, що надає абонентам пакети теле- та радіопрограм, а також асортимент інтерактивних мультимедійних послуг.

На рис. 11.2 наведений принцип надання широко- та вузькосмугових послуг мережею КТБ. Мережа дозволяє надавати широкосмугові (програми аналогового і цифрового ТБ, радіомовлення (РМ)) і вузькосмугові (передача даних, телефонія та ін.) послуги. Розглянемо принцип роботи мережі HFC за допомогою структурної схеми на рис. 11.3.

Широкосмугові послуги (*ТВ мовлення*). На головну станцію* (ГС) надходять сигнали ТБ і РМ наземного (НТБ) і супутникового (СТБ) телебачення, сигнали, що передаються радіорелейними і кабельними лініями,

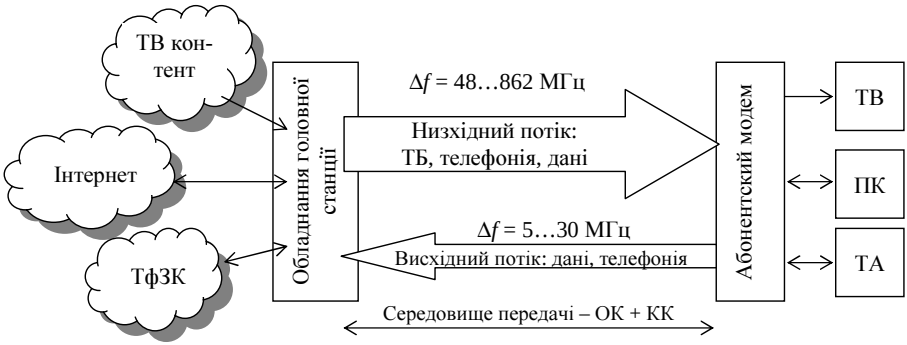


Рис. 11.2. Принцип надання широко- та вузькосмугових послуг за допомогою мережі КТБ, де: ТВ – телевізор, ПК – персональний комп'ютер, ТА – телефонний апарат

наприклад, від місцевої телестудії. Прийняті в діапазоні частот 48...862 МГц радіочастотні (РЧ) сигнали обробляються, конвертуються, а потім у передавальному пристрої (ПП) низхідного потоку (НП) перетворюються в оптичний лінійний сигнал (Е/О перетворення), що надходить до оптичної мережі. Тут сигнал передається й розподіляється за допомогою пасивних мережних компонентів – оптичних волокон (ОВ) і оптичних розгалужувачів (ОР), після чого потрапляє на приймальні пристрої (ПрП) НП оптичних вузлів.

Оптичний вузол** (ОпВ), що встановлюваний у центрі мікрорайону (групи багатоквартирних будинків), потенційно здатний обслуговувати від 400 до 2000 приватних абонентів. У приймальному пристрої оптичного вузла здійснюється О/Е перетворення оптичного сигналу і посилення групового радіочастотного (РЧ) сигналу. Цей сигнал передається існуючою коаксіально-кабельною (домовою) розподільною мережею до приміщень абонентів, де установлені ТВ приймачі.

Вузькосмугові послуги (*передача даних*). Для передачі даних і організації телефонного зв'язку (основного цифрового каналу – ОЦК) мережею КТБ на головній станції установлюється термінальна система КМЗ («головний кабельний модем»), а в приміщенні абонента – кабельний модем і персональний комп'ютер (ПК).

У *низхідному напряму* (ГС→абонент) дані передаються за допомогою квадратурної амплітудної модуляції (QAM-64, QAM-256) у смузі частот стандартного ТВ каналу (8 МГц за стандартом СЕКАМ) вільного від мовлення в конкретній мережі в діапазоні 48…862 МГц. У ПрП оптичного вузла (після О/Е перетворення) низхідний потік даних по коаксіальній мережі надходить на всі абонентські модеми мікрорайону.

* Знаходиться в «голові» мережі.

** Складається з ПрП низхідного і ПП висхідного потоків, блока живлення та ін.

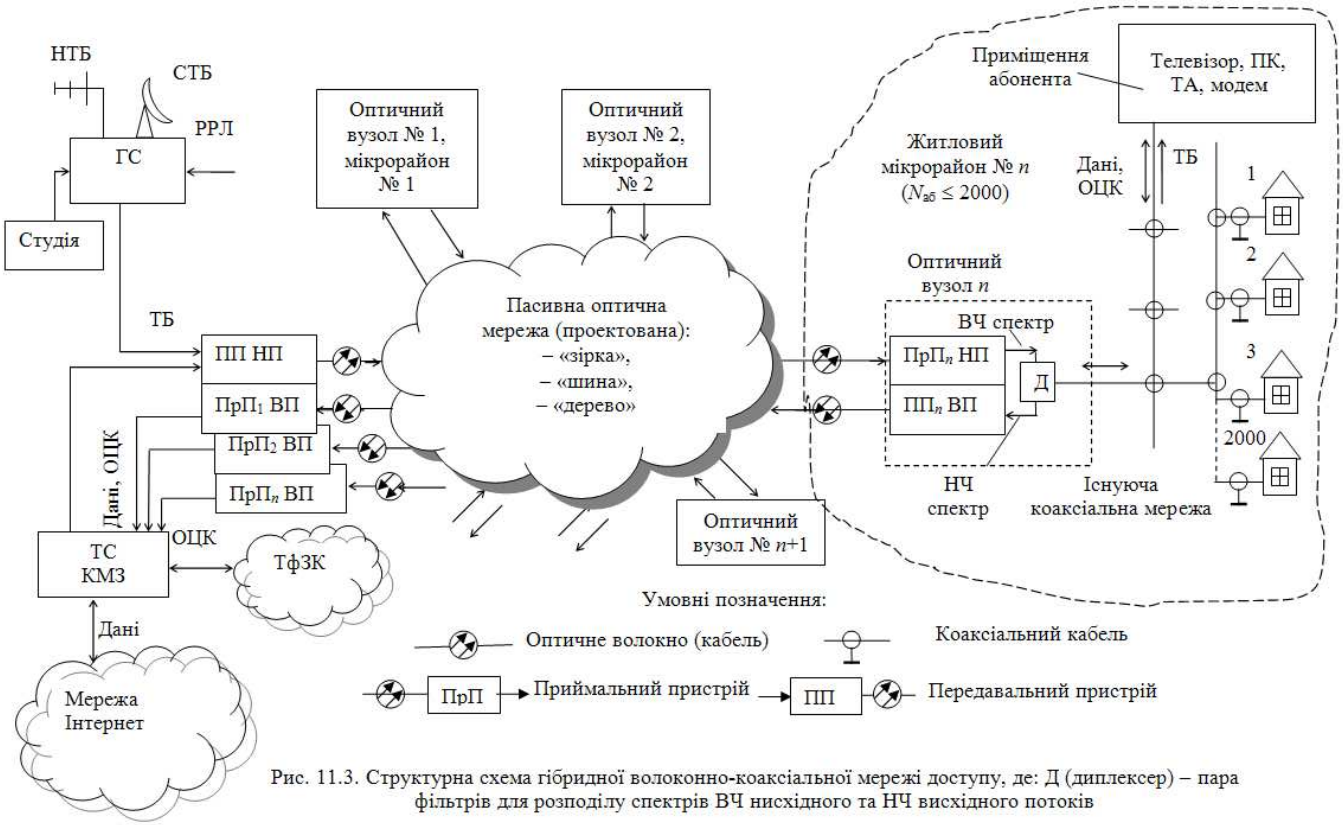


Рис. 11.3. Структурна схема гібридної волоконно-коаксіальної мережі доступу, де: Д (диплексер) – пара фільтрів для розподілу спектрів ВЧ нисхідного та НЧ висхідного потоків

Контролер доступу до середовища передачі кабельного модему абонента виділяє із загального потоку даних тільки ті, що призначені конкретному абоненту. Всі інші дані «ігноруються».

У *висхідному напряму* (абонент→ГС) дані передаються в низькочастотній ділянці плану частот (5...30 МГц у країнах СНД) не зайнятій ТВ мовленням. Цей діапазон піддається впливу імпульсних завад від побутових і промислових електроприладів, а також від приватного, службового й аматорського радіозв'язку (шуми інгресії). В такій складній електромагнітній ситуації для висхідного потоку (ВП) застосовують QAM-16 або більш завадостійку квадратурну фазову модуляцію (Quaternary Phase-Shift Keying – QPSK). Вона дає меншу швидкість передавання даних, але це не суттєво, оскільки висхідний трафік менш інтенсивний, ніж низхідний.

У найпростішому випадку для передавання сигналів висхідного потоку можна задіяти вільне («темне») ОВ у складі багатоволоконного ОК. Для цього в приміщенні кожного ОпВ установлюється ПП НП, а в приміщенні ГС – ПрП ВП (по одному на кожний оптичний вузол). Після О/Е перетворення сигнал висхідного потоку, що забезпечує вузькосмугові послуги, подається на термінальну систему КМЗ, звідки дані надходять до мережі Інтернет, а телефонний сигнал у ТфЗК. Для передачі сигналів низхідного і висхідного потоків по одному ОВ може бути застосовано спектральне мультиплексування сигналів (технологія WDM), наприклад, передача в сторону абонентів на хвилі довжиною 1550 нм, а в зустрічному напряму – на хвилі 1310 нм.

11.3. Топології оптичних мереж доступу

Найбільш загальною топологією оптичної мережі є «дерево» з пасивними оптичними розгалужувачами. На практиці часто застосовуються її граничні варіанти – «зірка» і «шина».

Топологія «зірка» є практичною реалізацією концепції «точка-багато точок», див. рис. 12.3. Кількість ОВ (ОК) за такої топології не заощаджується, але при невеликих відстанях до абонентів, наприклад, у містах із щільною забудовою, цей недолік компенсується тим, що розподіл сигналу здійснюється за допомогою єдиного зіркоподібного розгалужувача типу 1 х *n*, що установлюється в приміщенні ГС. Це зручно для моніторингу і обслуговування мережі.

Топологія «шина» (див. рис. 12.4) створюється в наступних ситуаціях: 1) абоненти розташовані уздовж транспортної магістралі; 2) за необхідності економії ОК, коли кабель «петляючи» районом, підходить по черзі до кожного абонента. У такій мережі абоненти підключаються до магістрального волокна (волоконній шині) через відгалужувачі Y-типу.

При топології «дерево» (див. рис. 12.5) можна організувати зв'язок при довільному розташуванні груп абонентів на території, що обслуговується мережею.

У кожної з перерахованих топологій є свої переваги і недоліки з погляду економії ОК, зручності обслуговування й можливості розвитку мережі (табл. 12.1).

Таблиця 12.1

Порівняння пасивних оптичних мереж різної топології

Топологія мережі	«Зірка»	«Шина»	«Дерево»
Кількість ОВ (ОК)	Велика	Мала	Середня
Тестування й обслуговування	Діагностика з ГС, проста й точна локалізації подій	Складність діагностування подій	
Географія розташування абонентів	Великий розкид/ довільне розташування	Уздовж транспортної магістралі	Довільне розташування
Можливість подальшого розвитку мережі	Максимальне використання вільних портів	Обмежена до 5...7 (максимум) станцій	Потрібен точний розрахунок параметрів розгалужувачів
Рівень потужності сигналу на прийомі	Майже однаковий	Різний при однотипних розгалужувачах	Потрібен точний розрахунок розгалужувачів для вирівнювання рівнів
Інші переваги[1)]/ недоліки[2)]	Масове підімкнення в районах зі щільним розміщенням абонентів[1)]	Більші втрати потужності на розгалуження за значної кількості вузлів	Найбільша гнучкість при підключенні всіх бажаючих

12. Розрахунок оптичної ділянки гібридної мережі

12.1. Основні вимоги до проектування

Якість приймання сигналів у мережі залежить від оптичної потужності, що надходить на приймальний пристрій (див. табл. Д.14.1). У випадку передавання аналогових ТВ сигналів основними параметрами якості, що застосовуються при проектуванні, є відношення несуча/шум (ВНШ) (Carrier-to-Noise Ratio – CNR) і сумарні нелінійні спотворення – комбінаційні спотворення другого (Composite Second Order – CSO) і третього (Composite Triple Beat – CTB) порядків. Нелінійні спотворення виникають, здебільше, в оптичному передавальному пристрої. Значення параметрів CSO і CTB для приймальних пристроїв більшості виготовлювачів (табл. 14.5…14.7) набагато вище системних вимог, тому продукти нелінійності можна не враховувати при навчальному проектуванні.

Низхідний потік. Проектування оптичної ділянки гібридної мережі доступу для прямого (низхідного) потоку* (напрямок ГС → абонент) починають із її кінця – з оптичних вузлів. Задавшись необхідними рівнями потужності на вході приймальних пристроїв низхідного потоку, і з огляду на втрати в оптичних волокнах і розгалужувачах, поступово просуваються (у розрахунках) до початку мережі – головної станції і визначають необхідну потужність ПП низхідного потоку, за якої на виходах усіх ПрП забезпечується задана (технічними вимогами) якість передачі. Після цього розраховують коефіцієнти розгалуження розгалужувачів.

Висхідний потік. При передаванні даних критерієм якості є коефіцієнт помилок (BER). Відомо, що для забезпечення заданої якості цифрової передачі, потрібна значно менша потужність оптичного сигналу на вході ПрП. Це пов'язане з відмінністю у критеріях якості – для аналогового передавання потрібно ВНШ > 43 дБ, а для цифрового – відношення сигнал/шум (ВСШ) ≈12 дБ для забезпечення BER = 10^{-10}. Саме тому на вході ПрП аналогових сигналів потрібний суттєво більший рівень оптичної потужності (–10...0 дБм), ніж на вході ПрП цифрових сигналів (–20...–35 дБм) для забезпечення відповідної якості передавання.

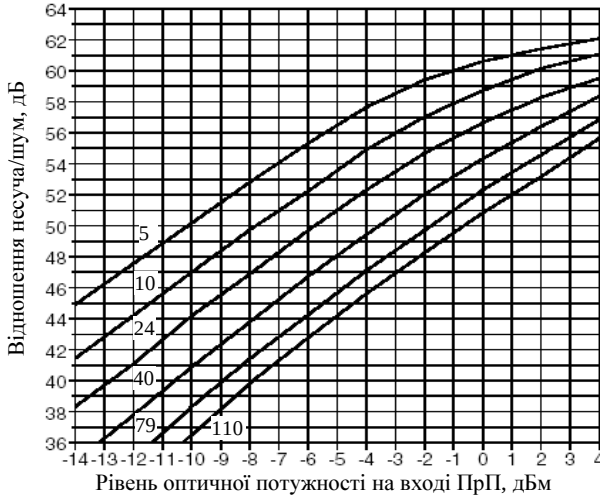


Рис. 12.1. Сімейство залежностей значення ВНШ на виході ПрП від рівня потужності оптичного сигналу на його вході за різного завантаження тракту каналами ТБ

Виготовлювачі активного обладнання наводять графіки (рис. 12.1), що є необхідними для проектування оптичних мереж доступу. Вони показують залежність значення ВНШ на виході ПрП низхідного потоку (при завантаженні тракту передачі *N* каналами ТБ, *N* = 5, 10, 24, 40.79 і 110) від рівня оптичної потужності на його вході [10]. При завантаженні тракту іншою кількістю (ніж зазначена на рис. 12.1), треба використати найближчу криву або метод інтерполяції. Наприклад, якщо потрібно завантажити тракт 80 каналами, тоді можна взяти криву для 79 каналів. Якщо потрібне завантаження 7 каналами, то можна вибрати середнє значення між кривими, що відповідають завантаженню 5 й 10 каналами.

* Більш широкосмугового, ніж зворотний потік.

Наведемо умови, виконання яких є необхідним при проектуванні оптичної мережі доступу [5]:

1) застосовується тільки одномодові (ОМ) оптичні компоненти – лазерні діоди, оптичне волокно рек. МСЕ G.652 (див. табл.10.1), з'єднувачі (див. табл.10.5), розгалужувачі (див. табл. 10.2…10.4);

2) довжина робочої хвилі береться 1310 нм або 1550 нм;

3) застосовуються оптичні роз'ємні з'єднувачі з «фізичним контактом» і кутовим сферичним поліруванням торців (APC-типу), нероз'ємні з'єднання будівельних довжин оптичного кабелю виконуються зварюванням, щоб знизити рівень зворотного відбиття, що погіршують роботу системи (рівень зворотно відбитих сигналів повинен бути нижче за 55 дБ);

4) необхідно визначити (а на практиці виміряти) загасання в кожному сегменті ОВ на робочій довжині хвилі.

Зазначені в табл. 10.1 значення коефіцієнта загасання не враховують втрат у роз'ємних з'єднувачах, у місцях з'єднання будівельних довжин кабелю (методом зварювання) і втрат внаслідок макровигинів ОВ у прокладеному ОК;

5) рівень потужності передавального пристрою прямого потоку, знайдений розрахунковим шляхом, слід збільшити на 1…2 дБ. Це так званий експлуатаційний запас [4], що витрачається під час експлуатації мережі на компенсацію деградації компонентів лінійного тракту, а також на можливі ушкодження/відновлення ОК;

6) перевірку максимальної дальності передавання за широкосмуговістю (дисперсією) не виконують, оскільки відстані передавання звичайно не перевищують декількох одиниць-десятків кілометрів, а в передавальному пристрої низхідного потоку застосовуються спеціальні лазерні діоди* з вузьким спектром випромінювання.

Перед початком проектувальнику необхідно зібрати наступні матеріали:

1) карти (схеми) проектованої системи (схеми кабельної каналізації) із зазначенням місць розташування головної станції й оптичних вузлів, трас прокладання кабелю, місць установлення розподільних шаф та ін.;

2) розраховані (виміряні) значення загасання в кожному волокні ОК на обраній робочій довжині хвилі;

3) перелік параметрів, зокрема значення ВНШ, які повинні бути забезпечені на виході кожного ПрП. Нагадаємо, що кожний дБ у поліпшенні значення ВНШ збільшує вартість проектованої мережі. Тому, значення ВНШ повинно бути достатнім (задовольняти технічні вимоги), але не завищеним;

4) дані відносно завантаження тракту каналами ТБ і каналами передачі даних (ПД) з урахуванням можливості їх збільшення в перспективі. Слід пам'ятати, що при зростанні завантаження тракту каналами зменшується значення ВНШ на виході ПрП за інших рівних умов.

Примітка. Середнє у часі значення оптичної потужності P(мВт) далі будемо позначати прописною буквою «P», а рівень оптичної потужності p(дБм) – малою літерою «p».

* Лазерні діоди з розподіленим зворотним зв'язком (РЗЗ).

Нижче наведено приклад розрахунку аналогової оптичної магістралі «точка-точка», рис. 12.2. Приклад розрахунку бюджету потужності такої магістралі наведено у табл. 12.1.

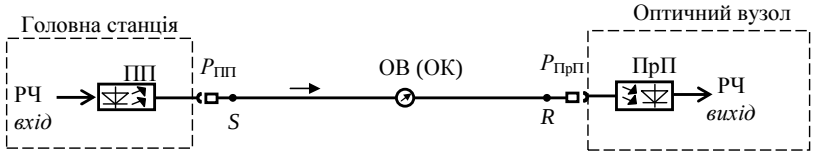


Рис. 12.2. Схема оптичної магистралі “точка-точка”

Таблиця 12.1

Розрахунок бюджету потужності аналогової магістралі «точка-точка» на довжині хвилі 1550 нм

Параметр	Значення	Примітка (розрахунок)
Рівень потужності джерела випромінювання (точка *S*)	7 дБм	Одномодовий ЛД із розподіленим зворотним зв'язком
Рівень потужності (чутливості) приймального пристрою (точка *R*)	–8 дБм	При ВНШ = 44 дБ та завантаженні тракту 40 каналами ТБ (рис. 12.1)
Енергетичний потенціал апаратури	15 дБ	+7 дБм – (–8 дБм) = 15 дБ
Експлуатаційний запас	2 дБ	-
Загасання в тракті	13 дБ	15 дБ – 2 дБ = 13 дБ
Втрати в лінії передачі: Втрати у волокні довжиною 40 км на довжині хвилі 1550 нм	10,1 дБ	40 км х 1,01х 0,25 дБ/км = 10,1 дБ (враховуючи 1% запасу)
Втрати в 2-х роз’ємних з'єднувачах (у патч-панелях)	1,0 дБ	0,5 дБ х 2 = 1,0 дБ
Втрати в 19-ти зростках, виконаних за допомогою зварювання	1,52 дБ	(40 км/2 км – 1) х 0,08 = 19х0,08 = 1,52 дБ (за умови $l_б$ = 2 км)
Сумарні втрати в лінії	12,62 дБ	10,1 дБ + 1,0 дБ + 1,52 дБ = 12,56 дБ
Надлишок запасу за потужністю	0,44 дБ	13 дБ – 12,56 = 0,44 дБ

Нижче наведені приклади проектування пасивних оптичних мереж з топологіями зірка, шина і дерево для широкосмугового аналогового низхідного потоку (напрямок передачі головна станція → абонентські вузли).

Для висхідного (цифрового) потоку (напрямок передачі оптичні вузли → головна станція), що має суттєво меншу ширину спектра, вибирається обладнання й виконується перевірка висхідного каналу на відповідність нормам якості (див. нижче).

Проектування коаксіальної ділянки мережі не розглядаються.

12.2. Розрахунок зіркоподібної мережі

Виконаємо проектування зіркоподібної оптичної мережі (рис. 12.3) з одним передавальним вузлом і чотирма приймальними оптичними вузлами, до кожного з яких прокладається окремий ОК. Передавальний пристрій і пасивний оптичний розгалужувач (ОР) 1 х 4 знаходяться у приміщенні головної станції. Сегменти кабелю, що позначені буквами *A*, *B*, *C* і *D*, прокладені відповідно до приймальних пристроїв оптичних вузлів *1*, *2*, *3* і *4*. Потрібно розрахувати потужність оптичного передавального пристрою, за якої забезпечується необхідна якість передавання – значення ВНШ на виході всіх оптичних вузлів. Також необхідно визначити коефіцієнти розгалуження оптичного розгалужувача 1 х 4, за яких забезпечуються необхідні оптичні потужності на входах приймальних пристроїв усіх вузлів.

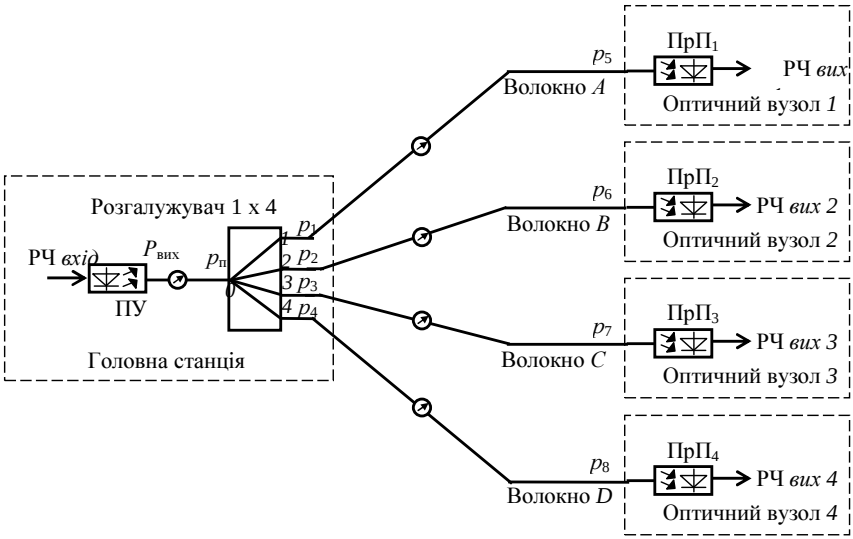


Рис. 12.3. Структурна схема зіркоподібної оптичної мережі з одним передавальним та чотирма приймальними оптичними вузлами (низхідний канал)

Вихідні дані для розрахунку мережі наведені в табл. 12.2. Довжини сегментів ОК: l = 16 км; $l_В$ = 24 км; l = 12 км; l = 20 км. За таких (досить значних) довжинах сегментів кабелю (10...20 км) слід вибрати робочу довжину хвилі 1550 нм на якій коефіцієнт загасання стандартного одномодового ОВ

дорівнює 0,25 дБ/км із урахуванням втрат у нероз'ємних (зварних) з'єднаннях будівельних довжин ОК.

Таблиця 12.2

Вихідні дані для розрахунку оптичної мережі з топологією «зірка» на довжині хвилі 1550 нм (низхідний потік)

№	Дані	Одиниця	Кількість одиниць	Примітка
1	2	3	4	5
1	Завантаження тракту каналами	шт.	110	80 ТВ каналів з ОБС/АМ + 30 QAM каналів передачі даних
2	Загасання a_A в волокні *A* довжиною 16 км	дБ	16 км х 0,25 дБ/км = 4,0 дБ	Загасання у волокні *A* від ГС до вузла *1*, включаючи зварювання й з'єднувачі, без обліку втрат у розгалужувачі
3	Загасання a_B в волокні *B* довжиною 24 км	дБ	24 км х 0,25 дБ/км = 6,0 дБ	Загасання у волокні *B* від ГС до вузла *2*, включаючи зварювання й з'єднувачі, без обліку втрат у розгалужувачі
4	Загасання a_C в волокні *C* довжиною 12 км	дБ	12 км х 0,25 дБ/км = 3,0 дБ	Загасання у волокні *C* від ГС до вузла *3*, включаючи зварювання й з'єднувачі, без обліку втрат у розгалужувачі
5	Загасання a_D в волокні *D* довжиною 20 км	дБ	20 км х 0,25 дБ/км = 5,0 дБ	Загасання у волокні *D* від ГС до вузла *4*, включаючи зварювання й з'єднувачі, без обліку втрат у розгалужувачі
6	Значення $ВНШ_1$ у вузлі *1*	дБ	48	Абоненту будь-якого оптичного вузла необхідно забезпечити необхідне значення ВНШ. При цьому, наприклад, на виході ПрП вузла *4* може знадобитися розгалуження РЧ сигналу на більше число гілок, ніж у вузлі *2*, саме тому у вузлі *4* відповідно потрібно забезпечити більше значення ВНШ
7	Значення $ВНШ_2$ у вузлі *2*	дБ	49	
8	Значення $ВНШ_3$ у вузлі *3*	дБ	50	
9	Значення $ВНШ_4$ у вузлі *4*	дБ	51	

Крок 1. Визначимо необхідні рівні оптичної потужності $p_5 \ldots p_8$ (дБм) на оптичних входах приймальних пристроїв вузлів *1...4*, за яких забезпечується необхідне значення $ВНШ_{1,2,3,4}$. Для цього використаємо відповідну криву на рис. 12.1 для завантаження тракту 110 каналами ТБ і передачі даних у низхідному напряму в форматі QAM:

– для забезпечення ВНШ$_1$ = 48 дБ потрібна оптична потужність із рівнем p_5 = –2 дБм;

– для забезпечення ВНШ$_2$ = 49 дБ потрібна оптична потужність із рівнем p_6 = –1 дБм;

– для забезпечення ВНШ$_3$ = 50 дБ потрібна оптична потужність із рівнем p_7 = –0,5 дБм, округляємо це значення до p_7 = 0,0 дБм;

– для забезпечення ВНШ$_4$ = 51 дБ потрібна оптична потужність із рівнем p_8 = 0,5 дБм, округляємо це значення до p_8 = 1,0 дБм.

Крок 2. Визначимо рівні оптичної потужності $p_1 \ldots p_4$ на вихідних полюсах розгалужувача:

– додаючи до рівня потужності на вході оптичного вузла *1* p_5 загасання a_A у волокні *A*, отримуємо

$$p_1 = p_5 + a_A = –2 \text{ дБм} + 4 \text{ дБ} = 2 \text{ дБм};$$

– додаючи до рівня потужності на вході оптичного вузла *2* p_6 загасання a_B у волокні *B*, отримуємо

$$p_2 = p_6 + a_B = –1 \text{ дБм} + 6 \text{ дБ} = 5 \text{ дБм};$$

– додаючи до рівня потужності на вході оптичного вузла *3* p_7 загасання a_C у волокні *C*, отримуємо

$$p_3 = p_7 + a_C = 0 \text{ дБм} + 3 \text{ дБ} = 3 \text{ дБм};$$

– додаючи до рівня потужності на вході оптичного вузла *4* p_8 загасання a_D у волокні *D*, отримуємо

$$p_4 = p_8 + a_D = +1 \text{ дБм} + 5 \text{ дБ} = 6 \text{ дБм}.$$

Крок 3. Перерахуємо рівні потужності $p_1 \ldots p_4$ (дБм) на вихідних полюсах розгалужувача в значення потужності $P_1 \ldots P_4$ (мВт) за формулою $P_i = 10^{[p_i(\text{дБм})/10]}$:

$$P_1 = 10^{[p_1(\text{дБм})/10]} = 10^{(2/10)} = 1{,}58 \text{ мВт};$$
$$P_2 = 10^{[p_2(\text{дБм})/10]} = 10^{(5/10)} = 3{,}16 \text{ мВт};$$
$$P_3 = 10^{(p_3(\text{дБм})/10)} = 10^{(3/10)} = 2{,}00 \text{ мВт};$$
$$P_4 = 10^{(p_4(\text{дБм})/10)} = 10^{(6/10)} = 3{,}98 \text{ мВт}.$$

Крок 4. Розрахуємо сумарну оптичну потужність на вихідних полюсах розгалужувача

$$P_{\text{сум}} = (P_1 + P_2 + P_3 + P_4) = (1{,}58 + 3{,}16 + 2{,}00 + 3{,}98) = 10{,}72 \text{ мВт}.$$

Крок 5. Збільшимо $P_{\text{сум}}$ на 20%, щоб урахувати додаткові втрати в реальному розгалужувачі (позначимо її $P_{\text{пп}}$), вона є потужністю на вхідному полюсі розгалужувача, тобто на виході оптичного ПП

$$P_{\text{пп}} = 1{,}2 \cdot (P_{\text{сум}}) = 1{,}2 \cdot 10{,}72 = 12{,}9 \text{ мВт}.$$

Крок 6. Перерахуємо потужність $P_{\text{пп}}$ у рівень потужності за формулою $p_{\text{пп}} = 10\lg(12{,}9) = 11{,}1$ дБм. Мінімально необхідний рівень потужності оптичного ПП дорівнює 11,1 дБм. (Зазначимо, що збільшення вихідної потужності оптичного передавача покращує якість передачі – значення ВНШ.)

При розрахунках не було враховано експлуатаційний запас*, який для аналогових ВОСП становить $a_{\text{зап}}$ = 1…2 дБ. З урахуванням запасу слід вибрати

* Запас на старіння обладнання мережі (ПП, ПрП, ОР, ОВ) та можливі пошкодження-відновлення ОК при експлуатації.

оптичний передавальний пристрій з рівнем потужності $p_{пп} > 11$ дБм. Оберемо модель PWL 4716 компанії [10] з $p_{пп} = (13 \pm 1)$ дБм на $\lambda = 1550$ нм.

Крок7. Розрахуємо коефіцієнти відгалуження потужності розгалужувачем за формулою $P_{від} = 100 \cdot (P_{від}/P_{сум})$, де $P_{від}$ – потужність, що відгалужується до будь-якого вихідного полюсу, $P_{сум}$ – сумарна потужність на всіх вихідних полюсах:

– для полюса *1* – $P_1 = 100 \cdot (1{,}58/10{,}72) = 15\%$;
– для полюса *2* – $P_2 = 100 \cdot (3{,}16/10{,}72) = 29\%$;
– для полюса *3* – $P_3 = 100 \cdot (2{,}00/10{,}72) = 19\%$;
– для полюса *4* – $P_4 = 100 \cdot (3{,}98/10{,}72) = 37\%$.

Крок 8. Сума коефіцієнтів 15% + 29% + 19% + 37% = 100%. Розрахунок коефіцієнтів розгалуження виконаний вірно.

12.3. Розрахунок мережі типу «шина»

Нехай в оптичній мережі з топологією «шина» є один передавальний оптичний вузол і чотири приймальних оптичних вузла, рис. 12.4. У приміщенні головної станції установлено оптичний ПП. Волокно (кабель) *A* з'єднує головну станцію з оптичним вузлом *1*, де установлено оптичний розгалужувач (ОР) Y-типу, що розподіляє потужність світла на дві частини (у два волокна), а також приймальний пристрій. Зазвичай більша частина потужності світла

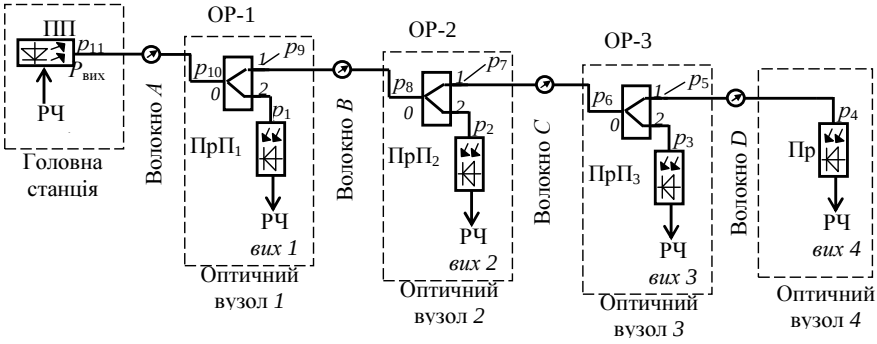


Рис. 12.4. Структурна схема оптичної мережі типу «шина» (низхідний канал)

надходить у волокно *B*, що прокладено до наступного оптичного вузла *2*, а менша частина відгалужується і надходить на вхід локального ПрП. Така ситуація повторюється для вузла *3*. У вузлі *4* розгалужувач не потрібен.

Вихідні дані для розрахунку мережі типу «шина» наведені в табл. 12.3. Оскільки сегменти оптичного волокна ($l_A = 4$ км, $l_B = 6$ км, $l_C = 2$ км, $l_D = 4$ км) мають невелику довжину (до 10 км), слід вибрати робочу довжину хвилі

1310 нм* на якій коефіцієнт загасання одномодового ОВ α = 0,5 дБ/км з урахуванням втрат у нероз'ємних (зварних) з'єднаннях будівельних довжин ОК.

Крок 1. Визначимо необхідні рівні оптичної потужності ($p_1 \ldots p_4$) дБм на входах ПП НП вузлів *1…4*, за яких забезпечується певне значення $ВНШ_{1,2,3,4}$ (дивись відповідну криву на рис. 12.1 для завантаження тракту 79 каналами):

– для забезпечення $ВНШ_1$ = 49 дБ потрібна оптична потужність із рівнем p_1 = –2,5 дБм, округляємо значення до p_1 = –2,0 дБм;

– для забезпечення $ВНШ_2$ = 48 дБ потрібна оптична потужність із рівнем p_2 = –3,2 дБм, округляємо значення до p_2 = –3,0 дБм;

– для забезпечення $ВНШ_3$ = 49 дБ потрібна оптична потужність із рівнем p_3 = –2,5 дБм, округляємо значення до p_3 = –2,0 дБм;

– для забезпечення $ВНШ_4$ = 46 дБ потрібна оптична потужність із рівнем p_4 = –4,8 дБм, округляємо значення до p_4 = –5,0 дБм.

Крок 2. Перерахуємо рівні потужності $p_1 \ldots p_4$ (дБм) у потужності $P_1 \ldots P_4$ (мВт) за формулою $P_i = 10^{[pi(\text{дБм})/10]}$:

$$P_1 = 10^{[p_1(\text{дБм})/10]} = 10^{(-2/10)} = 0{,}63 \text{ мВт};$$
$$P_2 = 10^{[p_2(\text{дБм})/10]} = 10^{(-3/10)} = 0{,}5 \text{ мВт};$$
$$P_3 = 10^{(p_3(\text{дБм})/10)} = 10^{(-2/10)} = 0{,}63 \text{ мВт};$$
$$P_4 = 10^{(p_4(\text{дБм})/10)} = 10^{(-5/10)} = 0{,}32 \text{ мВт}.$$

Крок 3. Визначимо рівень оптичної потужності p_5 в оптичному вузлі *3* шляхом додавання рівня оптичної потужності p_4 на вході ПрП вузла *4* і загасання a_D у волокні *D*

$$p_5 = p_4 + a_D = -5 \text{ дБм} + 2 \text{ дБ} = -3 \text{ дБм}.$$

Перерахуємо рівень потужності p_5 у потужність $P_5 = 10^{(-3/10)} = 0{,}50$ мВт.

Крок 4. Визначимо потужність P_6, збільшивши її на 20%, щоб урахувати додаткові втрати потужності в реальному розгалужувачі вузла *3*

$$P_6 = 1{,}2 \times (P_5 + P_3) = 1{,}2 \times (0{,}50 + 0{,}63) = 1{,}36 \text{ мВт}.$$

Перерахуємо потужність P_6 урівень потужності $p_6 = 10\lg 1{,}36 = 1{,}34$ дБм.

Таблиця 12.3

Вихідні дані для розрахунку оптичної мережі з топологією шина на довжині хвилі 1310 нм (низхідний потік)

№	Дані	Одиниця	Кількість одиниць	Примітки
1	2	3	4	5
1	Завантаження каналами	шт.	79	59 ТВ каналів з ОБС/АМ + 20 QAM каналів передачі даних
2	Загасання a_A в волокні *A* довжиною 4 км	дБ	4 км х 0,5 дБ/км = 2,0 дБ	Загасання у волокні *A* від головної станції до вузла *1*, включаючи зварювання й з'єднувачі, без урахування втрат у ОР-1
3	Загасання a_B у волокні *B* довжиною 6 км	дБ	6 км х 0,5 дБ/км = 3,0 дБ	Загасання у волокні *B* від вузла *1* до вузла *2*, включаючи зварювання й з'єднувачі, без урахування втрат в ОР-2

* Вартість активного обладнання для цій довжини хвилі є меншою, ніж для хвилі 1550 нм.

Закінчення таблиці 12.3

1	2	3	4	5
4	Загасання a_C у волокні *C* довжиною 2 км	дБ	2 км х 0,5 дБ/км = 1,0 дБ	Загасання у волокні *C* від вузла *2* до вузла *3*, включаючи зварювання й з'єднувачі, без урахування втрат в розгалужувачі ОР-3
5	Загасання a_D у волокні *D* довжиною 4 км	дБ	4 км х 0,5 дБ/км = 2,0 дБ	Загасання у волокні *D* від вузла *3* до вузла *4*, включаючи зварювання й з'єднувачі
6	Значення $ВНШ_1$ у вузлі *1*	дБ	49	Абоненту будь-якого вузла необхідно забезпечити задане (технічними умовами) мінімальне значення ВНШ. При цьому, наприклад, на виході приймального пристрою вузла *3* може знадобитися розгалуження РЧ сигналу на більше число гілок, ніж у вузлі *4*, тому у вузлі *3* потрібне більше значення ВНШ
7	Значення $ВНШ_2$ у вузлі *2*	дБ	48	
8	Значення $ВНШ_3$ у вузлі *3*	дБ	49	
9	Значення $ВНШ_4$ у вузлі *4*	дБ	46	

Крок 5. Визначимо рівень оптичної потужності p_7 шляхом додавання рівня оптичної потужності p_6 на вході вузла *3* і загасання a_C у волокні *C*

$$p_7 = p_6 + a_c = 1{,}34 \text{ дБм} + 1 \text{ дБ} = 2{,}34 \text{ дБм}.$$

Перерахуємо рівень потужності p_7 у потужність $P_7 = 10^{(2{,}34/10)} = 1{,}71$ мВт.

Крок 6. Визначимо потужність P_8, збільшивши її на 20%, щоб урахувати додаткові втрати потужності в реальному розгалужувачі вузла *2*

$$P_8 = 1{,}2\times(P_7 + P_2) = 1{,}2\times(1{,}71 + 0{,}5) = 2{,}7 \text{ мВт}.$$

Перерахуємо потужність P_8 у рівень потужності $p_8 = 10\lg 2{,}7 = 4{,}32$ дБм.

Крок 7. Визначимо рівень оптичної потужності p_9 шляхом додавання рівня оптичної потужності p_8 на вході вузла *2* до загасання a_B у волокні *B*

$$p_9 = p_8 + a_B = 4{,}32 \text{ дБм} + 3 \text{ дБ} = 7{,}32 \text{ дБм}.$$

Перерахуємо рівень потужності p_9 у потужність $P_9 = 10^{(7{,}32/10)} = 5{,}4$ мВт.

Крок 8. Визначимо потужність $P_{10,}$ збільшивши її на 20%, щоб урахувати додаткові втрати потужності в реальному розгалужувачі вузла *1*

$$P_{10} = 1{,}2\times(P_9 + P_1) = 1{,}2\times(5{,}4 + 0{,}63) = 7{,}24 \text{ мВт}.$$

Перерахуємо потужність P_{10} в урівень потужності $p_{10} = 10\lg 6{,}03 = 8{,}6$ дБм.

Крок 9. Визначимо рівень оптичної потужності p_{11} шляхом додавання рівня оптичної потужності на вході вузла *2* p_{10} до загасання a_A у волокні *A*

$$p_{11} = p_{10} + a_A = 8{,}6 \text{ дБм} + 2 \text{ дБ} = 10{,}6 \text{ дБм}.$$

Перерахуємо рівень потужності p_{11} у потужність $P_{11} = 10^{(10{,}6/10)} = 11{,}48$ мВт.

При розрахунках треба врахувати експлуатаційний запас, який для аналогових ВОСП становить $a_{зап} = 1\ldots2$ дБ. З урахуванням запасу слід вибрати оптичний передавальний пристрій з рівнем потужності $p_{пп} = (12{,}5...13{,}5)$ дБм. Оберемо модель PWL 4713P [10] з $p_{пп} = (13 \pm 1)$ дБм на $\lambda = 1310$ нм.

Крок 10. Розрахуємо коефіцієнти відгалуження розгалужувачів.

Для ОР-3 від полюса 1 (до оптичного вузла *4*) потрібно передати $100\times P_5/(P_3 + P_5) = 100\times0{,}50/(0{,}63+0{,}50) = 44\%$ потужності. Від полюса *2* до ПрП_3 потрібно передати 100% – 44% = 56% потужності. Отже, ОР-3 повинен мати коефіцієнт розгалуження 44%/56%.

Для ОР-2 від полюса *1* (до оптичного вузла *3*) потрібно передати $100\times P_7/(P_2 + P_7) = 100\times1{,}71/(0{,}5 + 1{,}71) = 77\%$ потужності. Від полюса *2* до ПрП_2 потрібно передати 100% – 77% = 23% потужності. Отже, ОР-2 повинен мати коефіцієнт розгалуження 77%/23%.

Для ОР-1 від полюса *1* (до оптичного вузла *2*) потрібно передати $100\times P_9/(P_1 + P_9) = 100\times5{,}4/(0{,}63 + 5{,}4) = 90\%$ потужності. Від полюса *2* до ПрП_1 потрібно передати 100% – 90% = 10% потужності. Отже, ОР-1 повинен мати коефіцієнт розгалуження 90%/10%.

Результати розрахунку коефіцієнтів відгалуження ОР зведені в табл. 12.4.

Таблиця 12.4.

Значення коефіцієнтів відгалуження ОР для мережі типу «шина»

Номер ОР в мережі	Відсоток відгалуження потужності	
	Полюс *1*	Полюс *2*
1	90	10
2	70	23
3	44	56

12.4. Розрахунок деревоподібної мережі

Виконаємо розрахунок деревоподібної оптичної мережі з одним передавальним і сьома приймальними вузлами, рис. 12.5. Передавальний пристрій встановлюється у приміщенні ГС. За необхідності (наприклад, при великій розгалуженості мережі) на виході оптичного ПП встановлюють оптичний підсилювач (ОП). Для деревоподібної мережі застосовуються оптичні розгалужувачі типу 1 х *n*, де *n* – число вихідних полюсів, у мережі на рис. 12.5 застосовані ОР типу 1 х 2 та 1 х 3. Сегменти оптичних волокон, що з'єднують мережні елементи, позначені латинськими буквами *A*, *B*, *C*, *D*, *E*, *G*, *H*, *I*, *J* і *K*, а сумарне загасання (дБ) потужності світла в кожному з них – відповідно a_A, a_B, a_C, a_D, a_E, a_F, a_G, a_H, a_I, a_J, a_K. Потрібно розрахувати вихідну потужність оптичного ПП P_0 (потужність, що подається до мережі), за якої забезпечується необхідне значення ВНШ на виході приймальних пристроїв оптичних вузлів *1*…7. Також необхідно визначити коефіцієнти розгалуження оптичних розгалужувачів ОР-1…ОР-4, за яких забезпечуються задані технічними умовами оптичні потужності на входах оптичних вузлів *1*...7.

Оскільки мережа має багато розгалужень і сегменти одномодового ОВ відносно довгі, обираємо робочу довжину хвилі 1550 нм на якій коефіцієнт загасання (α = 0,25 дБ/км з врахуванням втрат у не роз'ємних (зварних) з'єднаннях будівельних довжин ОК.

Вихідні дані для проектування мережі наведені в табл. 12.5.

Таблиця 12.5

Вихідні дані для розрахунку оптичної деревоподібної мережі на довжині хвилі 1550 нм (низхідний потік)

№	Дані	Одиниця	Кількість одиниць	Примітка
1	2	3	4	5
1	Завантаження тракту каналами	шт.	110	80 ТВ каналів з ОБС/АМ + 30 QAM каналів
2	Втрати a_A у волокні *A* довжиною 8 км	дБ	8 км х 0,25 дБ/км = 2,0 дБ	Загасання у волокні *A* (від ГС до ОР-1) включаючи зварювання й з'єднувачі, без урахування втрат потужності в ОР-1
3	Втрати a_B у волокні *B* довжиною 8 км	дБ	8 км х 0,25 дБ/км = 2 дБ	Загасання у волокні *B* (від ОР-1 до ОР-2) включаючи зварювання й з'єднувачі, без урахування втрат потужності в ОР-2
4	Втрати a_C у волокні *C* довжиною 10 км	дБ	10 км х 0,25 дБ/км = 2,5 дБ	Загасання у волокні *C* (від ОР-1 до ОР-3) включаючи зварювання й з'єднувачі, без урахування втрат потужності в ОР-3
5	Втрати a_D у волокні *D* довжиною 6 км	дБ	6 км х 0,25 дБ/км = 1,5 дБ	Загасання у волокні *D* (від ОР-1 до ОР-4) включаючи зварювання й з'єднувачі без урахування втрат в ОР-4
6	Втрати a_E у волокні *E* довжиною 8 км	дБ	8 км х 0,5 дБ/км = 2 дБ	Загасання у волокні *E* (від полюса *1* ОР-2 до оптичного вузла 1) включаючи зварювання й з'єднувачі, без урахування втрат потужності в ОР-2
7	Втрати a_F у волокні *F* довжиною 12 км	дБ	12 км х 0,25 дБ/км = 3,0 дБ	Загасання у волокні *F* (від полюса *2* ОР-2 до оптичного вузла 2) включаючи зварювання й з'єднувачі, без урахування втрат потужності в ОР-2
8	Втрати a_G у волокні *G* довжиною 8 км	дБ	8 км х 0,25 дБ/км = 2 дБ	Загасання у волокні *G* (від полюса *1* ОР-3 до оптичного вузла 3) включаючи зварювання й з'єднувачі, без урахування втрат потужності в ОР-3

Закінчення таблиці 12.5

1	2	3	4	5
9	Втрати a_H у волокні *H* довжиною 6 км	дБ	6 км х 0,25 дБ/км = 1,5 дБ	Загасання у волокні *H* (від полюса *2* ОР-3 до оптичного вузла 4) включаючи зварювання й з'єднувачі, без урахування втрат потужності в ОР-3
10	Втрати a_I у волокні *I* довжиною 8 км	дБ	8 км х 0,25 дБ/км = 2 дБ	Загасання у волокні *I* (від полюса *1* ОР-4 до оптичного вузла 5) включаючи зварювання й з'єднувачі, без урахування втрат потужності в розгалужувачі ОР-4
11	Втрати a_J у волокні *J* довжиною 10 км	дБ	10 км х 0,25 дБ/км = 2,5 дБ	Загасання у волокні *J* (від полюса *2* ОР-4 до оптичного вузла 6) включаючи зварювання й з'єднувачі, без урахування втрат потужності в ОР-4
12	Втрати a_K у волокні *K* довжиною 12 км	дБ	12 км х 0,25 дБ/км = 3,0 дБ	Загасання у волокні *K* (від полюса *3* ОР-4 до оптичного вузла 7) включаючи зварювання й з'єднувачі, без урахування втрат потужності в ОР-4
13	Значення $ВНШ_1$ у вузлі *1*	дБ	48	Абоненту будь-якого вузла необхідно забезпечити певне значення ВНШ. При цьому, наприклад, на виході ПрП вузла *2* (або вузла 6) може знадобитися розгалуження РЧ сигналу на більше число гілок коаксіального кабелю, ніж у вузлі *7*, тому у вузлі *2*, відповідно, потрібне більше значення ВНШ
14	Значення $ВНШ_2$ у вузлі *2*	дБ	51	
15	Значення $ВНШ_3$ у вузлі *3*	дБ	50	
16	Значення $ВНШ_4$ у вузлі *4*	дБ	49	
17	Значення $ВНШ_5$ у вузлі *5*	дБ	50	
18	Значення $ВНШ_6$ у вузлі *6*	дБ	51	
19	Значення $ВНШ_7$ у вузлі *7*	дБ	48	

Крок 1. Визначимо необхідні рівні оптичної потужності ($p_1 \ldots p_7$) дБм на оптичних входах приймальних пристроїв вузлів *1...7* за яких забезпечується необхідне значення $ВНШ_{1...7}$. Для цього використаємо відповідну криву на рис. 12.1 для завантаження тракту 110 каналами:

– для забезпечення ВНШ$_1$ = 48 дБ потрібна оптична потужність із рівнем p_1 = –2 дБм;

– для забезпечення ВНШ$_2$ = 51 дБ потрібна оптична потужність із рівнем p_2 = 0,0 дБм;

– для забезпечення ВНШ$_3$ = 50 дБ потрібна оптична потужність із рівнем p_3 = –0,5 дБм, округляємо це значення до більшого p_3 = 0,0 дБм;

- для забезпечення ВНШ$_4$ = 49 дБ потрібна оптична потужність із рівнем p_4 = –1,5 дБм;

– для забезпечення ВНШ$_5$ = 50 дБ потрібна оптична потужність із рівнем p_5 = –0,5 дБм, округляємо це значення (до більшого) p_5 = 0,0 дБм;

– для забезпечення ВНШ$_6$ = 51 дБ потрібна оптична потужність із рівнем p_6 = 0,0 дБм;

– для забезпечення ВНШ$_7$ = 48 дБ потрібна оптична потужність із рівнем p_7 = –2,0 дБм.

Крок 2. Визначимо рівні оптичної потужності $p_1 \ldots p_4$ на вихідних полюсах оптичних розгалужувачів ОР-2, ОР-3 і ОР-4.

Для ОР-2:

– додаючи до рівня потужності на вході оптичного вузла *1* p_1 загасання a_E у волокні *E*, знаходимо рівень потужності на полюсі *1* ОР-2

$$p_8 = p_1 + a_E = -2 \text{ дБм} + 2 \text{ дБ} = 0 \text{ дБм};$$

– додаючи до рівня потужності на вході оптичного вузла *2* p_2 загасання a_F у волокні *F*, знаходимо рівень потужності на полюсі *2* ОР-2

$$p_9 = p_2 + a_F = 0 \text{ дБм} + 3 \text{ дБ} = 3 \text{ дБм}.$$

Для ОР-3:

– додаючи до рівня потужності на вході оптичного вузла *3* p_3 загасання a_G у волокні *G*, знаходимо рівень потужності на полюсі *1* розгалужувача 3

$$p_{10} = p_3 + a_G = 0 \text{ дБм} + 2 \text{ дБ} = 2 \text{ дБм};$$

– додаючи до рівня потужності на вході оптичного вузла *4* p_4 загасання a_H у волокні *H*, знаходимо рівень потужності на полюсі *2* розгалужувача 3

$$p_{11} = p_4 + a_H = -1{,}5 \text{ дБм} + 1{,}5 \text{ дБ} = 0{,}0 \text{ дБм}.$$

Для ОР-4:

– додаючи до рівня потужності на вході оптичного вузла *5* p_5 загасання a_I у волокні *I*, знаходимо рівень потужності на полюсі *1* розгалужувача 4

$$p_{12} = p_5 + a_I = 0 \text{ дБм} + 2 \text{ дБ} = 2 \text{ дБм};$$

– додаючи до рівня потужності на вході оптичного вузла *6* p_6 загасання a_J у волокні *J*, знаходимо рівень потужності на полюсі *2* розгалужувача 4

$$p_{13} = p_6 + a_J = 0 \text{ дБм} + 2{,}5 \text{ дБ} = 2{,}5 \text{ дБм};$$

– додаючи до рівня потужності на вході оптичного вузла *7* p_7 загасання a_K у волокні *K*, знаходимо рівень потужності на полюсі *3* розгалужувача 4

$$p_{14} = p_7 + a_K = -2 \text{ дБм} + 3{,}0 \text{ дБ} = 1{,}0 \text{ дБм}.$$

Крок 3. Перерахуємо рівні потужності $p_8 \ldots p_{14}$ (у дБм) на вихідних полюсах розгалужувачів ОР-2..ОР-3 у значення потужності $P_1 \ldots P_4$(мВт) за формулою $P_i = 10^{[p_i(\text{дБм})/10]}$:

$$P_8 = 10^{[p_8(\text{дБм})/10]} = 10^{(2/10)} = 1{,}58 \text{ мВт};$$
$$P_9 = 10^{[p_9(\text{дБм})/10]} = 10^{(3/10)} = 2{,}00 \text{ мВт};$$
$$P_{10} = 10^{(p_{10}(\text{дБм})/10)} = 10^{(2/10)} = 1{,}58 \text{ мВт};$$
$$P_{11} = 10^{(p_{11}(\text{дБм})/10)} = 10^{(0/10)} = 1{,}00 \text{ мВт};$$
$$P_{12} = 10^{(p_{12}(\text{дБм})/10)} = 10^{(2/10)} = 1{,}58 \text{ мВт};$$
$$P_{13} = 10^{(p_{13}(\text{дБм})/10)} = 10^{(2{,}5/10)} = 1{,}78 \text{ мВт};$$

$$P_{14} = 10^{(p_{14}(\text{дБм})/10)} = 10^{(1/10)} = 1{,}26 \text{ мВт}.$$

Крок 4. Розрахуємо сумарну оптичну потужність на вихідних полюсах розгалужувачів:

для ОР-2

$$P_{\text{сум ОР-2}} = P_8 + P_9 = 1{,}00 + 2{,}00 = 3{,}00 \text{ мВт};$$

для ОР-3

$$P_{\text{сум ОР-3}} = P_{10} + P_{11} = 1{,}58 + 1{,}00 = 2{,}58 \text{ мВт};$$

для ОР-4

$$P_{\text{сум ОР-4}} = P_{12} + P_{13} + P_{14} = 1{,}58 + 1{,}78 + 1{,}26 = 4{,}62 \text{ мВт}.$$

Крок 5. Збільшимо значення $P_{\text{сум}}$ на 20%, щоб урахувати додаткові втрати потужності в реальному розгалужувачі. Отримане значення є потужністю на вхідному полюсі відповідного розгалужувача:

для ОР-2

$$P_{\text{ОР-2}} = 1{,}2 \times (P_{\text{сум ОР-2}}) = 1{,}2 \times 3{,}00 = 3{,}6 \text{ мВт};$$

для ОР-3

$$P_{\text{ОР-3}} = 1{,}2 \times (P_{\text{сум ОР-3}}) = 1{,}2 \times 2{,}58 = 3{,}1 \text{ мВт};$$

для ОР-3

$$P_{\text{ОР-4}} = 1{,}2 \times (P_{\text{сум ОР-3}}) = 1{,}2 \times 4{,}62 = 5{,}55 \text{ мВт}.$$

Крок 6. Перерахуємо потужності $P_{\text{ОР-2,3,4}}$ у відповідні рівні потужності на входах оптичних розгалужувачів ОР-2, ОР-3 і ОР-4

$$p_{\text{ОР-2}} = 10\lg(3{,}6) = 5{,}56 \text{ дБм};$$
$$p_{\text{ОР-3}} = 10\lg(3{,}1) = 4{,}90 \text{ дБм};$$
$$p_{\text{ОР-4}} = 10\lg(5{,}55) = 7{,}44 \text{ дБм}.$$

Крок 7. Визначимо рівні оптичної потужності на вихідних полюсах ОР-1:

– додаючи до рівня потужності на вхідному полюсі ОР-2 $p_{\text{ОР-2}}$ загасання a_B у волокні *B*, знаходимо рівень потужності на вихідному полюсі *1* ОР-1

$$p_{15} = p_{\text{ОР-2}} + a_B = 5{,}56 \text{ дБм} + 2 \text{ дБ} = 7{,}56 \text{ дБм};$$

– додаючи до рівня потужності на вхідному полюсі ОР-3 $p_{\text{ОР-3}}$ загасання a_c у волокні *3*, знаходимо рівень потужності на вихідному полюсі *2* ОР-1

$$p_{16} = p_{\text{ОР-3}} + a_c = 4{,}90 \text{ дБм} + 2{,}5 \text{ дБ} = 7{,}40 \text{ дБм};$$

– додаючи до рівня потужності на вхідному полюсі ОР-4 $p_{\text{ОР-4}}$ загасання a_D у волокні *D*, знаходимо рівень потужності на вихідному полюсі *3* ОР-1

$$p_{17} = p_{\text{ОР-4}} + a_D = 7{,}44 \text{ дБм} + 1{,}5 \text{ дБ} = 8{,}94 \text{ дБм}.$$

Крок 8. Перерахуємо рівні потужності $p_{15}…p_{17}$ (дБм) на вихідних полюсах ОР-1 у значення потужності $P_{15}…P_{17}$ (мВт) за формулою $P_i = 10^{[p_i(\text{дБм})/10]}$:

$$P_{15} = 10^{[p_{15}(\text{дБм})/10]} = 10^{7{,}56/10} = 5{,}7 \text{ мВт};$$
$$P_{16} = 10^{[p_{16}(\text{дБм})/10]} = 10^{7{,}4/10} = 5{,}5 \text{ мВт};$$
$$P_{17} = 10^{[p_{17}(\text{дБм})/10]} = 10^{8{,}94/10} = 7{,}83 \text{ мВт}.$$

Крок 9. Розрахуємо сумарну оптичну потужність на вихідних полюсах ОР-1

$$P_{\text{сум ОР-1}} = (P_{15} + P_{16} + P_{17}) = (5{,}7 + 5{,}5 + 7{,}83) = 19{,}03 \text{ мВт}.$$

Крок 10. Збільшимо $P_{\text{сум ОР-1}}$ на 20%, щоб урахувати додаткові втрати потужності в реальному розгалужувачі

$$P_{\text{ОР-1}} = 1{,}2 \times (P_{\text{сум ОР-1}}) = 1{,}2 \times 19{,}03 = 22{,}84 \text{ мВт}.$$

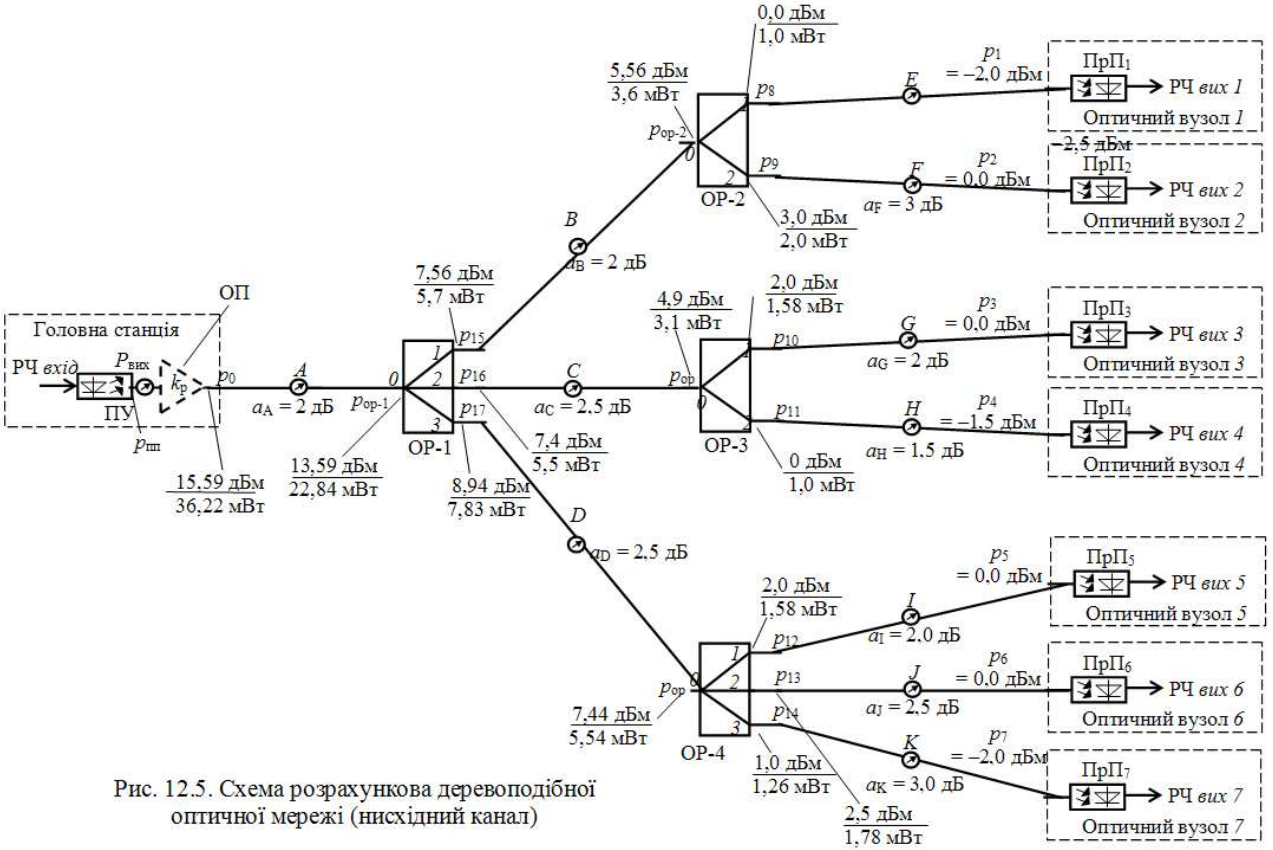


Рис. 12.5. Схема розрахункова деревоподібної оптичної мережі (нисхідний канал)

Крок 11. Перерахуємо потужність $P_{\text{ОР-1}}$ у відповідний рівень потужності на вході ОР-1

$$p_{\text{ОР-1}} = 10\lg(22{,}84) = 13{,}59 \text{ дБм}.$$

Крок 12. Визначимо необхідний рівень оптичної потужності на вході мережі додаючи до рівня потужності на вхідному полюсі ОР-1 $p_{\text{ОР-1}}$ загасання a_A у волокні A

$$p_0 = p_{\text{ОР-1}} + a_A = 13{,}59 \text{ дБм} + 2 \text{ дБ} = 15{,}59 \text{ дБм}.$$

Округляємо отриманий рівень до 16 дБм. Необхідна оптична потужність на вході мережі

$$P_0 = 10^{[p_0(\text{дБм})/10]} = 10^{(16/10)} = 39{,}8 \text{ мВт}.$$

Типове значення рівня потужності на виході серійних оптичних ПП із прямою (внутрішньою) модуляцією становить [10] $p_{\text{ПП}} = 5...13$ дБм. Відповідно до нашого розрахунку $p_0 = 16$ дБм, тобто перевищує максимально припустимий рівень на 3 дБм. До того ж не був врахований експлуатаційний запас, що для аналогових ВОСП становить $a_{\text{зап}} = 1...2$ дБ. За такої ситуації можливі наступні рішення.

Варіант А. Застосування передавального пристрою із зовнішнім електрооптичним модулятором*, наприклад, моделі HLT 7703 [10] з вихідною потужністю 17 дБм (50 мВт). Експлуатаційний запас проектованої мережі $a_{\text{зап}} = 17$ дБм – 16 дБм = 1 дБ.

Варіант Б. Застосування на виході ПП (з мінімальним рівнем оптичної потужності й відповідно найменшою вартістю) $p_{\text{ПП}} = 5$ дБм і оптичний підсилювач (ОП) з посиленням за потужністю $k_{\text{Р}} = 14$ дБ (модель НОА 7014, [3.10]). Рівень потужності на виході такого комбінованого ПП складе

$$p_0 = p_{\text{ПП}} + k_{\text{Р}} = 5 \text{ дБм} + 14 \text{ дБ} = 19 \text{ дБм (79,4 мВт)}.$$

При цьому експлуатаційний запас $a_{\text{зап}} = 19$ дБм – 16 дБм = 3 дБ.

Крок 13. Розрахуємо коефіцієнти відгалуження розгалужувачів за формулою $P_{\text{від}} = 100 \times (P_{\text{від}}/P_{\text{сум}})$, де $P_{\text{від}}$ – потужність, що відгалужується до будь-якого вихідного полюсу, $P_{\text{сум}}$ – сумарна потужність на всіх вихідних полюсах.

Для ОР-1 отримали: $P_{15} = 5{,}7$ мВт; $P_{16} = 5{,}5$ мВт; $P_{17} = 7{,}83$ мВт і $P_{\text{сум}} = 19{,}03$ мВт. Коефіцієнти відгалуження:

– для вихідного полюса *1* – $100 \times (5{,}7/19{,}03) = 30\%$;

– для вихідного полюса *2* – $100 \times (5{,}5/19{,}03) = 29\%$;

– для вихідного полюса *3* – $100 \times (7{,}83/19{,}03) = 41\%$.

Сума коефіцієнтів відгалуження ОР-1 30% + 29% + 41% = 100%. Розрахунок виконано вірно.

Для ОР-2 отримали: $P_8 = 1{,}00$ мВт, $P_9 = 2{,}0$ мВт і $P_{\text{сум}} = 3{,}00$ мВт. Коефіцієнти відгалуження:

– для вихідного полюса *1* – $100 \times (1{,}0/3{,}00) = 33\%$;

– для вихідного полюса *2* – $100 \times (2{,}0/3{,}00) = 67\%$.

* Передавальний пристрій із зовнішнім оптичним модулятором може мати два однакових оптичних виходи, наприклад, живити дві гілки деревоподібної мережі.

Сума коефіцієнтів відгалуження ОР-2 33% + 67% = 100%. Розрахунок виконано вірно.

Для ОР-3 отримали: P_{10} = 1,58 мВт, P_{11} = 1,0 мВт і $P_{сум}$ = 2,58 мВт. Коефіцієнти відгалуження:

– для вихідного полюса *1* – 100 × (1,58/2,58) = 61%;

– для вихідного полюса *2* – 100 × (1,0/2,58) = 39%.

Сума коефіцієнтів відгалуження ОР-3 61% + 39% = 100%. Розрахунок виконано вірно.

Для ОР-4 отримали: P_{12} = 1,58 мВт, P_{13} = 1,78 мВт, P_{14} = 1,26 мВт і $P_{сум}$ = 4,62 мВт. Коефіцієнти відгалуження:

– для вихідного полюса *1* – P_{12} = 100 × (1,58/4,62) = 34%;

– для вихідного полюса *2* – P_{13} = 100 × (1,78/4,62) = 39%;

– для вихідного полюса *3* – P_{14} = 100 × (1,26/4,62) = 27%.

Сума коефіцієнтів відгалуження ОР-4 34% + 39% + 27% = 100%. Розрахунок виконано вірно.

Результати розрахунку коефіцієнтів відгалуження оптичних розгалужувачів зведені в табл. 12.6.

Таблиця12.6

Значення коефіцієнтів відгалуження ОР деревоподібної мережі

Тип ОР	Номер ОР в мережі	Відсоток відгалуження потужності		
		Полюс *1*	Полюс *2*	Полюс *3*
1 х 3	1	30	29	41
1 х 2	2	33	67	Відсутній
1 х 2	3	61	39	Відсутній
1 х 3	4	34	39	27

При детальному проектуванні остаточний вибір конфігурації мережі («зірка», «шина», «дерево» або їхня комбінація) визначається з урахуванням реального розташування абонентів та шляхом порівняння техніко-економічних показників кількох варіантів.

12.5. Діаграма рівня потужності

Діаграма рівня потужності (ДРП) – це графік залежності рівня потужності (дБм) у мережі від відстані (км) на ділянці «передавальний пристрій – приймальний пристрій» для найбільш віддаленого оптичного вузла наприкінці періоду експлуатації мережі, коли вичерпано експлуатаційний запас ($a_{зап.}$= 0). ДРП графічно подає зміну рівня потужності сигналу низхідного потоку в елементах мережі. У пасивних елементах мережі рівень потужності сигналу зменшується, а в активних, наприклад, оптичному підсилювачі або регенераторі – збільшується.

Для зіркоподібної мережі ДРП будують для найдовшого «променя» (на ділянці ГС – волокно *B* – оптичний вузол *2* на рис. 12.3), а для деревоподібної – для найдовшої «гілки» (на ділянці ГС – волокна *A*, *D*, *K* – оптичний вузол *7* на рис. 12.5).

На рис. 12.6 подано ДРП для мережі типу «шина». Вихідними даними для її будівництва є результати розрахунку рівнів потужності сигналу (для низхідного каналу) в основних точках мережі (табл. 12.7), що отримані в підрозділі 12.3.

Таблиця 12.7

Рівні потужності сигналу низхідного потоку в основних точках мережі типу шина наприкінці терміну експлуатації ($a_{зап} = 0$)

Місце розташування	ГС	Мережа						ОВ-4
Пристрій/ точка мережі	ПП	ОР-1		ОР-2		ОР-3		ПрП-4
		Вхід	Виходи	Вхід	Виходи	Вхід	Виходи	
Позначення на рис. 12.4 і 12.6	p_{11}	p_{10}	p_1/p_9	p_8	p_2/p_7	p_6	p_3/p_5	p_4
Рівень потужності, дБм	10,6	8,6	7,3/–2	4,32	2,34/–3	1,34	–3/–2	–5
Відстань від ГС, км	0	4	4	10	10	12	12	16

При оптимізації мережі ДРП дозволяє визначити пасивні елементи, в яких витрачається (губиться) найбільша потужність світла.

Якщо мережа досить розгалужена (наприклад, деревоподібна) і має довгі сегменти ОК, то на виході передавального пристрою (на ГС) установлюють оптичний підсилювач потужності (*англ.* – бустер), рис. 12.5**.** Його підсилення за потужністю визначається розрахунком (див. приклад у п. 12.4).

У ряді випадків на вході ПрП установлюють попередній ОП (ПОП), що поліпшує чутливість приймальної системи. Зазначимо, що з техніко-економічних міркувань вигідніше застосувати один підсилювач потужності на виході ПП низхідного потоку, ніж *n* шт. ПОП на входах *n* приймальних пристроїв.

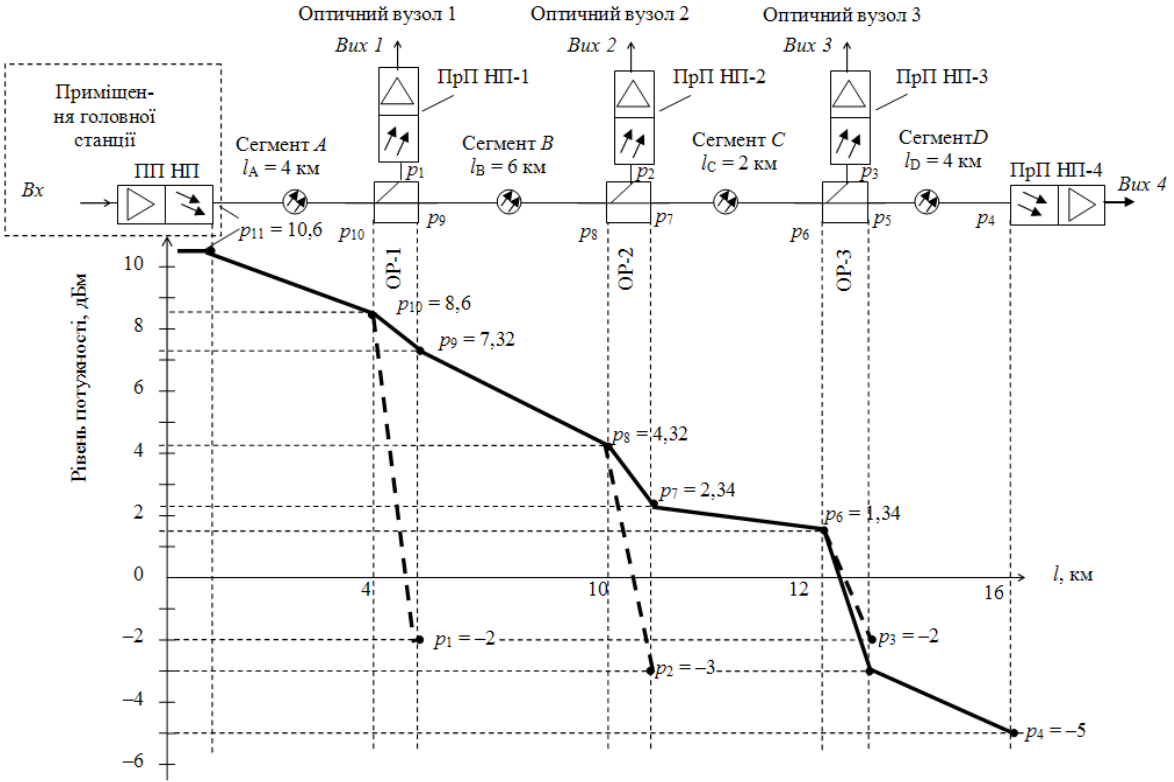


Рис. 12.6. Діаграма рівня потужності оптичної мережі типу «шина» для нисхідного потоку з чотирма приймальними оптичними вузлами

13. РОЗРОБКА ПОВНОЇ СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ МЕРЕЖІ

13.1. Розробка структурної схеми мережі

Для складання повної структурної схеми мережі необхідно доповнити мережу передачі низхідного потоку (див. рис. 12.3, 12.4 або 12.5) активними й пасивними елементами для створення каналу передачі висхідного потоку (вузькосмугові послуги в напряму «абонент-ГС»). При модернізації оптичної мережі КТБ під двоспрямовану передачу сигналів можливі два наступні рішення:

1. У найпростішому випадку для передачі сигналів у напряму «абонент-ГС» можна задіяти вільні оптичні волокна в конструкції ОК. Для цього необхідно установити в приміщеннях оптичних вузлів передавальні, а в приміщенні ГС – приймальні пристрої висхідних потоків відповідно.

2. Альтернативним (технічно більш складним) рішенням є застосування WDM технології, яка дозволяє двоспрямовану передачу сигналів одним волокном у зустрічних напрямках. Для цього обираються дві довжини хвилі, наприклад, λ_1 = 1550 нм для низхідного потоку і λ_2 = 1310 нм – для висхідного. Зрозуміло, на ГС і в оптичних вузлах необхідно установити спектральні мультиплексори (оптичні фільтри), що розділяють сигнали зустрічних напрямків передавання на λ_1 і λ_2. При розрахунку такої мережі потрібно врахувати втрати потужності в спектральних мультиплексорах.

Як приклад на рис. 13.1 наведена повна структурна схема розробленої мережі типу «шина», в якій для створення низхідного каналу використаються окремі ОВ у складі багатоволоконного ОК. У приміщенні ГС установлюється обладнання термінальної системи кабельного модемного зв'язку (ТСКМЗ), один передавальний пристрій низхідного потоку (ПП НП) і чотири приймальні пристрої висхідного потоку (ПрП ВП). У кожному із чотирьох оптичних вузлів установлюється по одному приймальному пристрої низхідного потоку (ПрП НП) і по одному передавальному пристрою висхідного потоку (ПП ВП). Модеми, що установлюються в приміщеннях абонентів, отримують (коаксіально-кабельною мережею) потік низхідних даних з виходу ПрП НП і відправляють потік висхідних даних (коаксіальним кабелем) убік ГС за допомогою ПП ВП.

Всі канали зв'язку ПП ВП $\rightarrow$ ПрП ВП створюються за допомогою окремих ОВ. При цьому на різних сегментах мережі потрібні оптичні кабелі з різним числом робочих ОВ. Розрахунок необхідного числа робочих і резервних («темних») ОВ наведено у табл. 13.1. Число резервних ОВ вибирають так, щоб загальне число ОВ у лінійному ОК (ЛОК) було парним. Число муфт $N_м = l_i/l_б - 1$, шт., де l_i – довжина i-го сегменту мережі (км); $l_б$ = 2 км – будівельна довжина ОК при прокладанні в кабельній каналізації.

Згідно з табл. 13.1 для реалізації мережі необхідно замовити (з урахуванням запасу) 10,5 км 6-волоконного й 6,3 км 4-волоконного ЛОК, а також чотири кабельні муфти.

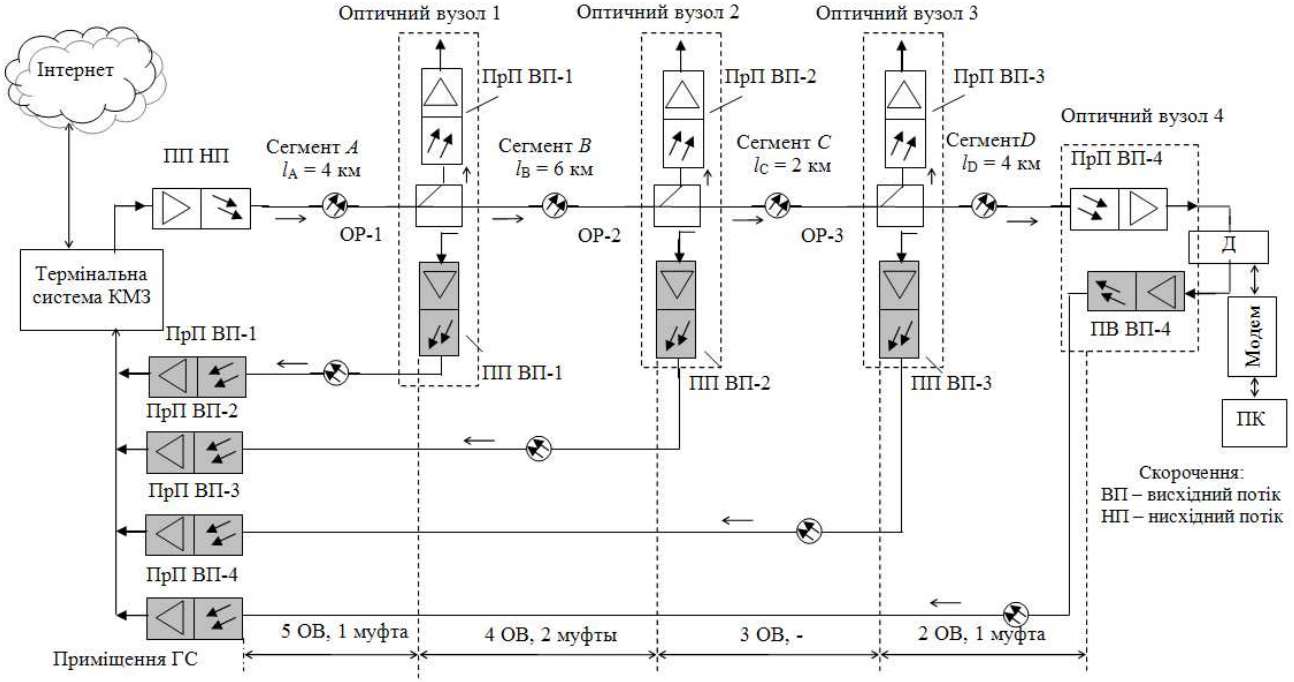


Рис. 13.1. Функціональна схема кабельного модемного зв'язку й розрахунок числа ОВ і муфт у чотирьох сегментах ЛОК (підключення абонентського модему показано умовно тільки для оптичного вузла 4)

Таблиця 13.1

Розрахунок необхідного числа ОВ у сегментах ЛОК і кількості муфт

1	Сегмент ОК (див. рис. 13.1)	*A*	*B*	*C*	*D*	Усього
2	Довжина сегмента ОК, км	4	6	2	4	16
3	Довжина ОК з урахуванням запасу 5 %, км	4,2	6,3	2,1	4,2	16,8
4	Число робочих ОВ, шт.	5	4	3	2	-
5	Число резервних ОВ, шт.	1	2	1	2	-
6	Сумарне число ОВ, шт.	6	6	4	4	-
7	Число муфт кабельних, шт.	2	3	-	2	7

13.2. Вибір активного обладнання висхідного каналу

Виберемо активне обладнання для організації висхідного каналу й перевіримо його працездатність для каналу з максимальною (ПП ВП-4 – ПрП ВП-4, l_4 = 16 км) і мінімальною (ПП ВП-1 – ПрП ВП-1, l_1 = 2 км) довжиною:

1. Для робочої довжини хвилі 1310 нм коефіцієнт загасання ОВ в ОК становить 0,5 дБ/км наприкінці строку експлуатації, будівельна довжина ОК $l_б$ = 2 км.

2. З табл. Д.14.4 обираємо ПП ВП марки RPT 3104 з найменшим значенням рівня оптичної потужності $p_{пп}$ –3 дБм у точці *S*), а значить з мінімальною вартістю.

3. Використаємо в розрахунках типові значення втрат у роз'ємних $a_{рз}$ = 0,5 дБ і нероз'ємних (зварних) $a_{нрз}$ = 0,1 дБ з'єднувачах. Приймемо експлуатаційний запас $a_{зап}$ = 3 дБ (цифрова передача).

4. Розрахуємо необхідний рівень потужності на вході приймального пристрою (ПрП ВП-4) висхідного каналу з максимальною довжиною $l_4 = l_A + l_B + l_C + l_D = 4 + 6 + 2 + 4 = 16$ км

$$p_{ПрП\text{-}4} = p_{ПП\text{-}4} - \alpha \times l_4 - 2 \times a_{рз} - (l_4/l_б - 1) \times a_{нрз} - a_{зап} =$$

$$-3 \text{ дБм} - 0{,}5 \text{ дБ/км} \times 16 \text{ км} - 2 \times 0{,}5 \text{ дБ} - (16 \text{ км}/2 \text{ км} - 1) \times 0{,}1 \text{ дБ} - 3 \text{ дБ} = -15{,}7 \text{ дБм}.$$

5. З табл. 14.7 оберемо ПрП марки RPR 2110 із припустимим рівнем оптичної потужності (у точці *R*), що лежить в інтервалі (–18…–4) дБм. Тут $p_{ПрП\ мін}$ = –18 дБм і $p_{ПрП\ макс}$= –4 дБм – рівні чутливості й перевантаження (насичення) приймального пристрою відповідно. Додатковий запас за рівнем потужності [–15,7 дБм – (–18 дБм)] = 2,3 дБ.

Отже, експлуатаційний запас за загасанням (рівню потужності) $a_{зап}$ = 3 дБ + 2,3 дБ = 5,3 дБ для найбільш віддаленого оптичного вузла №4. Оптичні вузли № 1…3 віддалені від ГС на меншу відстань і, отже, будуть мати більший запас.

6. Для найкоротшого зворотного каналу (від оптичного вузла №1 до ГС) необхідно перевірити відсутність/наявність перевантаження ПрП ВП-1 ($l_1 = l_A$ = 4 км)

$$p_{ПрП\text{-}1} = p_{ПП\text{-}1} - \alpha \times l_1 - 2 \times a_{рз} - (l_1/l_б - 1) \times a_{нрз} - a_{зап} = -3 \text{ дБм} - 0{,}5 \text{ дБ/км} \times 4 \text{ км} - 2 \times 0{,}5 \text{ дБ} - (4 \text{ км}/2 \text{ км} - 1) \times 0{,}1 \text{ дБ} - 3 \text{ дБ} = -9{,}1 \text{ дБм}.$$

Висновок. Отримане значення рівня –9,1 дБм < $p_{ПрП\ макс}$= –4 дБм, перевантаження ПрП ОП-1 відсутнє; всі зворотні канали працездатні. У

противному випадку необхідно установити (краще на боці ГС) оптичний атенюатор з необхідним значенням внесеного загасання.

13.3. Організація станційної кабельної інфраструктури

Для організації станційної кабельної інфраструктури використаються наступні пасивні компоненти: станційні (СОК) і лінійні (ЛОК) оптичні кабелі (ОК), оптичний крос (патч-панель); пристрій стику станційного й лінійного ОК (ПССЛК), роз'ємні (РЗ) і нероз'ємні (НРЗ) оптичні з'єднувачі. Розглянемо призначення кабельного обладнання, що установлюється у приміщеннях головної станції *а* й оптичного вузла без розгалужувача *б*, рис. 13.2:

1. Роз'ємні з'єднувачі (РЗ) застосовують для з'єднання/роз'єднання наступних пристроїв: $РЗ_1$ – джерела випромінювання (лазера) з ОВ, $РЗ_2$ – приймачі випромінювання (фотодіода) з ОВ, $РЗ_3$ – двох ОВ.

2. Нероз'ємне з'єднання (НРЗ) застосовується для постійного з'єднання оптичних волокон станційних і лінійного оптичних кабелів за методом електродугового зварювання. Місце зварювання захищається за допомогою термоусаджуваної гільзи.

3. Станційні ОК існують двох наступних типів.

3.1. «Пігтейл*» (ПТ) – це одноволоконний ОК, один із кінців якого оснащено «виделковою» частиною з'єднувача оптичного, що уставляється в «розетку» оптичного кроса, а другий кінець – «голий» – методом зварювання або склеювання з'єднується з оптичним волокном лінійного ОК.

3.2. «Патчкорд*» (ПК) – одноволоконний ОК, обидва кінці якого оснащені «виделковими» частинами з'єднувача оптичного. Патчкорди необхідні для з'єднання активного обладнання (ПП, ПрП, оптичних підсилювачів та ін.) з оптичним кросом. Пігтейли й патчкорди можуть бути симплексними (одне ОВ) і дуплексними (два ОВ) та прокладаються в приміщенні станції кабельростами або в спеціальних коробах.

4. Оптичний крос служить для ручної комутації станційних ОК. Він містить панель із двосторонніми «розетками», в які вставляються (і фіксуються) з одного боку вилки ПК, а з іншого – вилки ПТ або ПК. Залежно від ємності існують малі оптичні кроси («патч-панелі»), що містять декілька десятків «розеток» і великі кроси – із сотнями й навіть тисячами «розеток».

5. Пристрій стику станційних і лінійного ОК (ПССЛК) – це спеціальний короб, що служить для захисту місць з'єднання СОК і ЛОК і зберігання технологічних запасів ОВ у спеціальних касетах. ПССЛК звичайно кріпиться на стіні поблизу від кабельної шахти.

Лінійний (багатоволоконний ОК) виходить із корпуса ПССЛК і по вертикальній «кабельній шахті» прокладається до підвального поверху головної станції. За її межами він йде каналами підземної кабельної каналізації, рис 13.2, *а*. Можливе й «повітряне» прокладання ЛОК при використанні самонесучих кабелів типу «вісімка», що прилаштовуються за допомогою спеціальної арматури до спеціальних опор.

---

* Англомовні терміни, що увійшли у термінологію зв'язківців СНД.

Якщо в приміщенні оптичного вузла (без ОР) розміщується невелика кількість обладнання, то оптичний крос не установлюється, рис 13.2, *б*. Активне обладнання (ПП, ПрП) у такій ситуації з'єднується з ЛОК за допомогою зварювання волокон ЛОК з волокнами пігтейлів (патчкорди не потрібні).

Як приклад на рис. 13.3 наведена кабельна інфраструктура оптичного вузла № 2 (аналогічно для вузлів № 1 і № 3), де установлюється оптичний розгалужувач (ОР). У приміщення такого вузла вводять два лінійних кабелі – ЛОК В, що йде від оптичного вузла № 1, і ЛОК С, що прокладається до оптичного вузла № 3. Оптичні волокна цих кабелів за допомогою пігтейлів приєднуються до оптичного кросу із числом «оптичних гнізд – вилок» більше 12 шт. – ліва сторона кросу. До правої сторони кросу приєднуються наступні пристрої: 1) за допомогою пігтейлів і зварних з'єднань – оптичний розгалужувач ОР-2*; 2) за допомогою патчкордів – приймальний пристрій низхідного потоку (ПрП НП) і передавальний пристрій висхідного потоку (ПП ВП).

Транзитні ОВ (для зворотних каналів), що йдуть від оптичних вузлів № 3 та № 4 (рис. 13.3) комутуються за допомогою патчкордів, а резервні волокна заводяться на оптичний крос і в майбутньому можуть бути використані для розвитку мережі.

Лінійні волокна в усіх оптичних вузлах (проміжних і кінцевих) повинні бути оснащені пігтейлами для цілей їхнього перемикання на резервні волокна (вручну або автоматично), а також для проведення профілактичних і аварійних вимірів (при пошуку можливих ушкоджень оптичного кабелю) за допомогою рефлектометра оптичного.

Розрахунок кількості станційного пасивного обладнання для будівництва мережі типу «шина» (рис. 13.1) наведений у табл. 13.2.

Таблиця 13.2

Розрахунок кількості станційного пасивного обладнання (шт.) для будівництва мережі типу «шина»

Пункт мережі		Оптичний крос	ПТ	ПК	ОР	ПССЛК
Головна станція		1 (на 24 розетки)	6	6	–	1
Оптичний вузол №	1	1 (на 12 розеток)	13	6	1	1
	2	1 (на 12 розеток)	13	6	1	1
	3	1(на 12 розеток)	13	6	1	1
	4	–	3	–	–	1
Усього, шт.		4	48	24	3	5

* Можливе установлення (за допомогою зварювання) оптичного розгалужувача у середині кабельної муфти. Однак у цьому випадку ускладнюється обслуговування мережі.

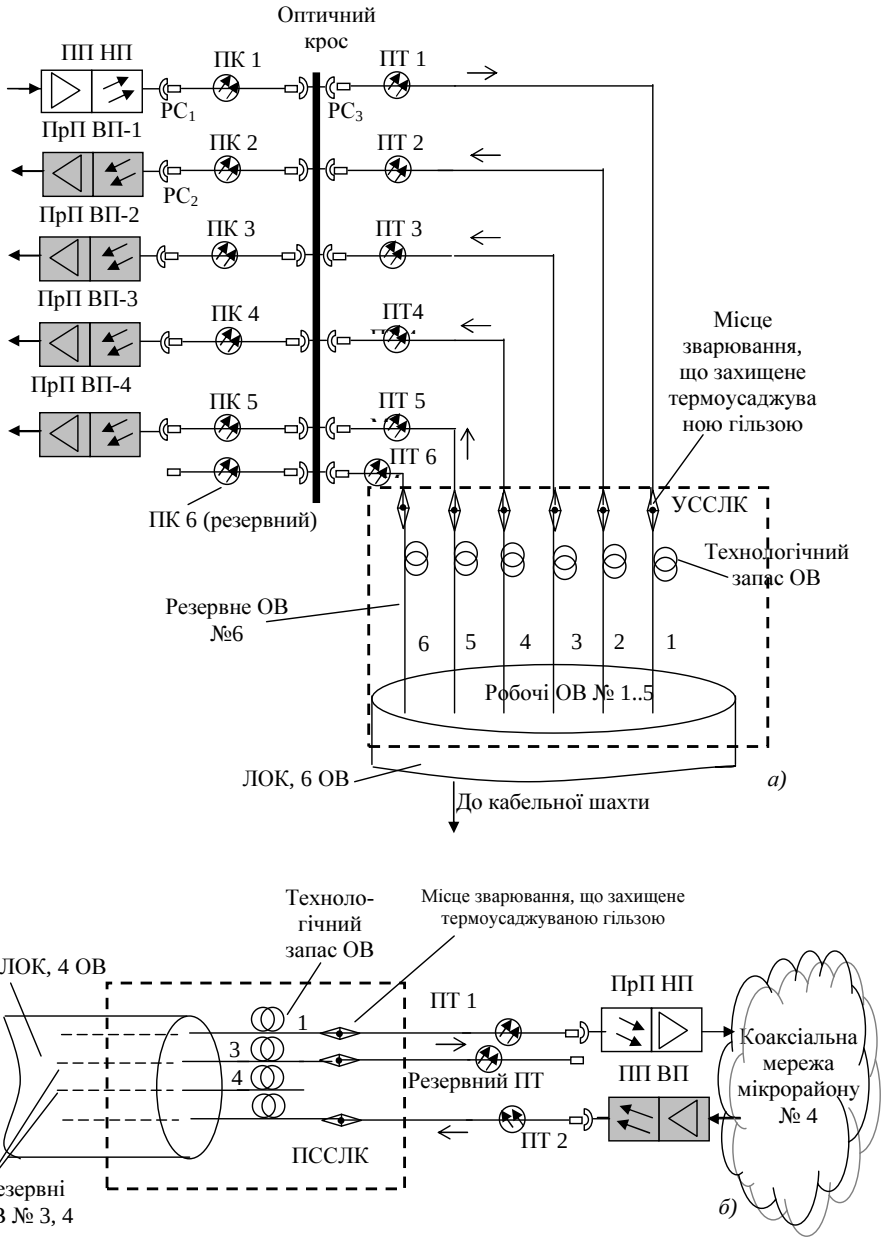


Рис. 13.2. Інфраструктура ОК у приміщенні головної станції *а* і приміщенні оптичного вузла без оптичного розгалужувача *б* (вузол *4* на рис. 13.1), де: СОК – станційний ОК; ЛОК – лінійний ОК; ПК – патчкорд; ПТ – пігтейл; ПССЛК – пристрій стику станційних і лінійного ОК і зберігання технологічного запасу ОВ

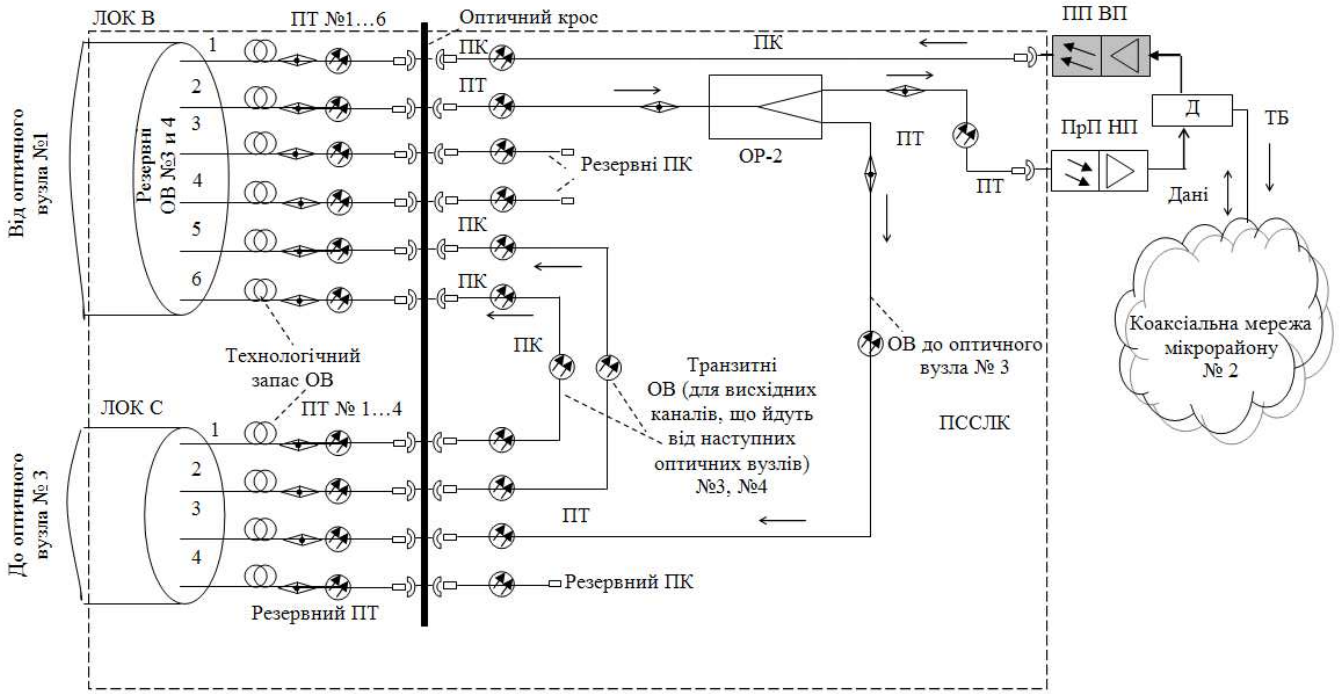


Рис. 13.3. Інфраструктура ОК в приміщені оптичного вузла № 2 з оптичним розгалужувачем ОР-2 (див. рис. 13.1)

13.4. Перелік обладнання для будівництва мережі

Для реалізації розробленої оптичної мережі доступу типу «шина» (див. рис. 12.4 і табл. 13.2) необхідно наступне обладнання.

1. У приміщенні ГС розташовується наступне обладнання (рис. 13.2,*а*):

– головна станція для трансляції сигналів ТБ;

– термінальна система кабельного модемного зв'язку;

– передавальний пристрій низхідного потоку;

– чотири приймальні пристрою висхідного потоку;

– оптичний крос малий (патч-панель);

– станційні оптичні кабелі (СОК) типу «патчкорд» і «пігтейл».

2. У лінійній частині оптичної мережі (табл. 13.2) застосовуються:

– лінійні оптичні кабелі (ЛОК) з 4-ма та 6-ма оптичними волокнами (будівельну довжину ЛОК можна прийняти 2 км);

– муфти оптичні (для з'єднання волокон будівельних довжин ЛОК за методом електродугового зварювання).

3. У приміщеннях кожного оптичного вузла (рис. 13.2,*б* і рис. 13.3) розміщують:

– оптичний розгалужувач Y-типу 1 х 2 (крім кінцевого вузла № 4);

– приймальний пристрій низхідного потоку;

– передавальний пристрій висхідного потоку;

– оптичні кроси (крім кінцевого вузла № 4);

– станційні оптичні кабелі типу «патчкорд» і «пігтейл».

4. У приміщенні абонента установлюється кабельний модем, підключений до кабельної мережі оператора КТБ.

Перераховане обладнання (для мережі зі структурною схемою на рис. 12.4) та його вартість (див. табл. 14.8) наведене в табл. 13.3.

Таблиця 13.3

Перелік і ціна обладнання для розробленого проекту мережі

№	Обладнання	Од. виміру	Кількість од.	Ціна за шт.	Вартість, $US
1	2	3	4	5	6
Приміщення головної станції:					
1.	Термінальна система КМЗ	шт.	1	18000	18000
2.	ПП низхідного потоку, 1310 нм, 16 мВт	шт.	1	1690	1690
3.	ПрП висхідного потоку	шт.	4	256	1024
4.	Оптичний крос (24 гнізда)	шт.	1	20	20
5.	СОК типу «патчкорд»	шт.	6	30	180
6.	СОК типу «пігтейл»	шт.	6	15	90

Продовження таблиці 13.3

Лінійна частина оптичної мережі:					
1	2	3	4	5	6
7.	ЛОК з 4 шт. ОВ	км	6,3	860	5160
8.	ЛОК з 6 шт. ОВ	км	10,5	970	10185
9.	Муфти оптичні	шт.	7	80	560
Приміщення оптичних вузлів:					
10.	ПрП висхідного потоку 1310 нм	шт.	4	860	3440
11.	ПП висхідного потоку 1310 нм, 4 мВт	шт.	4	1410	5640
12.	Оптичний розгалужувач 1 х 2	шт.	3	150	450
13.	СОК типу «пігтейл»	шт.	48	15	720
14.	СОК типу «патчкорд»	шт.	18	30	540
15.	Оптичний крос (12 гнізд)	шт.	4	20	80
Приміщення абонентів:					
16.	Кабельний модем DOCSIS 2.0, USB, 10/100 Base-T Ethernet, 220V	шт.	1	47	-
Усього: 48175$ х 8 грн. = 385400 грн.					48175

Кожний з чотирьох вузлів може обслуговувати до 400 абонентів. При цьому вартість мережі, що віднесена до одного абонента, складе 385400/ (4 х 400) = 241 грн./абонент (без урахування будівельних і монтажних робіт).

14 ДОВІДКОВІ МАТЕРІАЛИ ДО ЧАСТИНИ 3

14.1. Активні компоненти мереж HFC

Активними називають компоненти (пристрої), для функціонування яких потрібна енергія живлення (електроенергія) для передавальних і приймальних пристроїв або енергія оптичного накачування для волоконно-оптичного підсилювача. Розглянемо параметри і характеристики основних активних компонентів мереж.

14.1.1. Передавальні пристрої

Передавальний пристрій (ПП) призначений для перетворення електричних (Е) сигналів в оптичні (О). У процесі цього Е/О перетворення здійснюється пряма модуляція інтенсивності (МІ) несучого коливання, довжина хвилі якого лежить у ближній інфрачервоній ділянці спектра хвиль 820....1600 нм.

Аналогові й цифрові ПП застосовуються для перетворення відповідно аналогових і цифрових електричних сигналів в оптичні. В якості джерела випромінювання в ПП застосовуються світлодіоди (СД) і лазерні діоди (ЛД). Передавальні пристрої для HFC мереж доступу можна розділити на дві групи – для низхідного потоку (широкосмугові, аналогові) і для висхідного – вузько смугові цифрові. Параметри й характеристики ПП наведені в табл. 14.1.

Таблиця 14.1

Параметри та характеристики передавальних пристроїв

	Параметр, характеристика	Визначення	Од. виміру
1	2	3	4
Вхідний електричний полюс	Формат вхідного сигналу електрозв'язку	Рівні напруги, що відповідають логічним символам “*0*” і “*1*” при цифровому передаванні або рівні відео й аудіосигналів у випадку аналогового передавання	дБ/мкВ[1)], В[2)]
	Ширина смуги пропускання[1)] $f_{0,5}$	Інтервал частот модуляції, в якому значення модуляційної амплітудно-частотної характеристики (АЧХ) аналогового ПП більше або дорівнює половині від її максимального значення	Гц
	Швидкість передавання[2)] B	Швидкість передавання символів цифрового сигналу на вході цифрового ПП, за якого його параметри зберігають задані значення	біт/с
	Відношення сигнал/шум[1)] – ВСШ; відношення несуча/шум ВНШ[1)]	Відношення амплітуди сигналу (РЧ несучої) до середньоквадратичного значення флуктуацій у смузі пропускання на вихідному оптичному полюсі аналогового ПП	разів (дБ)

Закінчення таблиці 14.1

1	2	3	4
	Нелінійні спотворення[1)]: – CSO (Composite Second Order); – CTB (Composite Triple Beat)	CSO – сумарні комбінаційні продукти другого порядку; CTB – сумарні комбінаційні продукти третього порядку	дБ дБ
Вихідний оптичний полюс S	Середня потужність, *P* (рівень потужності *p)* випромінювання	Середнє в часі значення потужності випромінювання на вихідному оптичному полюсі в заданому тілесному куті	мВт (дБм)
	Спектральна характеристика (СХ), $P(\lambda)$	Залежність середньої потужності випромінювання від довжини хвилі випромінювання	$P_{опт}(\lambda)$, мВт
	Робоча довжина хвилі, λ	Довжина хвилі оптичного випромінювання (на вихідному оптичному полюсі ПП) на якій нормуються його параметри	нм
	Ширина спектра випромінювання $\Delta\lambda$	Максимальна відстань між абсцисами точок СХ, що відповідають заданому рівню: –3 дБ (для багатомодових), –20 дБ (для одномодових)	нм
	Динамічне розширення спектра,[3)] Δf	Випадкове збільшення ширини спектра випромінювання ПП внаслідок прямої модуляції інтенсивності випромінювання	МГц
	Індекс оптичної модуляції,[1)] *m*	Відношення змінної складової потужності випромінювання до її середнього в часі значенню	%
	Коефіцієнт гасіння,[2)] $k_г$	Логарифмічне відношення потужностей випромінювання в режимі передачі логічних символів “1” і “0”	дБ
	Відносна інтенсивність шуму, *RIN* (*rin*) (тільки для ЛД)	Логарифмічне відношення середньої потужності шумів ЛД до середньої потужності випромінювання в одиничній смузі частот	1/Гц (дБм/Гц)
Примітки: [1)] для аналогових ПП; [2)] для цифрових ПП; [3)] чірп, чірпінг.			

Параметри передавальних пристроїв мереж HFC наведені в табл. 14.2 і 14.3 для низхідного потоку, а в табл. 14.4 – для висхідного потоку [10].

Таблиця 14.2

Параметри аналогових передавальних пристроїв серії PWRLink для низхідного потоку, робоча довжина хвилі 1290...1330 нм

Модель	Рівень потужності у точці *S*, дБм	Індекс модуляції на канал, %	Параметри якості[1)]		
			ВНШ, дБ	Несуча/ CSO, дБ	Несуча/ CTB, дБ
PWL 4804	5,0 ± 0,5	4,5 ± 0,25	49...52 …52,0	> 63	> 67
PWL 4805	5,5 ± 0,5	4,6 ± 0,25	49...52 …52,5		
PWL4806	6,0 ± 0,5	4,7 ± 0,25	49...53 …53,0		
PWL4807	6,5 ± 0,5	4,9 ± 0,25	49...53 …53,5		
PWL4808	7,0 ± 0,5	5,0 ± 0,25	49...54		
PWL4809	8,0 ± 0,5	5,0 ± 0,25			
PWL 4810	9,5 ± 1,0	5,0 ± 0,25			
PWL 4811	10,5 ± 1,0	5,0 ± 0,25			
PWL 4812	11,0 ± 1,0	5,1 ± 0,25			
PWL 4813	11,5 ± 1,0	5,2 ± 0,25	49...54 …54,5		
PWL4714	13,0 ± 1,0	4,0 ± 0,25	51...56		
PWL4715	13,5 ± 1,0	4,0 ± 0,25	51...57		
PWL4716	14,0 ± 1,0	4,0 ± 0,25	51...58		
Примітки: [1)] Для завантаження тракту 76 каналами ТБ.					

Таблиця 14.3

Параметри аналогових передавальних пристроїв серії MaxLink с зовнішнім модулятором для низхідного потоку, робоча довжина хвилі 1535...1565 нм

Модель	Рівень потужності у точці *S*, дБм (за двома виходами)	Параметри якості[1)]		
		ВНШ, дБ	Несуча/CSO, дБ	Несуча/CTB, дБ
HLT 7703	≥3,0	49,5…54,5	65	> 65
HLT 7706	≥6,0	52…57		
HLT7709	≥9,0	55…57		
Примітка: [1)] Для завантаження тракту 80 каналами ТБ.				

Таблиця 14.4

Параметри цифрових передавальних пристроїв висхідного каналу, робоча довжина хвилі 1300...1320 нм

Модель	Діапазон РЧ, МГц	Рівень потужності у точці *S*, дБм	Енергетичний потенціал, дБ	Параметри якості		
				ВНШ, дБ	Несуча/ CSO, дБ	Несуча/ CTB, дБ
RPT 3104	5…60	–3,0	0…17	40...57	(60 (60	
RPT 3105	5...200	0,0	–	52...7		
RPT3106		9,5	6…23	>50		
RPT 3107		9,5	–	–		

14.1.2. Приймальні пристрої

Приймальний пристрій (ПрП) призначений для перетворення оптичних (О) сигналів в електричні (Е). В процесі О/Е перетворення відбувається демодуляція оптичного сигналу модульованого за інтенсивністю (потужністю). Аналогові і цифрові ПрП призначені для прийому аналогових і цифрових сигналів відповідно. Приймальні пристрої для мереж доступу також можна поділити на дві групи: 1) для низхідного каналу широкосмугові, аналогові; 2) для висхідного каналу – вузько смугові, цифрові. Характеристики й параметри приймальних пристроїв наведені в табл. 14.5.

Таблиця 14.5

Характеристики та параметри приймальних пристроїв

	Параметр, характеристика	Визначення	Од. виміру
1	2	3	4
Вхідний оптичний полюс	Робоча довжина хвилі, $\lambda_р$	Довжина хвилі прийнятого оптичного випромінювання, для якої нормуються параметри ПрП	нм
	Вольтовий відгук,[1)] ρ_i	Відношення приросту амплітуди вихідної напруги сигналу до приросту потужності вхідного оптичного сигналу	В/Вт
	Спектральна характеристика, $\rho_i(\lambda)$	Залежність вольтового відгуку ПрП від довжини хвилі прийнятого оптичного випромінювання	нм
	Чутливість, $P_о$ (рівень чутливості, $p_о$)	Мінімальна середня потужність оптичного сигналу на вхідному полюсі ПрП (при заданих параметрах цього сигналу), за якої забезпечується задане відношення сигнал/шум (несуча/шум)[1)] або необхідний коефіцієнт помилок[2)]	Вт (дБм)

Закінчення таблиці 14.5

1	2	3	4
Вихідний електричний полюс (контрольна крапка *S*)	Формат вихідного сигналу електрозв'язку	Рівні напруги, що відповідають логічним символам “0” і “1” при цифровому передаванні, (рівень групового РЧ сигналу при аналоговому передаванні)	(дБмкВ)[1] В[2]
	Ширина смуги пропускання,[1] *F*	Інтервал частот, в якому значення АЧХ аналогового ПрП більше або дорівнює половині від її максимального значення	Гц
	Швидкість передачі,[2] *B*	Швидкість передавання символів цифрового сигналу на вхідному оптичному полюсі цифрового ПрП, при якій його параметри зберігають задані значення	біт/с
	Напруга шуму, $U_{ш}$	Середньоквадратичне значення флуктуацій вихідної напруги в заданій смузі частот за умови відсутності сигналу на його вхідному оптичному полюсі	В
	Відношення сигнал/шум,[1] ВСШ; відношення несуча/шум, ВНШ[1]	Відношення амплітуди змінної складової вихідної напруги ПрП при заданих параметрах оптичного сигналу на вході до середньоквадратичного значення флуктуацій вихідної напруги за умови приймання не модульованого оптичного випромінювання з тією ж самою середньою потужністю	Разів (дБ)
	Нелінійні спотворення[1]: – CSO (Composite Second Order); – CTB (Composite Triple Beat)	 CSO – сумарні комбінаційні складові другого порядку; CTB – сумарні комбінаційні складові третього порядку	 дБ дБ
	Коефіцієнт помилок,[2] $K_{пом}$	Відношення числа помилок у цифровому сигналі електрозв'язку на виході цифрового ПрП у заданому інтервалі часу до числа символів на цьому інтервалі	–
Примітки: [1] для аналогових ПрП; [2] для цифрових ПрП.			

Параметри приймальних пристроїв мереж HFC наведені в табл. 14.6 і 14.7 для низхідного і висхідного потоків відповідно.

Таблиця 14.6

Параметри аналогових приймальних пристроїв низхідного потоку

Параметр	Од. вимір.	Модель		
		HLR 3800	LN-SM72-BJ00K1	OM 8 P6D
1	2	3	4	5
Оптичні параметри				
Діапазон довжин хвиль	нм	1250…1600	1280…1340	1310…1550
Рівень оптичної потужності в точці *R*	дБм	–5…+1	–7…0	–7...+3
Втрати зворотного відбиття	дБ	< –40	< –45	< –45 без з'єднувача
Параметри вихідного РЧ сигналу				
Рівень вихідного РЧ сигналу	дБмВ	>36	36	36
Робочий діапазон частот	МГц	45...870	54...750	88...862
Нерівномірність АЧХ	дБ	±1	±0,5	±1,0
Коефіцієнт відбиття на РЧ виході	дБ	> 18	> 14	> 16
Параметри якості переданого РЧ сигналу				
Відношення несуча/шум	дБ	н/д	н/д	52
Інтермодуляційні спотворення другого порядку (CSO)	дБ	> 62 для 77 кан.	62 для цифр. кан.	63 для 42 кан.
Інтермодуляційні спотворення третього порядку (CTB)	дБ	> 67 для 77 кан.	62,5 для цифр. кан.	67 для 42 кан.
Контроль і керування мережею				
Контроль рівня вихідного РЧ-сигналу	–	Автоматичний і ручний режими	Ручний режим	Автоматичний і ручний режими
Система дистанційного керування й контролю	–	NetWanch, SMMP-сумісна	CNM	немає
Пілот-сигнал для цілей АРП й моніторингу із частотою $f_{пілот}$	МГц	10,7	н/д	немає
Робочий діапазон температур	°З	–40…+60	–40...+60	н/д
Споживана потужність	Вт	< 30	57	48
Максимальний струм дистанційного живлення	А	8	н/д	7
Примітка: н/д – немає даних.				

Таблиця 14.7

Основні параметри цифрових приймальних пристроїв висхідного потоку

Модель	Оптичні параметри			Радіочастотні параметри		
	рівень потужності в точці *R*, дБм	інтервал довжин хвиль, нм	зворотні втрати, дБ	діапазон РЧ, МГц	рівень РЧ сигналу, дБмВ	неравномірність АЧХ, дБ
RPR 2110	–18...–4	1260…1600	16	5…60	20 ± 5	± 1,5
RPR 2211A	–16...–5	1260…1600	16	5...200		

14.1.3. Оптичні вузли

Оптичний вузол (optical node) – активний пристрій мережі, що складається із приймального пристрою низхідного і одного або декількох передавальних пристроїв висхідного потоку, блока живлення та інших допоміжних блоків. Оскільки ширина смуги пропускання низхідного і висхідного каналів не є однаковими, то відрізняються й параметри відповідних приймальних і передавальних пристроїв. Наприклад, у стандартному корпусі масштабованого оптичного вузла марки NRH 3868 можна розмістити: до восьми оптичних модулів (ПП, ПрП); два вихідних радіочастотних модуля (підсилювач, атенюатор, еквалайзер); два модулі електроживлення; один пристрій телеконтролю.

14.1.4. Волоконно-оптичні підсилювачі

Для збільшення протяжності/розгалуженості мережі застосовують оптичні підсилювачі різних типів: 1) напівпровідникові; 2) на основі оптичного волокна, що леговане ербієм; 3) Раманівські. Три основних параметри характеризують оптичний підсилювач: коефіцієнт підсилення за потужністю, вихідна потужність у режимі насичення підсилювача і коефіцієнт шуму.

Коефіцієнт підсилення $K_р$ і його логарифмічний еквівалент $k_р = 10\lg K_р$(дБ) визначаються співвідношеннями

$$K_р = P_{с\ вих}/P_{с\ вх},\ k_р = p_{с\ вих}(\text{дБм}) - P_{с\ вх}(\text{дБм}),\ \text{дБ},$$

де $P_{с\ вих}$, $P_{с\ вх}$ – потужності (мВт); $p_{с\ вих}$, $p_{с\ вх}$ – рівні потужності (дБм) корисних сигналів на виході й вході підсилювача відповідно. Коефіцієнт підсилення оптичного підсилювача EDFA залежить від довжини хвилі й потужності вхідного сигналу.

Із практичної точки зору вводять ще один параметр ОУ – потужність насичення на виході підсилювача $P_{с\ вих\ нас}$. Вона визначається як значення потужності сигналу на виході, за якого коефіцієнт підсилення $K_р$ у два рази ($k_р$ на 3 дБ) менше за максимальне значення коефіцієнта підсилення $P_{с\ вих\ макс}$, що досягається при малому вхідному сигналі.

Коефіцієнт шуму $K_{ш}$ показує, як сильно зростає оптичний шум у підсилювачі порівняно з корисним сигналом, і визначається як відношення оптичних сигнал/шум на вході (ВОСШ$_{вх}$) до відношення оптичних сигнал/шум на виході (ВОСШ$_{вих}$)

$$K_{ш} = (P_{с\ вх}/P_{ш\ вх})/P_{с\ вих}/P_{ш\ вих}),\ k_{ш} = 10\lg[(P_{с\ вх}/P_{ш\ вх})/P_{с\ вих}/P_{ш\ вих})]\ \text{дБ},$$

де $P_{ш\ вх}$ і $P_{ш\ вих}$ – потужності оптичного шуму на вході й виході підсилювача відповідно.

14.2. Параметри й ціни оптичного обладнання

Параметри й ціни оптичного обладнання СНД [15] наведені в табл. 14.8.

Таблиця 14.8

Параметри й ціни оптичного обладнання СНД

№	Модель	Параметр	Од.	Значення	Ціна, $
1	2	3	4	5	6
Частина І. Активне обладнання					
А. Передавальні пристрої для λ = 1310 нм					
1	M107/M607-4	Потужність/рівень потужності у контрольній точці *S*	мВт/дБм	4/6	1410
2	M107/M607-6			6/7,8	1480
3	M107/M607-8			8/9	1560
4	M107/M607-10			10/10	1610
5	M107/M607-12			12/10,8	1660
6	M107/M607-14			14/11,5	1740
7	M107/M607-16			16/12	1790
8	M107/M607-18			18/12,6	1840
9	M107/M607-20			20/13	1890
Б. Передавальні пристрої для λ = 1550 нм із зовнішнім модулятором і одним виходом					
1	PBI-1550 OMLT13-1- 2	Потужність /рівень потужності у точці *S*	мВт/дБм	2/3	6690
2	PBI-1550 OMLT13-1- 3			3/4,8	6900
3	PBI-1550 OMLT13-1- 4			4/6	7290
4	PBI-1550 OMLT13-1- 5			5/7	7925
В. Передавальні пристрої для λ = 1550 нм із зовнішнім модулятором і двома виходами					

Закінчення таблиці 14.8

1	2	3	4	5	6
1.	PBI-1550 OMLT 17-2-3	Потужність/рівень потужності у точці *S*	мВт/дБм	3/4,8	12100
2	PBI-1550 OMLT 17-2-5			5/7	13100
3	PBI-1550 OMLT 17-2-8			8/9	14170
Г. Оптичні підсилювачі на волокні, легованому ербієм, для λ = 1550 нм					
1	PBI-EDFA1000-14	Потужність/рівень потужності у точці *S*	мВт/дБм	25/14	1080
2	PBI-EDFA1000-15			30/15	1170
3	PBI-EDFA1000-16			40/16	280
4	PBI-EDFA1000-17			50/17	350
5	PBI-EDFA1000-18			63/18	429
6	PBI-EDFA1000-19			79/19	490
7	PBI-EDFA1000-20			100/20	600
8	PBI-EDFA1000-21			125/21	740
9	PBI-EDFA1000-22			158/22	2241
10	PBI-EDFA1000-23			188/23	2490
Д. Приймальні пристрої для робочих довжин хвилі в діапазоні 1310…1550нм					
1	OR860T-2 GaAs (для зворотного потоку)	Діапазон рівнів потужності у точці *R*	дБм	–20.....+3	256
2	OR860T-4 GaAs (для прямого потоку)			–10.....+3	860
Частина II. Пасивне обладнання[1)]					
1	Оптичний розгалужувач 1 х 2	-	шт.	-	220
2	Оптичний розгалужувач 1 х 3	-	шт.	-	220
3	СОК типу «пігтейл»	(1 м СОК – 1 $) + (5 $ – «оптична вилка»)			
4	СОК типу «патчкорд»	(1 м СОК – 1 $) + (5 $ х 2 – «оптичні вилки»)			
5	ЛОК із числом ОВ до 8	-	км	1	1000
6	Муфта для ЛОК	-	шт.	1	200
[1)] *Примітка*. Зазначено типові ціни.					

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ ДО ЧАСТИНИ 3

1. *Мережі* та обладнання широкосмугового доступу за технологіями xDSL: Навч. посіб./ [В.О. Балашов та інші]. – Одеса: Вид. центр ОНАЗ ім. О.С. Попова, 2010. – 208 с.

2. *Росляков А.В.* Сети доступа: [учеб. пособ. для вузов]. – М: Горячая линия – Телеком, 2008. – 96 с.

3. *Справочник по телекоммуникационным технологиям;* пер. с англ. – М: Изд. Дом «Вильямс», 2004. – 640 с.

4. *Фриман Р.* Волоконно-оптические системы связи/ Фриман Р. – М.: Техносфера, 2003. – 440 с.

5. *Корнейчук В.И.* Волоконно-оптические оптические измерения / В.И. Корнейчук, И.П. Лесовой. – К.: Наукова думка, 2002. – 323 с.

6. *Алексеев Е.Б.* Оптические сети доступа: учеб. пособ. / Алексеев Е.Б. – М.: МТУ СИ, 2005. – 140 с.

7. *Петренко И.И.* Пассивные оптические сети PON: Часть 1 – Архитектура и стандарты/ LIGHTWAVE *Russian Edition* / И.И. Петренко, Р.Р. Убайдуллаев. – 2004. – № 1. – 22-28 с. (www.lightwave-russia.com).

8. *Петренко И.И.* Пассивные оптические сети PON: Часть 2 – Ethernet на первой миле/ LIGHTWAVE *Russian Edition* / И.И. Петренко, Р.Р. Убайдуллаев. – 2004. – № 2. – 25-32 с. (www.lightwave-russia.com).

9. Материалы семинара «Сети кабельного телевидения (CATV): основы технологии, технические аспекты, перспективы развития». – К.: РОМСАТ, октябрь 1997. – 132 с. (Сайт компании РОМСАТ – www.romsat.ua).

10. Сайт www.harmonic.com. (Активное оптическое оборудование для сетей КТВ).

11. Сайт www.cableman.ru («Кабельщик» – информационно-аналитический журнал для профессионалов кабельного телевидения).

12. Сайт www.cablemodem.com/specifications.html. (Официальная страница CableLabs, содержащая спецификации кабельной модемной связи DOCSIS).

13. Сайт www.cabledatacomnews.com. (Новости и технические статьи, посвященные передаче данных по сетям кабельного телевидения).

14. Сайт www.isp-lists.isp-planet.com/isp-cable/.(Домашняя страница списка рассылки ISP-CABLE – самого популярного в этой области на Западе).

15. Сайт www.pbi-russia.com. (Цены на оборудование, Россия).

16. Сайт www.optalux.com.ua. (Цены на оборудование, Украина).

СПИСОК СКОРОЧЕНЬ

Україномовні скорочення

АВП – абонентський високочастотний пристрій
АЛ – абонентська лінія
АТС – автоматична телефонна станція
АЧХ – амплітудно-частотна характеристика
БМ – багатомодове
ВМК – виносний модуль комутації
ВНШ – відношення несуча/шум
ВОК – волоконно-оптичний кабель
ВОСШ – відношення оптичних сигнал/шум на вході
ВП – висхідний потік
ГКРА – група компактно розташованих абонентів
ГС – головна станція
дБм – абсолютний рівень сигналу за потужністю, в децибелах
ДРП – діаграма рівня потужності
Е/О – електро/оптичне перетворення
ЗПЖ – зона прямого живлення
КК – коаксіальний кабель
КМЗ – кабельний модемний зв’язок
КС – комутаційна станція
КТБ – кабельне телебачення
ЛД – лазерний діод
ЛОК – лінійний оптичний кабель
МІ – модуляція інтенсивності
МСЕ – міжнародний союз електрозв’язку
НП – низхідний потік
НРЗ – нероз'ємний з'єднувач
НТБ – наземне телебачення
О/Е – опто/електричне (перетворення)
ОБ – оптичний бокс
ОБС/АМ– одна бокова смуга/амплітудна модуляція
ОВ – оптичне волокно
ОМ – одномодове
ОМД – оптична мережа доступу
ОП – оптичний підсилювач
ОпВ – оптичний вузол
ОР – оптичний розгалужувач
ОРК – оптична розподільна коробка
ОРШ – оптична розподільна шафа
ОЦК – основний цифровий канал
ПЗ – програмне забезпечення
ПК – персональний комп'ютер
ПК – патчкорд
ПЛЗ – повітряні лінії зв’язку
ПОП – попередній оптичний підсилювач
ПП – передавальний пристрій
ПрП – приймальний пристрій

ПССЛК – пристрій стику станційних і лінійного ОК
ПТ – пігтейл
РЗ – рознімний з'єднувач
РК – розподільна коробка
РМ – радіомовлення
РРЛ – радіорелейна лінія
РЧ – радіочастота
РШ – розподільна шафа
СД – світлодіод
СК – симетричний кабель
СОК – станційний оптичний кабель
СТБ – супутникове телебачення
СХ – спектральна характеристика
ТА – телефонний апарат
ТВ – телевізійний, телевізор
ТСКМЗ – термінальна система кабельного модемного зв'язку
ТфЗК – телефонна мережа загального користування
УАТС – установча АТС
ЦАЛ – цифрова абонентська лінія
ШАД – широкосмуговий абонентський доступ
ШД – широкосмуговий доступ

Англомовні скорочення

ADSL – Asymmetrical Digital Subscriber Line – асиметрична цифрова абонентська лінія
AE – Active Ethernet – Активні мережі Ethernet
APC – Angle Physical Contact – кутовий фізичний контакт
APC Angle physical contact – кутовий фізичний контакт
BER – Bite error ratio – коефіцієнт бітових помилок
BRAS – Broadband Remote Access Server – сервер віддаленого широкосмугового доступу
CNR – Carrier-to-Noise Ratio
CPE – Customer Premises Equipment – обладнання в приміщенні клієнта
CSO – Composite Second Order – комбінаційні завади другого порядку
CTB – Composite Triple Beat – комбінаційні завади третього порядку
DEMUX – демультиплексор
DMT – Discrete MultiTone – дискретна багатотонова передача (модуляція)
DSL – Digital Subscriber Line – цифрова абонентська лінія
DSLAM – Digital Subscriber Line Access Multiplexer– мультиплексор доступу цифрових абонентських ліній
EDFA – Erbium doped fiber amplifier – підсилювач на волокні, що леговане ербієм
EFMF – Ethernet in the First Mile Fiber – Ethernet на першій милі по волокну
FBT – Fused Biconical Taper – оптичні розгалужувачі з плавного типу
FTTB – Fiber To The Building – доведення волокна до будівлі
FTTC – Fiber To The Curb – доведення волокна до кабельної шафи
FTTCab – Fiber To The Cabinet – доведення волокна до спеціально обладнаного приміщення **(**Cabinet)
FTTH – Fiber To The Home – доведення волокна до квартири

FTTN – Fiber to the Node – доведення волокна до мережного вузла
FTTO – Fiber To The Office – доведення волокна до офісу
FTTOpt – Fiber To The Optimum – доведення волокна до оптимального пункту
FTTP – Fiber To The Premises – доведення волокна до точки присутності клієнта
FTTR – Fiber To The Remote – доведення волокна до віддаленого модуля, концентратора
FTTx – Fiber to the x – оптичне волокно до точки *x*
FEXT – Far end crosstalk – перехідні завади на дальній кінець
GEPON – Gigabit Ethernet Passive Optical Network – пасивні оптичні мережі за технологією Гігабітного Ethernet
GPON – Gigabit-capable Passive Optical Network – пасивні оптичні мережі з підтримкою Гігабітної швидкості
HDSL – High bit rate Digital Subscriber Line – високошвидкісна цифрова абонентська лінія
HFC – Hybrid Fiber-Coax
IL – Insertion loss – втрати, що вносяться (загасання)
ISDN – Integrated Services Digital Network – цифрова мережа з інтеграцією служб
MAC – Media Access Controller – контролер доступу до середовища передачі
MSO – Multiple Systems Operator – мультисистемний оператор
MUX – Мультиплексор
NEXT – Near end crosstalk – перехідні завади на ближньому кінці
ODF – Optical Distribution Frame – оптичний крос
OLT – Optical line terminal – оптичний лінійний термінал
ONT – Optical network terminal – оптичний мережний термінал
ONU – Optical network unit – оптичний мережний блок
ORL – Optical return loss – втрати внаслідок зворотного відбиття
OTDR – Optical time domain reflectometr – оптичний рефлектометр
PLC – Planar Lightwave Circuit Coupler – планарні оптичні розгалужувачі
PON – Passive Optical Network – пасивні оптичні мережі
QAM – Quadrature Amplitude Modulation – квадратурна амплітудна модуляція
QPSK – Quaternary Phase-Shift Keying – квадратурна фазова модуляція
R – Receiver – контрольна точка «приймач»
RIN – Relative intensity noise – відносна інтенсивність шуму (лазера)
S – Source – контрольна точка «передавач»
SDH – Synchronous Digital Hierarchy – синхронна цифрова ієрархія
SHDSL – Single-pair High-speed Digital Subscriber Line – однопарна високошвидкісна цифрова абонентська лінія
TDM – Time Division Multiplexing – часове мультиплексування
TDMA – Time division multiple access – множинний доступ з часовим розділенням
VDSL – Very high speed Digital Subscriber Line – надшвидкісна цифрова абонентська лінія
WDM – Wavelegth Division Multiplexig – спектральне ущільнення каналів
xDSL – x Digital Subscriber Line – цифрова абонентська лінія *x*-типу

ГЛОСАРІЙ

Абонентська лінія (АЛ) – лінія зв’язку, яка з'єднує обладнання в приміщенні користувача з місцевою комутаційною станцією (концентратором) і забезпечує йому доступ до інфокомунікаційних послуг

Абонентська проводка – ділянка абонентської лінії від розподільної коробки до телефонної розетки абонента

Асиметрична цифрова абонентська лінія (ADSL, ADSL G.Lite, ADSL2, Splitterless ADSL2, ADSL2+) – xDSL-лінія, яка характеризується асиметричною швидкістю передавання у висхідному і спадному напрямах. В обладнанні ADSL використовується метод передавання ортогональними гармонійними сигналами – DMT (Discrete MultiTone).
Примітка. Характеристики асиметричної цифрової абонентської лінії регламентовано Рекомендацією MCE-T G.992

Вита пара – симетрична пара з високим ступенем симетрії електричних параметрів відносно повздовжньої осі

Власне загасання (лінії) – загасання синусоїдального сигналу при поширенні вздовж однорідної лінії при узгодженому на її кінцях навантаженні

Загасання (сигналу, електричного кола, пристрою) – величина, що характеризує зміну потужності (напруги) сигналу при передаванні його по середовищу розповсюдження (електричному колу, пристрою) і визначається логарифмом відношення значень потужності $P_{вх}$ (напруги $U_{вх}$) на вході середовища розповсюдження до потужності $P_{вих}$ (напруги $U_{вих}$) на виході цього середовища розповсюдження:

$$A = 10 \lg \left|\frac{P_{вх}}{P_{вих}}\right| = 20 \lg \left|\frac{U_{вх}}{U_{вих}}\right|.$$

Примітка. Загасання вимірюється у децибелах (дБ). Негативне значення загасання означає, що у середовищі розповсюдження має місце посилення сигналу

Загасання асиметрії – загасання синусоїдального сигналу при переході зі штучного кола, утвореного жилами кабелю та «землею», в робочу пару кабелю

Запас завадозахищеності – різниця дійсного відношення сигнал/шум на вході приймача (дБ) і мінімального відношення сигнал/шум на вході приймача (дБ), за якого виконуються вимоги щодо коефіцієнта бітових помилок xDSL-лінії

Захищеність між колами на дальньому кінці (захищеність) – загасання (перехідне) синусоїдального сигналу при переході з дальнього кінця кола, що впливає, на дальній кінець кола, підданого впливу, за умови узгодження кіл на кінцях.
Примітка. Захищеність між колами визначається як різниця між рівнем сигналу в кінці кола, що впливає, і рівнем завади в кінці кола, підданого впливу

Кабель (з металевими жилами) – з'єднувальний елемент, що являє собою деяку кількість металевих провідників, ізольованих один від одного і призначених для передавання електричних сигналів

Кабель повивної скрутки – кабель, в осерді якого ізольовані жили чи групи, які розташовані коаксіальними повивами з напрямами, що чергуються

Кабель пучкової скрутки – кабель, в якому ізольовані жили чи групи утворюють пучки, а пучки у свою чергу – осердя

Коефіцієнт загасання (лінії) – загасання синусоїдального сигналу при поширенні по узгодженій на вході і виході лінії довжиною 1 км

Магістральна ділянка (абонентської лінії) – ділянка абонентської лінії від кросу АТС до останньої розподільної шафи

Мережа xDSL-доступу – широкосмугова мережа доступу, що побудована на базі xDSL-систем передавання (див. також Мережа доступу).
Примітка. Технічні характеристики xDSL-систем передавання визначені Рекомендаціями MCE-T G.991 – G.99

Мережа доступу – частина мережі електрозв'язку, що забезпечує з'єднання обладнання користувачів з найближчим вузлом транспортної мережі з метою забезпечення користувачів доступом до інфокомунікаційних послуг

Модем xDSL – технічний засіб, який реалізує функції прийомопередавача за технологією xDSL.
Примітка. Модем xDSL може також виконувати функції моста і маршрутизатора

Мультиплексор доступу цифрових абонентських ліній (DSLAM) – пристрій, що об'єднує певну множину цифрових потоків xDSL-ліній та виконує зворотну операцію у відповідності з заданим алгоритмом роботи

Омічна асиметрія кола постійному струму – різниця електричних опорів провідників фізичного кола (пари) постійному струму

Опір ізоляції пари – електричний опір постійному струму між двома провідниками пари, що ізольовані між собою

Опір шлейфу пари (кола) – електричний опір двох з'єднаних на дальньому кінці між собою струмопровідних жил постійному струму

Оптична мережа доступу (ОМД) – мережа доступу, що побудована на базі оптичних систем передавання (див. також Мережа доступу)

Оптичний з'єднувач – пасивний пристрій, призначений для з'єднання різних компонентів волоконно-оптичного лінійного тракту

Оптичний лінійний термінал (OLT) – технічний засіб, який реалізує функції прийомопередавача за технологією PON та розміщується на головній станції

Оптичний мережний блок (ONU) – технічний засіб, який реалізує функції прийомопередавача за технологією PON та застосовується для підключення групи абонентів

Оптичний мережний термінал (ONT) – технічний засіб, який реалізує функції прийомопередавача за технологією PON та розміщується у приміщенні абонента

Оптичний розгалужувач (ОР) – пасивний оптичний багатополюсник, що розподіляє потужність вхідного випромінювання на кілька вихідних потоків

Пара – група чи частина групи з двох ізольованих між собою жил (провідників), призначених для роботи в одному електричному колі

Пасивна оптична мережа (PON) – технологія оптичних мереж доступу за Рекомендаціями МСЕ-Т G.98x, в якій між активними кінцевими пристроями застосовуються лише пасивні елементи, що не потребують живлення

Перехідне загасання – загасання синусоїдального сигналу при переході з кола, що впливає, до кола, що підпадає впливу

Перехідне загасання на ближньому кінці – загасання синусоїдального сигналу при переході з ближнього кінця кола, що впливає, на ближній кінець кола, підданого впливу, за умови узгодження кіл на кінцях

Перехідне загасання на дальньому кінці – загасання синусоїдального сигналу при переході з ближнього кінця кола, що впливає, на дальній кінець кола, підданого впливу, за умови узгодження кіл на кінцях

Повив – шар елементів скрутки, розташованих коаксиально чи по відношенню до інших аналогічних елементів, що утворюють у сукупності скручену частину конструкції кабельного виробу (струмопровідну жилу, осердя), чи коксіально поверх внутрішньої (по відношенню до цього шару) частини кабельного виробу

Пучок – елемент конструкції осердя кабелю, що складається із сукупності груп (пар, четвірок і т.п.), скручених в одну сторону і з однаковим кроком

Робоча ємність кола – електрична ємність між двома ізольованими провідниками кола

Робоче загасання – загасання синусоїдального сигналу при поширенні вздовж лінії, яка узгоджена на вході і неузгоджена на виході.
Примітка 1. Величина робочого загасання визначається як різниця рівнів сигналу на вході та виході лінії.
Примітка 2. При узгодженому навантаженні на вході та виході лінії величина робочого загасання дорівнює її власному загасанню

Розподільна ділянка абонентської лінії – ділянка абонентської лінії від розподільної шафи до розподільної коробки

Сплітер – обладнання (частотний фільтр), що забезпечує частотний поділ сигналів ADSL/VDSL і POTS/ISDN (вузол, що входить у DSLAM, а також самостійний вузол або вузол, що входить в ADSL/VDSL-модем)

Станційна ділянка абонентської лінії – ділянка абонентської лінії від абонентського комплекту до станційної сторони кроса АТС

Цифрова абонентська лінія (DSL, ЦАЛ) – абонентська лінія кабельна, обладнана апаратурою зв'язку з метою передавання цифрових електричних сигналів

Цифрова абонентська лінія xDSL-доступу (xDSL-лінія) – абонентська лінія кабельна, обладнана апаратурою зв'язку за Рекомендаціями МСЕ-Т G.99x з метою передавання цифрових електричних сигналів

Шлейф пари – пара струмопровідних жил, що на дальньому кінці закорочена (жили з'єднані між собою)

ПРЕДМЕТНИЙ ПОКАЖЧИК

Абонентська лінія – 9, 14, 58, 66, 86, 87, 88, 232, 234, 235, 238.
Багатопарний кабель – 79.
Бустер – 211.
Згасання – 149, 151, 155, 157, 159, 160, 161, 162, 171, 172, 175, 176, 178, 180, 181.
Кабель з
– повивною скруткою – 79, 80, 81, 107, 108.
– пучковою скруткою – 82, 106, 107, 108, 123.
Коефіцієнт розгалуження – 180, 203.
Коефіцієнт підсилення – 228.
Мережа xDSL-доступу – 13, 14, 236.
Мережа доступу – 7, 8, 156, 188, 189, 236, 237.
Мультиплексор доступу цифрових абонентських ліній – 233, 236.
Мультиплексування – 134, 183, 184, 192, 234.
Оптична мережа доступу – 156, 232, 237.
Оптична розподільна коробка – 143, 232.
Оптична розподільна шафа – 143, 144, 162, 232.
Оптичні з'єднувачі – 178, 181, 216, 237.
Оптичний мережний термінал – 136, 234, 237.
Оптичний розгалужувач – 142, 159, 163, 178, 197, 200, 217, 220, 221, 230, 237.
Пасивні оптичні мережі – 137, 234.
Повітряні лінії зв'язку – 232.
Перехідне загасання
- на ближньому кінці – 70, 114, 119, 123, 237.
- на дальньому кінці – 120, 237.
Синхронна цифрова ієрархія – 234.
Спектральна щільність потужності – 48, 73.
Спектральне ущільнення каналів – 234.
Сплітер – 14, 59, 71, 78, 86, 87, 88, 99, 102, 148, 151, 171, 186, 238.
Топологія – 6, 139, 149, 188, 192, 193, 196.
Телекомунікаційна система – 8.
Термінальна система – 190, 220, 233.
Цифрова абонентська лінія – 9, 86, 87, 88, 233, 234, 235, 238.
Широкосмуговий доступ – 133, 233.

Навчальне видання

БАЛАШОВ Віталій Олександрович,
БАРБА Ірина Борисівна,
КОРНІЙЧУК Володимир Іванович,
ЛАШКО Анатолій Григорович,
ЛЯХОВЕЦЬКИЙ Леонід Михайлович,
ОРЄШКОВ Василь Іванович

Проектування, будівництво та експлуатація мереж широкосмугового доступу

Навчальний посібник
з дипломного проектування
та виконання магістерських робіт

Редактор ***Кодрул Л. А.***

Комп′ютерне верстання
та макетування ***Корнійчук Є. С.***

Видавництво ОНАЗ ім. О. С. Попова
(свідоцтво ДК № 3633 від 27. 11. 2009 р.)

Здано в набір 3.05.2012. Підписано до друку 13.11.2012.
Формат 60х88/16. Наклад 300.
Ум. друк. арк.15,0. Ум. авт. друк. арк. 15,25. Замовлення № 5001
Віддруковано з готового оригінал-макету в друкарні
Одеської національної академії зв′язку ім. О. С. Попова
м. Одеса, вул. Ковалевського, 5
Тел. (048) 70-50-494