

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Г. Ф. Конахович, В. М. Чуприн,
І. О. Мачалін, О. П. Ткаліч

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ СИСТЕМ

ПІДРУЧНИК

*Затверджено
Міністерством освіти і науки України
як підручник для студентів вищих
навчальних закладів*

«Видавництво
«Центр учбової літератури»
Київ – 2014

УДК 621.39(075.8)

ББК з880-082я73

Е 41

*Гриф надано
Міністерством освіти і науки України
(Лист № 1/11-4505 від 27.02.2013 р.)*

Рецензенти:

Беркман Любов Наумівна – директор навчально-наукового інституту телекомунікацій та інформатизації, завідувач кафедри телекомунікаційних систем Державного університету інформаційно-комунікаційних технологій, доктор технічних наук, професор;

Шокало Володимир Михайлович – професор кафедри основ радіотехніки Харківського національного університету радіотехніки, доктор технічних наук, професор;

Сундучков Костянтин Станіславович – професор кафедри інформаційно-телекомунікаційних мереж Інституту телекомунікаційних систем НТУУ «КПІ», доктор технічних наук, професор.

Експлуатація телекомунікаційних систем [текст] : підручник. /
Е 41 Г. Ф. Коначович, В. М. Чуприн, І. О. Мачалін, О. П. Ткаліч – К. : «Центр
учбової літератури», 2014. – 372 с.

ISBN 978-617-673-318-8

Підручник «Експлуатація телекомунікаційних систем» присвячено експлуатації сучасних телекомунікаційних систем. Це перше україномовне видання, де у систематизованому вигляді представлено найбільш повний виклад основних понять, характеристик, методів та технологій експлуатації обладнання сучасних інформаційно-телекомунікаційних систем (ІТКС), що є гармонізованим із чинною програмою підготовки студентів.

В підручнику розкрито розділи із широкого спектру проблем, що пов'язані із експлуатацією обладнання ІТКС і які складають фундамент, на якому базуються сучасні технології експлуатації ІТКС.

УДК 621.39(075.8)

ББК з880-082я73

ISBN 978-617-673-318-8

© Г. Ф. Коначович, В. М. Чуприн, І. О. Мачалін, О. П. Ткаліч., 2014.
© «Видавництво «Центр учбової літератури», 2014.

ЗМІСТ

ПЕРЕДМОВА.....	7
ПОЗНАЧЕННЯ ТА СКОРОЧЕННЯ.....	13
МОДУЛЬ №1. ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ ЩОДО ПОБУДОВИ ТА ХАРАКТЕРИСТИК СИСТЕМ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНОГО ОБЛАДНАННЯ.....	15
ЛЕКЦІЯ №1. ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА СИСТЕМ ЕКСПЛУАТАЦІЇ.....	15
1.1. Пояснення щодо термінів „експлуатація”, „технічна експлуатація” та „об’єкт експлуатації”	15
1.2. Цілі експлуатації ТЛК-обладнання.....	17
1.3. Функціональні групи задач експлуатації ТЛК- обладнання	20
ЛЕКЦІЯ №2. ОСНОВНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ СИСТЕМ ТЕХНІЧНОЇ ЕКСПЛУАТАЦІЇ.....	42
2.1. Уточнене визначення понять „технічна експлуатація”, „технічне обслуговування” та „ремонт”	42
2.2. Основна ціль та функції технічної експлуатації	43
2.3. Принципи побудови систем технічної експлуатації	45
2.4. Організаційне забезпечення технічної експлуатації	59
2.5. Технічне забезпечення технічної експлуатації.....	64
2.6. Інформаційне забезпечення технічної експлуатації	67
2.7. Метрологічне забезпечення технічної експлуатації	67
ЛЕКЦІЯ №3. ОСНОВНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ СИСТЕМ НАДАННЯ ПОСЛУГ	74
3.1. Телекомунікаційна послуга як об’єкт споживчого попиту.....	74
3.2. Якість послуги, якість обслуговування, показники та рівні якості, їхній взаємозв’язок	79

3.3. Класи послуги, класи обслуговування, їхній взаємозв'язок	85
3.4. Види систем надання ТЛК-послуг.....	90
ЛЕКЦІЯ №4. ОСНОВНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИМ ОБЛАДНАННЯМ ...	94
4.1. Загальна характеристика систем керування	94
4.2. Багаторівневе представлення задач керування	96
4.3. Архітектура систем керування.....	100
4.4. Стандарти протоколу керування SNMP.....	109
4.5. Недоліки протоколу SNMP	122
МОДУЛЬ №2. ТЕХНОЛОГІЇ ВИМІРЮВАНЬ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ПАРАМЕТРІВ ТЛК-ОБЛАДНАННЯ....	125
ЛЕКЦІЯ №5. ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ ЩОДО ВИМІРЮВАНЬ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ПАРАМЕТРІВ ТЛК-ОБЛАДНАННЯ.....	125
5.1. Загальна характеристика технологій вимірювань параметрів обладнання	125
5.2. Вибір технології вимірювань для вирішення експлуатаційних завдань	127
5.3. Прийнятий класифікатор технологій вимірювань	128
5.4. Методики вимірювань	130
5.5. Обробка, оформлення та подання результатів вимірювань.....	139
САМОСТІЙНЕ ЗАНЯТТЯ ЗА МАТЕРІАЛАМИ ЛЕКЦІЇ №5 МЕТОДИ ПРЕДСТАВЛЕННЯ СИГНАЛІВ У СИСТЕМАХ ЗВ'ЯЗКУ	147
5.6. Спектральні методи представлення сигналів	147
5.7. Окові діаграми	167
5.8. Діаграми станів.....	185
5.9. Деревоподібні діаграми	191
5.10. Решітчасті діаграми Треліса.....	193

ЛЕКЦІЯ №6. ВИМІРЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ТЛК-ОБЛАДНАННЯ НА ФІЗИЧНОМУ РІВНІ ВЗАЄМОДІЇ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ	196
6.1. Вимірювання параметрів електричних кабелів	196
6.2. Вимірювання параметрів волоконно-оптичних кабелів	204
6.3. Вимірювання параметрів абонентських ліній зв'язку ..	213
6.3.4. Вимірювання перехідного затухання на ближньому та на дальньому кінцях	220
6.4 Вимірювання параметрів аналогових комутованих телефонних каналів	236
САМОСТІЙНЕ ЗАНЯТТЯ ЗА МАТЕРІАЛАМИ ЛЕКЦІЇ №6 ...	246
6.5. Вимірювання параметрів обладнання цифрових систем передачі (ЦСП), що побудовані за технологіями <i>PDH/SDH</i>	246
6.6. Особливості вимірювання параметрів цифрових каналів, що утворені на базі аналогових ліній телефонних мереж абонентського доступу (канали ISDN та xDSL)	271
6.7. Особливості вимірювання параметрів кабельних систем із частотним ущільненням аналогових телефонних каналів	290
ЛЕКЦІЯ №7. ВИМІРЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ОБЛАДНАННЯ НА КАНАЛЬНОМУ РІВНІ ВЗАЄМОДІЇ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ	293
7.1. Основні схеми вимірювань параметрів каналного рівню	293
7.2. Параметри каналного рівню, що підлягають вимірюванням	298
7.3. Вимірювання параметрів каналного рівню обладнання пакетних мереж	304
7.4. Вимірювання параметрів функціональності послуг	315
7.5. Вимірювання параметрів якості передавання протокольних блоків даних	315

САМОСТІЙНЕ ЗАНЯТТЯ ЗА МАТЕРІАЛАМИ ЛЕКЦІЇ №7 ВИМІРЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ОБЛАДНАННЯ FRAME RELAY та xDSL	321
7.6. Вимірювання параметрів обладнання систем передавання фреймів на транспортній мережі <i>Frame Relay</i>	321
7.7. Вимірювання параметрів абонентського доступу до транспортної мережі з використанням обладнання <i>Frame Relay</i> та <i>xDSL</i>	330
ЛЕКЦІЯ №8. ВИМІРЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ОБЛАДНАННЯ НА МЕРЕЖНОМУ РІВНІ ВЗАЄМОДІЇ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ	333
8.1. Вимірювання параметрів обладнання транспортних мереж <i>IP</i>	333
8.2 Вимірювання параметрів абонентського доступу до транспортної мережі <i>IP</i> з використанням обладнання <i>IP</i>	349
8.3. Вимірювання параметрів абонентського доступу до транспортної мережі <i>IP</i> з використанням обладнання <i>Frame Relay</i>	354
8.4. Вимірювання параметрів абонентського доступу до транспортної мережі <i>IP</i> з використанням обладнання <i>xDSL</i> ..	362

Народу України,
що вже зробив суттєві кроки на
шляху побудови громадянського
суспільства, присвячуємо

ПЕРЕДМОВА

В Україні наразі вже побудовані сучасні інфраструктури глобальних телекомунікаційних мереж. Локальні мережі вмонтовані в інфраструктуру майже кожного підприємства чи установи і знаходять усе більше використання у повсякденному побуті. На більшості українських підприємств вже створені та широко використовуються локальні та глобальні корпоративні телекомунікаційні системи різноманітного призначення. Телекомунікаційні послуги, що надаються на основі використання ресурсів цих систем та мереж, користуються невпинно зростаючим попитом. Тому підготовка фахівців, що будуть у змозі кваліфіковано експлуатувати телекомунікаційні системи та мережі, сьогодні є актуальною.

Ця книга - є підручником із експлуатації телекомунікаційних систем. Він повністю відповідає паспорту навчальної дисципліни „Експлуатація телекомунікаційних систем” за напрямом 0924 („Телекомунікації”), спеціальності 7.092401 („Телекомунікаційні системи та мережі”), кваліфікації спеціалістів 2144.2 („Інженер електрозв’язку”). Робоча навчальна програма цієї дисципліни побудована за кредитно-модульною системою і передбачає необхідність проведення 35 годин лекційних, 35 годин лабораторних занять та 162 години самостійної роботи студентів. На думку авторів, цього замало, щоб отримати фундаментальні знання щодо експлуатації телекомунікаційних систем. Тому у текст підручника включено також і факультативний матеріал, котрий не є обов’язковим для вивчення, якщо мати на увазі формальні вимоги до підготовки студентів за спеціальністю 7.092401, проте ознайомлення із цим факультативним матеріалом є вкрай важливою справою з точки зору формування цілісного погляду на проблеми експлуатації телекомунікаційних систем.

Приступаючи до роботи над підручником, автори усвідомлювали, що функціональні можливості та технічні

характеристики сучасного телекомунікаційного обладнання (надалі ТЛК-обладнання), а також інші аспекти, що пов'язані з особливостями їхньої побудови та функціонування, в достатній мірі висвітлені у відповідній учбовій літературі. От же, студенти – майбутні фахівці з експлуатації телекомунікаційних систем - все це мали вивчити до початку роботи над матеріалом цього підручника. У той же час перелік публікацій, що присвячені проблемам раціонального використання можливостей ТЛК-обладнання, є досить обмеженим і не відповідає у кількісному і якісному вимірах потребам фахівців, котрі забезпечують його працездатність та надання телекомунікаційних послуг (надалі ТЛК-послуг). Зокрема, сфера організації експлуатації сучасного ТЛК-обладнання висвітлена, на наш погляд, недостатньо, а бібліографія з проблематики забезпечення якісного надання ТЛК-послуг взагалі майже відсутня. Відчувається нагальна потреба у підручнику із вищеназваної тематики, котрий у доступній та стислій формі надавав для студентів, що навчаються за напрямом 0924 („Телекомунікації”), вичерпні відповіді на весь комплекс питань, котрі повинні бути висвітлені у рамках навчальної дисципліни „Експлуатація телекомунікаційних систем”.

Автори цієї книги мали за мету усунути цю прогалину та надати студентам надійний підручник з експлуатації сучасних телекомунікаційних систем, котрий у повній мірі відповідав би паспорту вищеназваної навчальної дисципліни.

Структура викладу матеріалу у підручнику відображає модульний принцип побудови навчальної дисципліни „Експлуатація телекомунікаційних систем”. Увесь навчальний матеріал, котрий має бути викладений студентам у рамках 17 лекційних занять (35 учбових годин), розбито на п'ять тематично незалежних модулів. Спочатку чотири лекції (що складають модуль №1) присвячено загальній характеристиці систем експлуатації ТЛК-обладнання. Розглянуто цілі та основні функціональні групи задач експлуатації. Із множини цих задач відокремлено задачі технічної експлуатації (ТЕ). Проаналізовано основні характеристики існуючих систем ТЕ та види забезпечення цих систем (інформаційного, організаційного, технічного та метрологічного). Окрема лекція присвячена аналізу основних

характеристик систем надання телекомунікаційних послуг (ТЛК-послуг), у рамках якої розглянуто характеристики ТЛК-послуг як об'єктів споживчого попиту. Розглянуто основні характеристики транспортних послуг та послуг комутованого і некомутованого доступу, зокрема структура середовища транспортування даних, існуючі види послуг та точки доступу до них. Розглянуто також види систем обслуговування, що базуються на використанні ресурсів ТЛК-обладнання (обслуговування із максимальними зусиллями, пріоритетне обслуговування і т.ін.). Остання лекція першого модулю присвячена основним характеристикам систем керування (адміністрування) ТЛК-обладнанням. Розглянуто TMN-архітектуру побудови систем керування, схему взаємодії „менеджер – агент”, бази MIB і RMON та протокол керування SNMP.

Чотири лекції модулю №2 присвячено технологіям вимірювань експлуатаційних параметрів ТЛК-обладнання. Детально пояснено основні методи та базові схеми вимірювань параметрів обслуговування для технологій каналного та мережного рівнів інформаційної взаємодії (відповідно до класифікації, що прийнята у семирівневій моделі OSI ISO). Мова йде, в першу чергу, про технології передавання пакетних даних, що функціонують за специфікаціями *IP*, *Frame Relay*, *xDSL* та *Optical Ethernet*. Технології вимірювань фізичного рівня, на думку авторів, мають більш високий ступінь стандартизації. Вони більш широко висвітлені в учбовій літературі. Тому цим технологіям у підручнику приділено менше уваги. Проте надано усі необхідні посилання на матеріали інших авторів.

Чотири лекції модулю №3 присвячено технологіям підтримки працездатного стану ТЛК-обладнання. Надана характеристика основним процедурам підтримки працездатності. Детально розглянуто технологію контролю відповідності, у т.ч. механізми тестування ТЛК-обладнання, моніторингу та аудиту мережних ресурсів. Висвітлено методи вирішення проблем невідповідності параметрів ТЛК-обладнання прийнятим нормам обслуговування, у т.ч. аналізу телекомунікаційних протоколів. Окрема лекція присвячена адмініструванню ресурсами телекомунікаційного обладнання: конфігурування характеристик обладнання,

адміністрування вузлу мережі, систем сигналізації тощо. Остання лекція модулю №3 присвячена методам і механізмам підтримки надійності функціонування ТЛК-обладнання.

Модуль №4 складається із чотирьох лекцій, що присвячені технологіям управління трафіком та наданням ТЛК-послуг. У першій лекції цього модулю розглянуто характеристики навантаження на ТЛК-обладнання, надано розрахунки навантаження та методи вимірювань його параметрів. Окремі лекції присвячені відповідно організаційному та інформаційному забезпеченню надання послуг. Положення підручника поширюються, в першу чергу, на сферу організації надання послуг транспортними мережами передачі даних (МПД), зокрема: магістральними МПД, що побудовані на основі використання телекомунікаційної технології асинхронного режиму переносу (*Asynchronous Transfer Mode, ATM*) та протоколу Інтернет (*Internet Protocol, IP*); каналами та мережами абонентського доступу, що створені на основі використання телекомунікаційних технологій *FRAME RELAY (FR)*, *IP*, *xDSL* та *Optical Ethernet*; мережами та окремими вузлами управління транспортними мережами. До складу інформаційного забезпечення віднесені моделі процедур обслуговування, що структуровані згідно рекомендації E.800 МСЕ-Т. Ці моделі відображають функціонально самодостатні технологічні ланцюги, що реалізують прийнятну технологію обслуговування відповідно до систем, що використовуються на практиці, перш за все, мається на увазі система диференційованого обслуговування з гарантованим сервісом (система ДОГС).

У рамках модулю №4 розглянуто задачі технічного забезпечення якості обслуговування (*QoS*). Пояснено структуру та механізми функціонування служби *QoS*. Значна увага приділена інженерії трафіку, зокрема детально розглянуто методи керування навантаженням. Наведено класифікацію та визначення усіх основних показників функціональності та якості надання транспортних послуг. Детально пояснено базові схеми та методи вимірювань параметрів якості обслуговування. У заключній лекції модулю №4 фактично викладено основні аспекти сучасної технології оцінки якості обслуговування: класифікація рівнів якості обслуговування, нормативні значення показників якості

обслуговування, контроль параметрів послуг, дії обслуговуючого персоналу у разі виникнення проблем в процесі обслуговування тощо. Зокрема, в книзі наведено нормативи якості обслуговування при наданні транспортних послуг на основі використання найбільш поширених телекомунікаційних технологій передавання даних. Ці нормативи слід розглядати як продукт узагальнення практичного досвіду провідних сервіс-провайдерів та операторів електрозв'язку України. Вони є гармонізованими із відповідними рекомендаціями МСЕ-Т, що розглянуті далі. Технологія забезпечення і оцінювання рівня надання послуг із транспортування даних, що висвітлена у даній книзі, широко застосовується сервіс-провайдерами та операторами електрозв'язку на глобальних мережах передачі даних.

Заключний п'ятий модуль підручника (складається із двох лекцій, одна із котрих є факультативною) присвячено викладу стандартної технології створення підсистем захисту інформаційних ресурсів ТЛК-обладнання та їх підтримки в актуальному стані. Факультативно викладена прийнята в Україні стандартизована технологія оцінювання ефективності та гарантованості захисту інформації у ТЛК-системах.

Слід зауважити, що у підручнику міститься конкретна інформація про сучасні методи та процедури вимірювань параметрів ТЛК-обладнання, вирішення проблем невідповідності цих параметрів прийнятим нормативним значенням, інженерії пакетного трафіку та оцінювання якості мережного обслуговування. Книга буде корисною не тільки для студентів, а і для фахівців, які безпосередньо займаються експлуатацією ТЛК-обладнання та технічним забезпеченням обслуговування споживачів ТЛК-послуг, а також, ймовірно, для «вдумливих» споживачів ресурсів телекомунікаційних мереж (надалі ТЛК-мереж), котрі бажають заощадити свої кошти шляхом оптимізації параметрів ТЛК-послуг, що ними замовляються у рамках сервісних угод з постачальниками цих послуг.

Вивчення змісту підручника передбачає підготовку читача на рівні базових вузівських курсів інформатики, теорії зв'язку та телекомунікаційної техніки.

Підручник написано на основі лекцій, що читаються протягом

останніх п'яти років на кафедрі телекомунікаційних систем Національного авіаційного університету (Україна, м.Київ) для студентів, які навчаються за напрямом «Телекомунікації».

ПОЗНАЧЕННЯ ТА СКОРОЧЕННЯ

Україномовні:

- АЦ – адміністративний центр
- ВД – вузол доступу
- ДСТУ – державний стандарт України
- ЗАКТМ – загальнодержавна телефонна мережа з автоматичною комутацією
- ЛОМ – локальна обчислювальна мережа
- МПД – мережа передачі даних
- МСЕ-Т – міжнародний союз електрозв’язку – телекомунікації
- НД – нормативні документи
- ПВ – периферійний вузол
- ПД – передача даних
- ПОД – пристрій обслуговування даних
- ПОК - пристрій обслуговування каналів
- РВ – регіональний вузол
- РТВ – регіонально-транзитний вузол
- ТВ - територіальний вузол
- ТЕ – технічна експлуатація
- ТО – технічне обслуговування
- ТОР - технічне обслуговування і ремонт
- ЦВ – центральний вузол
- ЦК – центр керування
- ЦСУ – централізована система управління

Англомовні:

- DCE – Data Circuit Terminating Equipment (апаратура передавання даних)
- DTE – Data Terminal Equipment (прикінцеве обладнання даних)
- FR – Frame Relay (Фрейм Рілей)
- FRAD – Frame Relay Access Device (пристрій доступу FR)
- IP – Internet Protocol (протокол Інтернет)
- ISO - International Standartization Organization (Міжнародна організація зі стандартизації)
- LAN – Local Area Network (локальна обчислювальна мережа, ЛОМ)
- NMS – Network Management System (система мережного

керування)

OSI – Open System Interconnection (взаємозв'язок відкритих систем)

PDU – Protocol Data Unit (протокольний блок даних)

PVC – Permanent Virtual Circuit (постійний віртуальний канал)

SLA – Service Level Agreement (угода щодо рівня надання послуг або рівня обслуговування)

SMTP – Simple Management Telecommunication Protocol (телекомунікаційний протокол спрощеного керування)

TDM – Time Division Multiplexing (часове мультиплексування)

TMN – Telecommunication Management Network (мережа управління телекомунікаціями)

МОДУЛЬ №1. ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ ЩОДО ПОБУДОВИ ТА ХАРАКТЕРИСТИК СИСТЕМ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНОГО ОБЛАДНАННЯ

ЛЕКЦІЯ №1. ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА СИСТЕМ ЕКСПЛУАТАЦІЇ

Розглядаються наступні питання:

1.1. Пояснення щодо термінів „експлуатація”, „технічна експлуатація” та „об’єкт експлуатації”

1.2. Цілі експлуатації телекомунікаційного обладнання (ТЛК-обладнання)

1.3. Функціональні групи задач експлуатації ТЛК-обладнання.

1.1. Пояснення щодо термінів „експлуатація”, „технічна експлуатація” та „об’єкт експлуатації”

Перш за все, необхідно згадати, що означає термін „експлуатація”, і уяснити, чим це поняття відрізняється від поняття „технічна експлуатація”.

Під узагальненим терміном “експлуатація” розуміється одна із стадій життєвого циклу об’єкта експлуатації, впродовж котрої організується функціонування цього об’єкту за основним призначенням та реалізується множина експлуатаційних процесів із підтримки і поновлення його якості.

Під терміном “технічна експлуатація” розуміється лише та частина із усієї множини процесів експлуатації, що включає у себе безпосередньо технічне обслуговування об’єкта експлуатації, його ремонт, транспортування та зберігання.

Як бачимо із наведених визначень, „експлуатація” – це значно ширше поняття, ніж „технічна експлуатація”. Уся сукупність задач технічної експлуатації будь-якого об’єкту – це лише одна із складових множини задач експлуатації цього об’єкту. Зокрема, сукупність дій персоналу, що спрямована на підтримку та поновлення якості об’єкту експлуатації, визначається терміном „технічна експлуатація”. У той час як дії персоналу із використання досягнутого рівня якості об’єкту експлуатації у будь-яких корисних для власників цього об’єкту цілях (зокрема, із

використання його якісних характеристик з метою одержання бізнесового прибутку) терміном „технічна експлуатація” не охоплюються. Наприклад, ремонт та обслуговування обладнання – це задачі технічної експлуатації, а обслуговування клієнтів з використанням ресурсів цього обладнання не є задачами технічної експлуатації. Цілеспрямоване використання об’єкту експлуатації за його функціональним призначенням – це відокремлений від технічної експлуатації вид експлуатаційної діяльності.

У якості об’єктів експлуатації у рамках цього підручника розглядається обладнання телекомунікаційних систем та комплексів. ТЛК-система, як правило, створюється на базі ТЛК-обладнання для надання послуг із транспортування інформації (а також для надання доступу до інших інформаційних сервісів) суб’єктам та об’єктам прикладних систем, що розосереджені за територіальною ознакою. У свою чергу, ТЛК-комплекс утворюється шляхом інтеграції кількох ТЛК-систем.

Примітка 1. Нагадаємо, що телекомунікаційними мережами (ТЛК-мережами) називають ТЛК-системи, котрі складаються із територіально розосереджених вузлів, з’єднаних між собою каналами інформаційної взаємодії. Наприклад, якщо якась ТЛК-система складається більше ніж із двох вузлів, що з’єднані між собою каналами інформаційної взаємодії, то таку систему вже можна назвати ТЛК-мережею.

Розглядається ТЛК-обладнання - від найпростішого, локально інстальованого на автономних комп’ютерах, до високопродуктивного багатфункціонального мультисервісного обладнання глобальних телекомунікаційних мереж. Основне призначення такого обладнання – слугувати технічним ресурсом, що використовується його власниками для організації надання різноманітних телекомунікаційних послуг та доступу до різноманітних інформаційних сервісів. Чим вища якість цього технічного ресурсу, тим більш якісні ТЛК-послуги можливо надавати шляхом його використання. З іншого боку, оскільки придбання програмно-апаратних засобів ТЛК-обладнання, а також підтримка його коректної експлуатації, зокрема територіально розгалужених ТЛК-мереж, потребують великих коштів, то підвищення завантаження цього обладнання клієнтським (а не службовим або технологічним) інформаційним трафіком сприяє

його економному використанню і є актуальною експлуатаційною задачею. Тому у даній сфері під використанням якості об'єкту експлуатації розуміють не тільки діяльність, що пов'язана із наданням ТЛК-послуг (та доступу до інформаційних сервісів) і, отже, може приносити прибуток, але і діяльність, що спрямована на підвищення завантаженості ТЛК-обладнання і, отже, має на меті економію капіталовкладень.

Організаційні структури більшості постачальників ТЛК-послуг (зокрема, операторів електрозв'язку та інтернет-провайдерів) передбачають розділення функцій служб підтримки надання ТЛК-послуг та служб керування трафіковим навантаженням від служб, що здійснюють технічну експлуатацію ТЛК-обладнання.

1.2. Цілі експлуатації ТЛК-обладнання

Програмні та (або) апаратні засоби ТЛК-обладнання – це, здебільшого, капіталоемні ресурси. Ці ресурси експлуатують шляхом надання ТЛК-послуг користувачам ТЛК-систем. У якості користувачів ТЛК-ресурсів розглядаються як фізичні особи, так і певним чином активізовані (тобто, запущені у роботу) фізичні процеси або комп'ютерні програми, що реалізуються, зокрема, термінальним обладнанням, серверним обладнанням або засобами прикладних систем. Вважається, що кінцеві корисні функції у тій чи іншій сфері людської діяльності реалізують так звані прикладні системи, зокрема прикладні програмні системи. Наприклад, комплекс бухгалтерських комп'ютерних програм, інстальованих на різних вузлах локальної або глобальної ТЛК-мережі, являє яскравий приклад прикладної системи. Цей комплекс програм називають також бухгалтерським прикладним застосуванням або бухгалтерською прикладною задачею. Якщо ж це прикладне застосування ще і пристосовано для продажу (зокрема, отримало сертифікат якості та інші необхідні дозвільні документи, що легалізують процес продажу), то його можливо також назвати бухгалтерським прикладним продуктом. **Прикладні застосування (прикладні задачі, прикладні продукти) можуть реалізовуватися у локальному або мережному варіантах.** Локальний варіант прикладного застосування інстальюється в межах одного вузлу ТЛК-мережі або на одній окремо розташованій

комп'ютерній системі. Під час експлуатації локально розташованої прикладної системи ТЛК-обладнання не використовується. Мережний варіант прикладного застосування передбачає інсталювання його програмних та (або) апаратних модулів відразу на (де)кількох вузлах ТЛК-мережі і, отже, можливість обміну інформацією між частинами прикладної системи, що розташовані на різних вузлах цієї мережі. Зрозуміло, що здатність прикладної системи функціонувати у мережному варіанті надає її користувачам суттєві якісні переваги і нові більш досконалі функціональні можливості. Мережний варіант бухгалтерської прикладної системи, зокрема, надає можливість організувати спільну роботу бухгалтерських служб підприємства, що розосереджені по всій зоні діяльності цього підприємства, організувати обмін бухгалтерською інформацією із податковими службами, фінансовими установами тощо. Іншим прикладом прикладної задачі є програмно-технічний комплекс засобів визначення координат місцезнаходження наземних об'єктів з використанням систем супутникового та стільникового зв'язку. Ця прикладна задача (тобто, задача визначення координат) передбачає застосування ТЛК-обладнання для здійснення транспортування навігаційної інформації між окремими її елементами, розосередженими на великих відстанях у просторі: між мобільним терміналом користувача цієї задачі та базовою станцією стільникового зв'язку, між обладнанням підсистеми пакетної комутації стільникової мережі та регіональними наземними коригувальними станціями, між коригувальними станціями та відповідним супутниковим обладнанням тощо. Подібних прикладів прикладних задач – безліч, практично у всіх сферах людської діяльності. Важливою особливістю використання ТЛК-обладнання для вирішення прикладних задач є те, що це обладнання кінцевих корисних функцій безпосередньо не виконує: воно лише сприяє успішному вирішенню цих задач, а у багатьох випадках її застосування є безальтернативною умовою функціонування прикладної системи. Тому навряд чи доцільно у якості можливої цілі експлуатації ТЛК-обладнання обирати досягнення екстремальних значень показників якості його функціонування (зокрема, максимізацію швидкості передавання або обробки

інформації у прикладній системі, мінімізацію виникнення помилок або мінімізацію часу реакції системи на надіслані запити). Більш раціональною ціллю експлуатації такого обладнання є гармонізація (узгодження) бажаних значень показників якості його функціонування із оптимальними значеннями показників якості функціонування безпосередньо самої прикладної системи. Якщо, наприклад, проміжок часу у 1,5 секунди для реакції прикладної системи на запити, що надходять до неї каналами ТЛК-мережі, є достатнім для її якісного застосування, то навряд чи є доцільними намагання експлуатаційного персоналу покращити реактивність ТЛК-обладнання, що функціонує у складі такої прикладної системи. Вартість експлуатації у цьому випадку суттєво зросте, а рівень корисності прикладної системи не підвищиться. Таким чином, **досягнення відповідності між показниками якості функціонування прикладних систем та показниками якості функціонування ТЛК-обладнання, що надає ТЛК-послуги цим прикладним системам, є узагальненою ціллю експлуатації ТЛК-обладнання.** Оскільки у більшості випадків ТЛК-обладнання використовується для одночасного обслуговування багатьох різних прикладних систем, що мають різні потреби у ТЛК-послугах, то вищезазначене узгодження показників являє нетривіальну задачу. Найбільш раціональним шляхом вирішення цієї задачі є нормування показників якості. Якщо на певну групу показників якості існують норми, то виробники ТЛК-обладнання намагаються випускати вироби, що цим нормам відповідають. З іншого боку, постачальники ТЛК-послуг намагаються організувати процес обслуговування у відповідності із цими нормами. За таких обставин розробники прикладних систем, знаючи конкретні діапазони значень показників якості ТЛК-обладнання, що надані у відповідних нормах, мають можливість задавати функціональність розроблюваних прикладних систем, яка у повній мірі використовує телекомунікаційні ресурси існуючих ТЛК-систем. З урахуванням вищезазначеного **ціль експлуатації можливо також визначити як забезпечення відповідності показників якості функціонування ТЛК-обладнання, що є об'єктом експлуатації, а також показників якості послуг, що надаються з використанням ресурсів цього обладнання, тим припустимим**

значенням, що зазначені у чинних нормативних документах (НД) та (або) в інших документах, що регламентують процеси експлуатації цього обладнання. Тобто, слід застосовувати такі експлуатаційні технології, впроваджувати такі експлуатаційні процеси та процедури, що забезпечують відповідність реально вимірних в процесі експлуатації значень показників якості існуючим регламентованим значенням цих показників.

Існують і більш конкретні визначення цілей експлуатації ТЛК-обладнання, зокрема у формі постановок оптимізаційних задач. Наприклад, в якості цілі експлуатації вибирається досягнення максимальних значень трафікового навантаження на обладнання за умов забезпечення певним чином визначених рівнів якості надання ТЛК-послуг та надійності функціонування обладнання. Однак таку ціль можливо розглядати, якщо оператор телекомунікаційної системи не відчуває дефіциту попиту на ТЛК-послуги, що надаються на основі використання ресурсів цієї системи.

1.3. Функціональні групи задач експлуатації ТЛК-обладнання

Усю багаточисельну множину різноманітних експлуатаційних задач (або, як кажуть, множину функцій експлуатації) з метою спрощення та упорядкування процесу експлуатації доцільно декомпонувати (тобто, розбити) на окремі функціональні групи. Декомпозиція здійснюється таким чином, щоб в кожную із цих груп увійшли задачі приблизно однакового функціонального призначення. Наприклад, до одної функціональної групи відносять усі експлуатаційні задачі, що пов'язані із виявом та знешкодженням збоїв та помилок у роботі ТЛК-обладнання, до іншої функціональної групи - задачі забезпечення надійності роботи обладнання і т.д. Прийнято розглядати наступні функціональні групи задач експлуатації:

- 1) конфігурування параметрів ТЛК-обладнання (*Configuration Maintenance*);
- 2) підтримка працездатного стану ТЛК-обладнання (*Fault Maintenance*);
- 3) забезпечення продуктивності роботи ТЛК-обладнання (*Performance Maintenance*);

4) забезпечення надійності роботи ТЛК-обладнання (*Reliability Maintenance*);

5) підтримка визначених (зокрема, у сервісних угодах з клієнтами) рівнів якості надання ТЛК-послуг (*QoS Maintenance*);

6) підтримка прийнятої політики забезпечення захисту інформаційних ресурсів ТЛК-системи (*Security Maintenance*);

7) облік використаних ресурсів ТЛК-системи на визначених інтервалах часу (*Accounting Maintenance*);

8) забезпечення взаємодії із користувачами ТЛК-ресурсів (*User Interface Maintenance, Customer Interface Management, User Feedback Control*);

9) забезпечення фінансових розрахунків з клієнтами ТЛК-системи (*Billing Maintenance*);

10) збирання, накопичення та обробка даних, необхідних для аналізу роботи ТЛК-системи та визначення шляхів її подальшого удосконалення та розвитку (*Data Collection Maintenance*);

11) підтримка параметрів середовища експлуатації ТЛК-обладнання у діапазонах припустимих значень (*Operation Environment Protection*);

12) отримання та зберігання контрольних та нових версій і модифікацій елементів програмного забезпечення ТЛК-системи (*Storage Protection*);

13) отримання та зберігання необхідних запасних апаратних компонентів обладнання та витратних матеріалів;

14) підтримка належного стану та якісного рівня інструментальних засобів супроводу експлуатаційних процесів, іншого допоміжного технологічного обладнання та методик їхнього застосування;

15) забезпечення фізичного захисту ТЛК-обладнання;

16) забезпечення зберігання документації, що супроводжує процес експлуатації ТЛК-системи.

Основна сутність кожної із перерахованих вище функціональних груп задач експлуатації полягає у наступному.

1.3.1. Configuration Maintenance (конфігурування параметрів ТЛК-обладнання)

Як правило, будь-який зразок сучасного ТЛК-обладнання

складається із великої кількості програмних та апаратних компонентів. Кожен виріб телекомунікаційної техніки, особливо той, що призначений для широкого продажу, виготовляється із таким розрахунком, щоб задовольнити потреби якомога більшої кількості прикладних застосувань та бути затребуваним у якомога ширшій області сфер і умов використання. Незручно, а з економічної точки зору і неефективно, застосовувати та створювати обладнання, яке може використовуватися лише у вузькій смузі застосувань та вирішувати дуже обмежене коло прикладних задач. Мати справу з обладнанням, що має наперед задані фіксовані значення його характеристик, обмежені та незмінні режими функціонування, невігідно, перш за все, його виробникам, оскільки таке обладнання потрібне недостатньо великій кількості потенційних покупців, а виробник не хоче мати проблем зі збутом своєї продукції. Придбання обладнання, що не здатне бути переналагоджуваним, у багатьох випадках невігідно також його потенційним користувачам, оскільки таке обладнання мало пристосовано до змін умов його застосування і, отже, існує велика ймовірність, що воно буде не придатне для використання у разі модернізації або змін напрямків діяльності його власників. Тому практично усе обладнання, що пропонується на ринках телекомунікаційної техніки, є, у той чи іншій мірі, багатофункціональним, багаторежимним та побудованим за модульним принципом – щоб надати можливість його покупцям настроїти характеристики (параметри) придбаного обладнання на конкретні умови використання. Процес настроювання параметрів обладнання з метою отримання бажаної структури його функціональних можливостей називається конфігуруванням.

Конфігуруванню підлягають як апаратні, так і програмні засоби, що входять до складу експлуатованого ТЛК-обладнання. Оскільки ці засоби складаються із більш дрібних компонентів, котрі, у свою чергу, містять іще більш дрібні компоненти (як правило, використовується ієрархічний деревоподібний принцип побудови ТЛК-обладнання), то, у принципі, задача конфігурування параметрів є актуальною щодо компонентів усіх ієрархічних рівнів. Іншими словами, конфігуруванню можуть підлягати як параметри складових компонентів обладнання, так і параметри ТЛК-

обладнання, коли воно озглядається як єдине діюче ціле.

На практиці ТЛК-обладнання потрапляє на ринок телекомунікаційної техніки у вигляді ТЛК-продуктів, котрі різняться і за призначенням, і за функціональними можливостями. Оператори різноманітних ТЛК-мереж, провайдери різноманітних інформаційних сервісів, що базуються на використанні ресурсів ТЛК-мереж (зокрема, інтернет-провайдери), та численні корпорації, котрі здійснюють свою діяльність практично у всіх галузях людської діяльності, для більш ефективного вирішення своїх прикладних задач намагаються найбільш раціональним для них шляхом придбати певним чином обрану сукупність ТЛК-продуктів, які вони інтегрують у ТЛК-системи.

Примітка 2. У сфері економіки існує точне визначення терміну „корпорація”. Однак у сфері телекомунікацій, коли використовують слово „корпорація”, то розуміють будь-яке підприємство або будь-яку установу, що використовує ТЛК-обладнання не для надання ТЛК-послуг стороннім організаціям або особам, тим більш за гроші, а для підвищення комфортності свого існування або для підвищення ефективності своєї діяльності за умов, коли ця діяльність не пов’язана з наданням масових послуг стороннім клієнтам на основі використання ресурсів ТЛК-обладнання.

Примітка 3. У телекомунікаційній проблематиці часто використовується термін „корпоративне застосування”, котрий означає комплекс (програмний або програмно-апаратний) прикладних задач, спеціально створений для використання корпораціями безпосередньо в процесі їхньої діяльності. Будь-яке корпоративне застосування має вирішувати або сприяти вирішенню саме тих прикладних задач, що входять до складу сфер діяльності корпорації. Здебільшого, корпоративні застосування підвищують рівень автоматизації та (або) інтелектуалізації технологічних процесів та процедур, що має здійснювати корпорація. Проте нерідко впроваджене корпоративне застосування відкриває перед корпорацією нові корисні можливості, зокрема підвищує її конкурентоспроможність.

Корпоративні застосування знайшли впровадження не тільки на підприємствах – суб’єктах підприємницької діяльності, але і у бюджетних організаціях – державних установах, органах державної влади, силових структурах тощо.

Не всі корпорації мають у своєму складі висококваліфікованих спеціалістів у галузі інформаційно-телекомунікаційних технологій. Тому для побудови корпоративної ТЛК-системи (або ТЛК-комплексу, що утворюють шляхом інтеграції кількох ТЛК-систем)

завичай запрошують сторонні організації, котрі називаються **системними інтеграторами**.

Цілі та зміст процедур поточного конфігурування, що виконуються на стадії експлуатації ТЛК-обладнання, суттєво відрізняються від цілей та змісту первісного конфігурування параметрів, що виконується на стадії уведення обладнання в експлуатацію, а також від процесів переінсталяції конфігурації обладнання під час його модернізації.

На стадії експлуатації будь-якої ТЛК-системи середовище користувачів її послуг, як правило, постійно змінюється. Зокрема змінюється у реальному часі топологія абонентських вузлів, номенклатура, кількість і якість послуг, які заявляються абонентом, модернізується обладнання, удосконалюється організація експлуатації і т. ін. Тому існує необхідність в оперативних змінах поточної конфігурації штатних програмно-апаратних засобів ТЛК-системи з тим, щоб ця конфігурація адекватно відображала поточні вимоги користувачів і персоналу до кількості та якості послуг, що надаються системою. Поточні зміни конфігурації ТЛК-системи здійснюються експлуатаційним персоналом, головним чином, за допомогою штатних засобів оперативного керування конфігурацією цієї системи. Слід підкреслити, що процес поточного (оперативного) керування конфігурацією, як правило, не зачіпає системних компонентів обладнання і, тому, може здійснюватися у фоновому режимі роботи цього обладнання, тобто без презупинки його функціонування за основним призначенням.

На стадії уведення обладнання в експлуатацію, як правило, здійснюється первісна інсталяція програмних та апаратних засобів ТЛК-системи.

Примітка 4. У вітчизняній практиці процес інсталяції апаратних та інших технічних засобів (тобто, не програмних засобів) часто називають монтажем. Щодо програмного забезпечення термін „інсталяція” є загальноприйнятим і розуміється як комплекс дій із розміщення виконавчих модулів певної програмної системи, що є об’єктом інсталяції, у заданому комп’ютерному середовищі та з настроювання параметрів цих модулів таким чином, щоб вони були здатними виконувати покладені на них функції.

Під час первісної інсталяції конфігуруються параметри ТЛК-системи – об’єкта інсталяції з метою їхнього узгодження як із

параметрами заданого комп'ютерного середовища, так і з цілями, задачами та умовами застосування цієї системи за її основним призначенням. Іншими словами, апаратні та програмні компоненти ТЛК-системи (і вся ТЛК-система у цілому) конфігурується таким чином, щоб її характеристики повністю відповідали положенням та умовам проектної документації на цю систему і враховували конкретні умови її використання на площах розгортання системи.

На стадії експлуатації ТЛК-обладнання час від часу може підлягати модернізації. Під час модернізації зазвичай виконується переінсталяція обладнання і, отже, виникає потреба у його реконфігуруванні. У випадках, коли реконфігуруванню підлягають і системні компоненти ТЛК-системи, то доводиться призупиняти її роботу за основним призначенням.

Зміст задач із конфігурування ТЛК-систем не вичерпується тільки маніпулюванням їхніми параметрами. До цієї групи задач експлуатації належать також задачі визначення мережних адрес та ідентифікаторів (імен) об'єктів, що входять до складу ТЛК-системи, побудова таблиць комутації та маршрутизації, побудова мап (карт) міжвузлових зв'язків ТЛК-мережі, настроювання комутаторів та маршрутизаторів на підтримку маршрутів і логічних віртуальних каналів і т.д і т.п.

Найбільш важливі із цих задач, а також основні механізми їхнього вирішення, розглянуто у лекції №11.

1.3.2. Fault Maintenance (підтримка працездатного стану ТЛК-обладнання)

Fault Maintenance, тобто підтримка працездатного стану ТЛК-обладнання – одна із найважливіших груп задач, котрі мають вирішуватися персоналом, що займається технічною експлуатацією (ТЕ) цього обладнання.

До складу цієї групи відносяться наступні три типові види задач ТЕ:

- 1) контроль відповідності параметрів обладнання;
- 2) діагностування обладнання;
- 3) відновлення роботи обладнання.

Контроль відповідності параметрів обладнання здійснюється

на стадії його експлуатації з метою визначення стану цього обладнання з точки зору його працездатності. Зазвичай, необхідно отримати упевненість, що обладнання на момент контролю було у працездатному стані. Або, у гіршому випадку, виявити сам факт існування невідповідності в роботі обладнання. Під невідповідністю розуміється невідповідність вимірних значень контрольованих параметрів обладнання їхнім припустимим значенням, що задаються стандартами, корпоративними нормами, технічними умовами і т. ін.

Необхідність здійснення контролю відповідності обумовлена тим, що робота будь-якого фізично існуючого обладнання в реальних умовах його використання не може бути абсолютно надійною. Із самих різних причин час від часу виникають аномалії, збої та помилки в роботі апаратних засобів обладнання або логічні конфлікти та некоректності в роботі програмних засобів. Якщо активно не займатися протидією виникненню логічних конфліктів, аномалій, збоїв та помилок, то вони можуть призвести до деградації якості роботи обладнання, а згодом і до виникнення відмов в його роботі.

Примітка 5. Нижче надане визначення основних понять, що пов'язані із підтримкою працездатності обладнання.

Аномалія (*Anomaly*) – відхилення дійсного значення певної характеристики контрольованого обладнання від очікуваного значення цієї характеристики. Аномалія може впливати або не впливати на здатність обладнання виконувати штатні функції.

Збій (*Failure*) – відхилення процесу функціонування обладнання від штатних характеристик цього процесу. Збій може впливати або не впливати на здатність обладнання виконувати штатні функції. Слід пам'ятати, що англійське слово ***Failure*** може означати не тільки збій, але і відмову.

Помилка (*Error*) – невірний результат виконання певної операції в процесі виконання певної процедури, що може призвести або не призвести до виникнення дефекту.

Дефект (*Defect*) – певне обмеження у здатності обладнання виконувати потрібну функцію. Визначення – у ДСТУ 2860-94.

Відмова (*Disrepair, Failure*) – виникнення обмежень (зокрема,

переривань) в спроможності телекомунікаційного обладнання виконувати штатні функції. Визначення - у ДСТУ 2860-94. Несправність обладнання в багатьох випадках є наслідком відмов в його роботі.

Деградація (*Degradation*) – виникнення аномалій, збоїв або дефектів в роботі обладнання, що не призвели до порушень його працездатності.

Ушкодження (*Impairment*) – виникнення аномалії або дефекту, але не відмови в роботі обладнання (тобто, це деградація якості ресурсу, що не призвела до переривань в його використанні).

Несправність (*Fault*) – стан неспроможності обладнання виконувати потрібні функції. Визначення – у ДСТУ 2860-94.

На базі ресурсів ТЛК-обладнання створюються та експлуатуються величезні за своїми масштабами мережі масового обслуговування. Поряд з ними та (або) на їхній основі функціонує велика кількість корпоративних критично важливих для держави і бізнесу ТЛК-систем (наприклад, у банківській сфері, у сфері національної оборони, у податковій системі тощо). Тому навіть нетривала відмова в роботі таких мереж і систем призводить до величезних збитків, а у деяких випадках і до катастрофічних (форс-мажорних) наслідків. Отже, для того, щоб забезпечити можливість завчасного попередження відмов в роботі обладнання, в процесі його експлуатації необхідно постійно займатися рішенням задач із виявлення логічних конфліктів, аномалій, збоїв і помилок в роботі цього обладнання. Процедури, що здійснюються персоналом під час контролю відповідності, як раз і спрямовані на виявлення цих невідповідностей або, як кажуть, на виявлення проблем в роботі обладнання.

Проблема виявлення невідповідності реально вимірних значень параметрів об'єкта експлуатації тим припустимим значенням цих параметрів, котрі регламентовані відповідними документами, що є чинними на момент вимірювань, - центральна проблема, що вирішується у рамках групи задач *Fault Maintenance*. Під відповідними документами розуміються: державні стандарти України (ДСТУ), перш за все ті, що регламентують діяльність у сфері телекомунікацій на території України; міжнародні та міждержавні стандарти, що набули своєї легітимності в Україні

шляхом їх затвердження уповноваженими державними органами; галузеві стандарти Мінтрансв'язку (зараз - Мінінфраструктури) України; корпоративні стандарти організацій, що є власниками об'єктів експлуатації; накінець, технічні завдання (ТЗ), технічні вимоги (ТВ), технічні умови (ТУ) або технічні сертифікати (ТС) на об'єкти експлуатації. В якості об'єкта експлуатації може бути: безпосередньо ТЛК-обладнання (без урахування прикладних систем, що використовують ресурси цього обладнання); ТЛК-система (зокрема, ТЛК-мережа), що реалізована на базі певним чином визначеного ТЛК-обладнання; ТЛК-комплекс, що інтегрує у собі (де)кілька ТЛК-систем.

Чому проблема невідповідності відноситься до групи задач *Fault Maintenance*? Тому що ця проблема безпосередньо пов'язана із виявом логічних конфліктів, аномалій, помилок та збоїв в роботі об'єкта експлуатації. Дійсно, якщо реально виміряні значення хоча б одного із параметрів виходять за межі припустимих норм, то логічно припустити, що нормальний стан функціонування об'єкта експлуатації із якихось причин порушився. Наслідком такого негативного зсуву у стані обладнання може бути поява аномалій, збоїв та помилок в його роботі, що, зокрема, може призвести до погіршення якості надаваних ТЛК-послуг або навіть до відмов в роботі обладнання. У свою чергу, відмови обладнання унеможливають процес нормального обслуговування користувачів об'єкта експлуатації.

Зрозуміло, що не всі параметри об'єкта експлуатації є визначальними з точки зору попередження відмов. Наприклад, параметри підсистеми обліку використаних ресурсів або підсистеми захисту інформації не мають відношення до виникнення відмов обладнання. Тому контроль відповідності виконується, головним чином, щодо тих параметрів, що безпосередньо або опосередковано впливають на рівень працездатності обладнання або залежать від нього. Ці параметри називають визначальними.

Для того, щоб успішно вирішувати проблему невідповідності необхідно, перш за все, мати можливість здійснювати вимірювання визначальних параметрів об'єкта експлуатації. Для здійснення вимірювань необхідно: володіти методами та процедурами

вимірювань визначальних параметрів об'єкта експлуатації; мати апробовані методики вимірювань, що допущені до використання уповноваженими особами або організаціями; знати чинні норми на діапазони припустимих значень визначальних параметрів; мати інструментальні засоби вимірювань. Технологіям вимірювань експлуатаційних параметрів ТЛК-обладнання присвячені лекції №5, №6, №7 та №8 та додатковий матеріал до них.

Результати вимірювань, як правило, проходять відповідну обробку і на основі оброблених даних здійснюють оцінювання стану обладнання, зокрема отримують відповідь на питання, чи було на момент вимірювань обладнання працездатним.

Якщо ж обладнання виявиться працездатним, то шукають відповідь на питання, чи перебувало обладнання на момент вимірювань у нормальному стані або якість його функціонування з якихось причин погіршилась. Зрозуміло, що в останньому випадку шукають причину погіршення якості функціонування обладнання з метою, щоб якнайшвидше цю причину усунути.

Якщо обладнання виявиться не працездатним, то реєструється факт виникнення відмови в роботі обладнання і починаються роботи із діагностування обладнання, тобто пошуку елементів, що вийшли з ладу, та причин виникнення відмови.

Примітка 6. У сучасному ТЛК-обладнанні широко застосовуються всілякі методи, засоби та процедури його резервування. Тому відмова, що виникла в роботі обладнання, зазвичай не призводить до призупинки надання ТЛК-послуг користувачам. У більшості випадків штатні засоби, що функціонують у складі обладнання, відмову одразу ж виявляють та швидко локалізують, після чого виявлений несправний модуль обладнання у реальному часі без презупинки в обслуговуванні замінюється на резервний. Однак ці дії проблему виявлення причини відмови та ремонту несправного модулю не знімають.

Діагностування обладнання. Вирішенням проблеми невідповідності не вичерпується група задач *Fault Maintenance*. До цієї групи належить також широке коло інших важливих задач, що називають діагностуванням обладнання. Діагностування – це задача локалізації проблеми невідповідності, тобто пошуку місця розташування та причин виникнення проблеми невідповідності в роботі обладнання. Словосполучення „місце розташування” розуміють у широкому сенсі: місце розташування апаратного елемента у конструктиві обладнання, місце виникнення логічного

конфлікту на трасі протоколу, місце розташування команди у тексті комп'ютерної програми тощо.

Діагностування – складний процес, що потребує зусиль досвідчених фахівців та задіяння різноманітних інструментальних механізмів, що полегшують процес діагностування, як от: реєстрація помилок, повідомлення про помилки, класифікація повідомлень за ступенем важливості, фільтрація повідомлень, що надсилаються засобами обладнання на адресу адміністраторів ТЛК-системи (наприклад, відображаються тільки найбільш важливі повідомлення), кореляційний аналіз з метою виявлення причин помилок на основі певним чином вибраної кореляційної моделі та багато інших.

Відновлення роботи обладнання. До групи задач *Fault Maintenance* відносяться також задачі відновлення роботи обладнання, тобто усунення (знешкодження, нейтралізація) проявів невідповідності в роботі обладнання. **Відновлення (Clear)** – усунення несправності. Шляхи вирішення цих задач будуть розглянуті у подальших лекціях.

1.3.3. Performance Maintenance (забезпечення продуктивності роботи ТЛК-обладнання)

ТЛК-обладнання у багатьох випадках потенційно може бути здатним працювати з високою ефективністю, але реально функціонує з низькою продуктивністю. Наприклад, потенційні можливості обладнання дозволяють передавати трафік безперервно, цілодобово і з високою інтенсивністю. Однак на практиці внаслідок різних причин (головним чином, через неоптимально обрані режими та методи експлуатації) цей трафік реально передається з переривами та (або) з низькою інтенсивністю. Тобто, потенційні можливості обладнання щодо його продуктивності використовуються не у повній мірі, що, звичайно, не є бажаним для власників обладнання. Тому у процесі експлуатації слід здійснювати заходи, що спрямовані на забезпечення максимально можливих значень параметрів продуктивності роботи обладнання. Ці заходи і складають зміст функціональної групи задач **Performance Maintenance**.

У телекомунікаціях в якості основного показника

продуктивності прийнято застосовувати так званий коефіцієнт використання (або коефіцієнт навантаження) обладнання K_e – відношення реально досягнутої продуктивності функціонування обладнання на визначеному проміжку часу до максимально можливої продуктивності, на яку потенційно спроможно це обладнання. Під продуктивністю зазвичай розуміють пропускну здатність обладнання. Пропускна здатність комутаційного обладнання вимірюють у кількості виконаних з'єднань (виконаних комутацій) за одиницю часу або у сумарній кількості інформації, що просувається із увідних портів комутаційного обладнання до його вивідних портів за одиницю часу. У свою чергу, кількість інформації в залежності від конкретного змісту експлуатаційних задач вимірюється у бітах, байтах, блоках, кадрах, пакетах, фреймах і т.ін. Пропускна здатність каналного обладнання вимірюють у кількості інформації, що передається через це каналне обладнання за одиницю часу, або іноді у ширині смуги його пропускання. Пропускна здатність серверного обладнання вимірюють у кількості оброблюваних запитів на обслуговування за одиницю часу, а обчислювального обладнання (процесорів, комп'ютерів, інтелектуальних терміналів і т. ін.) – у кількості елементарних обчислювальних операцій за одиницю часу.

Чим більш високих значень коефіцієнту K_e вдається досягти за допомогою засобів впровадженої системи експлуатації, тим більш досконалою вона вважається. В ідеалі значення K_e має дорівнювати одиниці. Однак на практиці через низку об'єктивних і суб'єктивних причин (котрі будуть розглянуті на лекції №13) діапазон реально досягнутих значень цього коефіцієнту для більшості типів ТЛК-обладнання знаходиться в межах від 0,2 до 0,8. Не вдаючись до деталізації, слід звернути увагу на одну фундаментальну закономірність: якщо за рахунок певним чином визначених експлуатаційних заходів у рамках якоїсь коректно експлуатованої ТЛК-системи комусь вдається підвищити коефіцієнт використання обладнання, то у цьому випадку слід очікувати зниження рівня якості ТЛК-послуг, що надаються на основі використання ресурсів цієї системи, і навпаки. Тому в процесі експлуатації слід шукати „золоту середину”, тобто визначитися з необхідними рівнями якості надання ТЛК-послуг і, використовуючи методи інженерії

трафіка, намагатися підвищувати продуктивність використання обладнання до тих пір, поки буде досягнуто визначені рівні якості обслуговування. Іноді має сенс і зворотня задача: намагаються підвищувати якість надання ТЛК-послуг до тих пір, поки реальні значення коефіцієнту використання обладнання наблизяться до наперед визначеної величини.

1.3.4. Reliability Maintenance (забезпечення надійності роботи ТЛК-обладнання)

Надійність функціонування обладнання напряму пов'язана із проблемою виникнення відмов. А відмови ТЛК-обладнання, як вже вказувалось раніше, є вкрай небажані події, які слід у будь-якому разі намагатися уникати. Задачі попередження виникнення відмов займають чільне місце у функціональній групі задач забезпечення надійності роботи ТЛК-обладнання. Якщо все ж таки відмова сталася, то необхідно задіяти усі доступні методи та засоби для якнайшвидшого відновлення працездатності обладнання. Резервування обладнання та (або) його окремих компонентів, у тому числі і програмного забезпечення – один із основних напрямків у вирішенні задач відновлення працездатності.

Методи та механізми підтримки надійності функціонування ТЛК-обладнання розглянуто у лекції №12.

1.3.5. QoS Maintenance (підтримка заданих рівнів якості надання ТЛК-послуг)

ТЛК-послуги можуть надаватися із різними рівнями якості. Існує прямий зв'язок між якістю та вартістю послуг. Зрозуміло, що більш якісна послуга надається за більш високим тарифом. Тому споживач намагається мінімізувати свої витрати на ТЛК-послугу, замовляючи саме той рівень її якості, котрий є достатнім (а не більшим) для нормального функціонування його прикладного застосування. Споживач може запустити в одночасну роботу (тобто, активізувати) кілька своїх прикладних застосувань, вимоги котрих до необхідних рівнів якості можуть бути різними. Наприклад, цифрова передача мовних повідомлень не висуває жорстких вимог до рівня помилок та втрат інформації у каналі зв'язку, оскільки людській мові властива висока надлишковість, що

сприяє відновленню сигналів – носіїв мовних повідомлень на приймальній стороні каналу. Однак людська мова дуже чутлива до неоднаковості часу затримки сигналів в каналі. Тому за цим параметром якості передачі мовне застосування висуває дуже жорсткі вимоги до ТЛК-обладнання. У сучасних ТЛК-системах забезпеченням необхідних рівнів якості надання послуг займається спеціалізована служба підтримки якості обслуговування, що називається службою *QoS (Quality of Services)*.

Методи та механізми підтримки якості надання послуг розглянуто у лекціях №14, №15 та №16.

1.3.6. Security Maintenance (підтримка прийнятої політики забезпечення захисту інформаційних ресурсів ТЛК-системи)

Підсистема підтримки прийнятої оператором ТЛК-системи політики забезпечення захисту її інформаційних ресурсів являє собою певний технічний комплекс програмних та апаратних засобів захисту інформації, котрий у сукупності із прийнятим комплексом заходів адміністративно-організаційного характеру має забезпечувати визначений політикою безпеки рівень ефективності та гарантованості захисту. Нормативні документи Державної служби спеціального зв'язку та захисту інформації (ДССЗІ) України визначають специфікації щодо стандартних рівнів ефективності та гарантованості захисту інформації щодо різноманітних видів ТЛК-систем. Більшість (але не всі) існуючих ТЛК-систем, що реально експлуатуються на практиці, мають відповідати цим специфікаціям.

Слід підкреслити, що на стадії експлуатації ТЛК-систем не займаються створенням нових систем або механізмів захисту інформації, а займаються експлуатацією вже створених і вмонтованих у ТЛК-систему механізмів захисту. Шляхом маніпулювання параметрами вмонтованих механізмів захисту експлуатаційний персонал намагається забезпечити рівень ефективності та гарантованості захисту інформації у системі, що визначений прийнятою політикою безпеки.

До завдань *Security Maintenance*, що має вирішувати персонал ТЛК-систем відноситься: контроль доступу до інформаційних ресурсів системи або до підсистеми керування системою;

забезпечення конфіденційності баз даних; зберігання цілісності даних та програмного забезпечення; автентифікація, ідентифікація та авторизація користувачів ресурсами системи; шифрування та тунелювання інформації; розподіл парольної інформації; налаштування міжмережних екранів тощо.

Технологія забезпечення захищеності інформаційних ресурсів сучасних ТЛК-систем на стадії їхньої експлуатації висвітлена у лекціях №17 та №18.

1.3.7. Accounting Maintenance (облік використаних ресурсів ТЛК-системи)

Підсистема обліку ресурсів ТЛК-обладнання, що були використані його користувачами на визначених інтервалах часу його роботи, з економічної точки зору є однією із найважливіших, оскільки результати роботи цієї підсистеми - отримані облікові дані - є вихідними даними для нарахування платні за витрачені ресурси. Ширина смуги частот каналів зв'язку, пропускна здатність каналоутворюючого та комутаційного обладнання (зокрема, мультиплексорів, комутаторів та маршрутизаторів), пропускна здатність обладнання мереж доступу до глобальних ТЛК-ресурсів, ємність запам'ятовуючих пристроїв, що зберігають інформацію користувачів та (або) для користувачів, продуктивність процесорних пристроїв, що розділяється між прикладними системами користувачів, продуктивність серверного та шлюзового обладнання – усе це ресурси ТЛК-обладнання, які не є безмежними і, тому, мають бути розподілені між тими користувачами, котрі у кожен конкретний момент користуються послугами цього обладнання. Зрозуміло, якщо якомусь привілейованому користувачеві на будь-якому інтервалі часу дістається, наприклад, більша частка ширини смуги каналу, то усі інші користувачі на цьому часовому інтервалі вимушені користуватися меншою часткою цього каналу. Це означає, що прикладне застосування привілейованого користувача буде мати можливість передавати інформацію через цей канал набагато швидше, ніж прикладні застосування звичайних користувачів. Отже, ширина смуги каналу – це цінний ресурс, який може бути об'єктом продажу, а цінний ресурс необхідно обліковувати як за параметрами кількості, так і за

параметрами якості для того, щоб мати можливість обґрунтувати його ціну. Те ж саме слід сказати і про інші ТЛК-ресурси – усі вони являють цінність і мають бути облікованими.

Власники ТЛК-ресурсів зацікавлені в організації обліку не тільки задля отримання прибутків від їхнього продажу, але і для оптимізації витрат, що йдуть на закупівлю та утримання ТЛК-обладнання. Підсистема обліку реєструє, зокрема, час використання кожного ресурсу, що дає змогу визначити коефіцієнт використання встановленого обладнання, усереднений на будь-яких періодах експлуатації. Оскільки коефіцієнт використання обладнання характеризує ступінь його завантаженості, то знання цього коефіцієнту дозволяє власникам ТЛК-ресурсів планувати свої витрати на придбання нового обладнання. Поки обладнання має недовантажені ресурси, витрати на збільшення цих ресурсів, зокрема придбання нового обладнання, не є актуальними. Якщо ж навантаження на обладнання збільшується, то зростає і значення коефіцієнту його використання. Перетин реально обчислених значень цього коефіцієнту певного заздалегідь визначеного порогового значення свідчить про те, що навантаження на обладнання досягло тієї межі, коли настав час розпочати дії з нарощування його ресурсів.

1.3.8. User Interface Maintenance (забезпечення взаємодії із користувачами ТЛК-ресурсів)

Сучасні методи організації обслуговування клієнтів забезпечують можливість отримання ними у реальному часі будь-якої інформації щодо обслуговування у будь-який зручний для них час. Оператор електрозв'язку або провайдер ТЛК-послуг надає своїм клієнтам інформацію, що стосується обсягу використаних ними ТЛК-ресурсів, встановлених тарифів на послуги, прийнятих правил та умов надання послуг, довідкової інформації щодо стану обслуговування на момент запиту тощо. З метою реалізації такої можливості у складі ТЛК-систем організують службу інформаційної взаємодії з клієнтами. Бажано, щоб ця служба функціонувала у режимі реального часу. Бажано також, щоб вона була дуплексною, тобто не тільки клієнт мав доступ до відповідних довідкових служб, баз даних та відповідальних працівників

експлуатаційних підрозділів оператора ТЛК-системи, але і адміністратори системи мали доступ до термінального обладнання клієнтів.

1.3.9. Billing Maintenance (забезпечення фінансових розрахунків з клієнтами ТЛК-системи)

Забезпечення фінансових розрахунків оператора електрозв'язку або провайдера послуг з клієнтами за використані ресурси називається **білінгом**, а відповідні програмно-апаратні засоби, що автоматизують та інтелектуалізують процес фінансових розрахунків називаються білінговими системами. Основні вихідні дані, що є необхідними для здійснення розрахунків, надходять від підсистем обліку використаних ресурсів. Це, перш за все, дані щодо кожного клієнта про кількість і якість використаних ним ТЛК-ресурсів. У базі даних будь-якої білінгової системи зберігаються так звані тарифні плани, тобто тарифні розцінки на кожний ресурс (зокрема, на кожен ТЛК-послугу), що може бути наданий у розпорядження клієнтів. Зрозуміло, що у тарифах враховано різні рівні якості ресурсів. Один і той же ресурс може надаватися з різними рівнями якості. Чим більша якість ресурсу, тим вища його вартість. На основі прийнятих тарифних планів і даних, що надходять від підсистем обліку використаних ресурсів білінгова система виконує підрахунок величини плати, яку має сплатити кожен клієнт за отримані ним ТЛК-послуги. Сучасна білінгова система – це високопродуктивна і досить складна програмно – апаратна система, що має функціонувати у реальному часі і одночасно обслуговувати сотні тисяч клієнтів.

1.3.10. Data Collection Maintenance (збирання, накопичення та обробка даних)

Важливою функціональною групою задач експлуатації вважають задачі, що пов'язані із збором та накопиченням всіляких даних, що характеризують різні аспекти функціонування ТЛК-обладнання в процесі його експлуатації. Інтерес представляють не тільки обсяги використаних клієнтами ТЛК-ресурсів, але і дані, що є необхідними для аналізу роботи ТЛК-системи та визначення шляхів її подальшого удосконалення та розвитку. Наприклад, дані

про „поведінку” потоків інформації після їхньої відповідної обробки використовують для визначення шляхів підвищення коефіцієнту використання обладнання та планування розвитку ТЛК-системи. Дані про інтенсивності виникнення збоїв та помилок в роботі обладнання (також після їхньої відповідної обробки) використовують для визначення шляхів підвищення завадостійкості ТЛК-систем. Дані про простої та відмови обладнання необхідні для вибору раціональних методів його ремонту та резервування. У сучасному обладнанні функції збору, накопичення, зберігання та первісної обробки зібраних даних виконуються у реальному часі штатними програмно-апаратними засобами цього обладнання. У складі обладнання знайшли широке застосування всілякі програмні фільтри, лічильники, таймери та класифікатори, що дозволяють експлуатаційному персоналу із величезних масивів накопичених даних швидко відбирати саме ті дані, котрі у даний момент потрібні для вирішення тої чи іншої експлуатаційної задачі.

1.3.11. Operation Environment Protection (підтримка параметрів середовища експлуатації ТЛК-обладнання у діапазонах припустимих значень)

ТЛК-обладнання у більшості випадків розраховано на експлуатацію у стаціонарних приміщеннях (за винятком, можливо, термінальних пристроїв систем мобільного зв'язку), де температура та вологість повітря повинні підтримуватися у визначених відповідними нормами діапазонах припустимих значень. Енергозабезпечення та заземлення обладнання, електромагнітні, електростатичні та вібраційні впливи на обладнання також повинні бути у визначених відповідними нормами діапазонах припустимих значень. Для контролю та підтримки припустимих значень параметрів середовища експлуатації ТЛК-обладнання використовують відповідні прилади та системи, які мають певними чином утримуватися. Роботи із підтримки параметрів середовища експлуатації, зазвичай, покладається на персонал, що здійснює експлуатацію ТЛК-обладнання. Цей персонал повинен вміти коректно користуватися вищеназваними приладами та системами, знати і неухильно

додержуватися правил та інструкцій з їхнього утримання у належному стані.

1.3.12. Storage Protection (отримання та зберігання контрольних та нових версій і модифікацій елементів програмного забезпечення ТЛК-системи)

Програмне забезпечення (ПЗ) ТЛК-систем, що знаходяться в експлуатації, може у будь-який момент вийти з ладу. З іншого боку, виробники ПЗ, що інстальовано на сучасному ТЛК-обладнанні, як правило, постійно здійснюють його модифікацію, намагаючись його удосконалити, наприклад додати нові функціональні можливості. Тому у власників ТЛК-обладнання виникає постійна потреба в отриманні та зберіганні контрольних та нових версій і модифікацій елементів ПЗ, що інстальовано на їхньому обладнанні. Щодо цього існують відповідні правила та інструкції. Експлуатаційний персонал повинен знати і неухильно їх виконувати.

1.3.13. Отримання та зберігання необхідних запасних апаратних компонентів обладнання та витратних матеріалів

Роботи з отримання та зберігання запасних апаратних компонентів обладнання та витратних матеріалів, у більшості випадків, покладається на експлуатаційний персонал. Цей персонал повинен знати і неухильно виконувати відповідні правила та інструкції щодо порядку отримання та зберігання запасних частин та витратних матеріалів.

1.3.14. Підтримка належного стану та якості інструментальних засобів супровіду експлуатаційних процесів, іншого допоміжного технологічного обладнання та методик їхнього застосування

Для ефективного вирішення більшості експлуатаційних задач бажано мати і постійно розвивати належну інструментальну базу – аналізатори протоколів, імітатори тестових послідовностей сигналів, тестери, рефлектометри, комплекси тестових програм тощо. Перелік сучасних інструментальних засобів – різноманітний та широкий.

Має бути забезпечена метрологічна підтримка вимірювальних засобів, зокрема організована повірка цих засобів відповідно до стандартів, що є чинними в Україні.

1.3.15. Phizical Protection (забезпечення фізичного захисту ТЛК-обладнання)

Для захисту ТЛК-обладнання від розкрадання та вандалізму його слід розміщати у межах так званого фізичного контуру безпеки, роль котрого відіграють стіни закритих будівель, окремих приміщень, всіякі короби, кожухи, огорожі, стінки металевих шкафів і т.ін. Контур безпеки має бути фізично укріпленим та цілісним. Фізичні отвори у контурі безпеки мають закриватися надійними засувами або дверима із спеціальними замковими пристроями. Має бути забезпечена охорона контуру безпеки, у т.ч. і з використанням спеціальних систем охоронної сигналізації. У залежності від призначення ТЛК-системи, характеру потенційних загроз ТЛК-обладнанню, що очікуються з боку зловмисників та вандалів, коштовності обладнання та важливості прикладних задач, що вирішуються засобами ТЛК-системи, визначаються необхідні рівні стійкості фізичного контуру безпеки та гарантованості захисту. Специфікації цих рівнів у нашій країні є нормованими, тобто у відповідних нормативних документах надано критерії віднесення експлуатаційних приміщень до тієї чи іншої категорії важливості, а також визначено вимоги до засобів фізичного укріплення у залежності від умов експлуатації обладнання. Побудова систем фізичного захисту здійснюється відповідно до існуючих норм та правил ліцензованими фахівцями із спеціальною підготовкою. Зокрема, розробка політики забезпечення фізичного захисту обладнання та інсталяція відповідних систем охоронної сигналізації не входять до функціональних обов'язків фахівців з телекомунікацій, однак контролювання роботи засобів сигналізації, їх включення та виключення, а також загальний нагляд за цілісністю контуру фізичної безпеки в процесі експлуатації ТЛК-обладнання, як правило, покладається на лінійний персонал ТЛК-систем.

Примітка 7. Історично так склалося, що та частина експлуатаційного персоналу, яка безпосередньо контактує з обладнанням і постійно знаходиться

біля обладнання, зокрема всередині фізичного контуру безпеки, називається лінійним персоналом.

Персонал ТЛК-систем повинен знати та сумлінно дотримуватися встановлених інструкцій та правил із забезпечення фізичного захисту обладнання.

1.3.16. Забезпечення зберігання документації, що супроводжує процес експлуатації ТЛК-системи

Щоб успішно вирішувати експлуатаційні задачі, необхідно мати і належним чином зберігати відповідну експлуатаційну документацію. Це - перш за все, технічна документація на ТЛК-обладнання (ТЛК-системи або ТЛК-комплекси), що призначена для користування експлуатаційним персоналом – опис принципів, порядку та умов функціонування обладнання, опис експлуатаційних процесів, починаючи від інсталяції та закінчуючи утилізацією обладнання, опис різного роду методик, регламентів, інструкцій з експлуатації та правил користування ресурсами обладнання тощо.

Примітка 8. Слід зауважити, що окрім експлуатаційної документації існує також конструкторська документація на обладнання, яка не завжди поставляється експлуатаційним організаціям. Зрозуміло, що в конструкторській документації викладено, як виготовляти обладнання, а в експлуатаційній документації – як його експлуатувати.

Необхідно також забезпечити належне зберігання організаційно-розпорядчої документації, що підтримує організаційну структуру та легитимність функціонування експлуатаційних підрозділів підприємства – власника ТЛК-ресурсів.

Накінець, необхідно забезпечити коректне генерування та зберігання звітних документів, що необхідні для контролю роботи і оцінювання діяльності експлуатаційних підрозділів підприємства.

Контрольні питання до першої лекції:

1. Перерахуйте усі шістнадцять груп задач експлуатації ТЛК-обладнання.
2. Надайте англійські названня основних груп задач експлуатації.
3. Охарактеризуйте групу Configuration Maintenance

4. Охарактеризуйте групу Fault Maintenance
5. Охарактеризуйте групу Performance Maintenance
6. Охарактеризуйте групу Reliability Maintenance
7. Охарактеризуйте групу QoS Maintenance
8. Охарактеризуйте групу Security Maintenance
9. Охарактеризуйте групу Accounting Maintenance
10. Охарактеризуйте групу User Interface Maintenance
11. Охарактеризуйте групу Billing Maintenance
12. Охарактеризуйте групу Data Collection Maintenance.

Література до першої лекції

1) В.Г. Оліфер, Н. А.Оліфер. Комп'ютерні мережі. Принципи, технології, протоколи: Посібник для вузів. Друге видання – СПб.: Питер, 2003. Розділ 19, стор. 776 – 790.

ЛЕКЦІЯ №2. ОСНОВНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ СИСТЕМ ТЕХНІЧНОЇ ЕКСПЛУАТАЦІЇ

Розглядаються наступні питання:

- 2.1. Уточнене визначення понять „технічна експлуатація”, „технічне обслуговування” та „ремонт”
- 2.2. Основна ціль та функції технічної експлуатації
- 2.3. Принципи побудови систем технічної експлуатації
- 2.4. Організаційне забезпечення технічної експлуатації
- 2.5. Технічне забезпечення технічної експлуатації
- 2.6. Інформаційне забезпечення технічної експлуатації
- 2.7. Метрологічне забезпечення технічної експлуатації

2.1. Уточнене визначення понять „технічна експлуатація”, „технічне обслуговування” та „ремонт”

На попередній лекції надане узагальнене визначення поняття „технічна експлуатація”. Показано, що технічна експлуатація охоплює лише частину задач, що мають вирішуватися на стадії експлуатації будь-якої технічної системи. Стосовно сфери телекомунікацій технічну експлуатацію (ТЕ) ТЛК-обладнання (ТЛК-системи або ТЛК-комплексу) визначають як сукупність всіх технічних та відповідних адміністративних дій, включаючи спостереження за станом обладнання, з метою підтримки або відновлення його стану, при якому воно може виконувати визначену сукупність корисних функцій.

Основними функціями технічної експлуатації будь-якого ТЛК-обладнання є технічне обслуговування та ремонт (ТОР).

Технічне обслуговування - це комплекс операцій з підтримки працездатності об'єкта експлуатації, що здійснюється під час використання цього об'єкта відповідно до його призначення, а також під час його зберігання та транспортування.

Ремонт визначається як комплекс операцій з відновлення працездатності об'єкта експлуатації, його ресурсів або ресурсів його складових частин.

Примітка 1. Визначення термінів “технічне обслуговування” та “ремонт” надане згідно ГОСТ 18322 – 78, що є чинним в Україні.

2.2. Основна ціль та функції технічної експлуатації

Основною ціллю ТЕ є забезпечення відповідності параметрів та характеристик об'єкта експлуатації тим їхнім припустимим значенням, що наведені у чинних в Україні нормативних документах (зокрема, в ДСТУ або корпоративних стандартах) та (або) в інших документах, які регламентують процеси ТЕ цього об'єкта експлуатації (зокрема, в ТЗ, ТВ, ТУ або ТС на об'єкт експлуатації). У якості об'єктів експлуатації у рамках цього підручника, як вже зазначалось, розглядається обладнання ТЛК-систем та (або) ТЛК-комплексів.

Із всієї множини функцій (задач) експлуатації, що були розглянуті на попередній лекції, безпосередньо до функцій ТЕ обладнання будь-якої ТЛК-системи слід віднести наступне:

1) оперативне (поточне) керування конфігурацією програмно-апаратних засобів ТЛК-системи;

2) спостереження за характеристиками навантаження на обладнання, контроль неперевишень навантаження певним чином вибраних порогових значень;

3) технічне обслуговування (ТО) та ремонт ТЛК-обладнання;

4) ТО і ремонт додаткових (до штатних) засобів технічного захисту інформації;

5) контроль конфігурації середовища експлуатації ТЛК-обладнання;

6) контроль стану обладнання захисту від фізичних ушкоджень та розкрадань;

7) контроль стану засобів захисту довкілля;

8) отримання і зберігання запасних частин, комплектуючих та витратних матеріалів;

9) здавання відходів в утиль;

10) ремонт із залученням сторонніх організацій;

11) планування запасів матеріальних ресурсів;

12) ведення обліку та виконання правил документообігу.

Примітка 2. Слід зауважити, що такі функції як керування маршрутизацією, тарифікацією, абонентськими лініями (уведення, відміна і т. ін.), надання додаткових послуг, адміністрування службами та сервісами Інтернет не є функціями ТЕ, а є функціями експлуатації, що забезпечують використання ТЛК-обладнання за його основним призначенням відповідно до вимог ТУ на це

обладнання.

Стисла характеристика вищеперерахованих функцій ТЕ надана у попередній лекції. До того слід додати наступне.

На стадії експлуатації середовище користувачів ТЛК-ресурсів, як правило, постійно змінюється. Зокрема змінюється у реальному часі топологія абонентських вузлів, номенклатура, кількість і бажана якість послуг, які заявляються клієнтами оператора електрозв'язку або провайдера інформаційних сервісів. Окрім цього, постійно модернізується обладнання, удосконалюється організація експлуатації і т. ін. Тому існує необхідність в оперативних змінах поточної конфігурації штатних програмно-апаратних засобів ТЛК-обладнання з тим, щоб ця конфігурація адекватно відображала поточні вимоги клієнтів і експлуатаційного персоналу до кількості та якості послуг, що надаються ТЛК-системою.

Примітка 3. Експлуатаційний персонал також вважається користувачем ресурсів ТЛК-системи, яку цей персонал обслуговує і використовує у своїй діяльності. Вважається, що ТЛК-система надає послуги не тільки клієнтам, але і персоналу. ТЛК-послуги, що надаються персоналу, мають за мету підвищити продуктивність їхньої праці. Зокрема, використовуючи ці послуги, адміністратори обладнання мають змогу зручним для себе способом управляти його ресурсами, контролювати стан обладнання, отримувати або забороняти доступ до управління обладнанням і т. ін.

Поточні зміни конфігурації програмно-апаратних засобів ТЛК-обладнання, як правило, здійснюються експлуатаційним персоналом за допомогою штатних засобів оперативного керування конфігурацією цього обладнання.

Зазначимо, що в процесі експлуатації контролюється не тільки конфігурація програмно-апаратних засобів ТЛК-обладнання, але і конфігурація усієї інфраструктури середовища експлуатації ТЛК-системи. Зокрема, конфігурація допоміжних засобів електропостачання, технологічного інструменту, засобів захисту довкілля, меблів, носіїв інформації, матеріалів та запасних частин, засобів оргтехніки та ін. Такий контроль здійснюється з метою запобігання реалізації загроз щодо порушень конфіденційності, цілісності та доступності інформаційних ресурсів об'єкта експлуатації, а також підтримки цілісності ТЛК-обладнання.

Така функція ТЕ як спостереження і контроль мережного навантаження є специфічною і важливою для комунікаційних систем, оскільки своєчасне запобігання перенавантаженню ділянок мережі циркулюючим через них трафіком є найважливішою передумовою надійного функціонування мережного обладнання і дотримання угод з користувачами щодо якості надаваних мережних послуг.

У більшості експлуатаційних організацій ТОР засобів захисту від фізичних ушкоджень та розкрадань (замкових та зачиняючих пристроїв, охоронної сигналізації, дверей, вікон і т. ін.), а також ТОР засобів захисту довкілля (зокрема, вологоміри, градусники, радіометри, кондиціонери, вентилятори і т. ін.) не входять до вищенаведеного переліку безпосередніх функцій ТЕ, але контроль стану вищезазначеного обладнання має здійснюватися персоналом в процесі ТЕ об'єктів експлуатації.

2.3. Принципи побудови систем технічної експлуатації

Для вивчення принципів побудови систем ТЕ в якості моделі об'єкта експлуатації будемо розглядати глобальну ТЛК-систему із мережною структурою, архітектура котрої узята за основу більшістю сучасних українських операторів великих територіально розгалужених ТЛК-систем. Системи ТЕ більш простих ТЛК-систем будемо вважати окремими спрощеними випадками вищеназваної типової моделі.

Узагальнена архітектура моделі об'єкта експлуатації відображена на рис. 2.1 і являє собою трьохшарову багаторівневу ієрархічно побудовану структуру. Внутрішній шар представляє первинну мережу систем передачі фізичних сигналів: обладнання каналоутворення (зокрема, цифрові системи передачі PDH, SDH, DWDM тощо), фізичні канали розповсюдження сигналів (оптоволоконні, електричні, радіоканали тощо), обладнання ущільнення каналів передачі (з частотним FDM, часовим TDM або кодовим CDM ущільненням), обладнання мультиплексування /демультиплексування та регенерації сигналів, що передаються фізичними каналами. (Цей шар на рис.2.1 не показано).

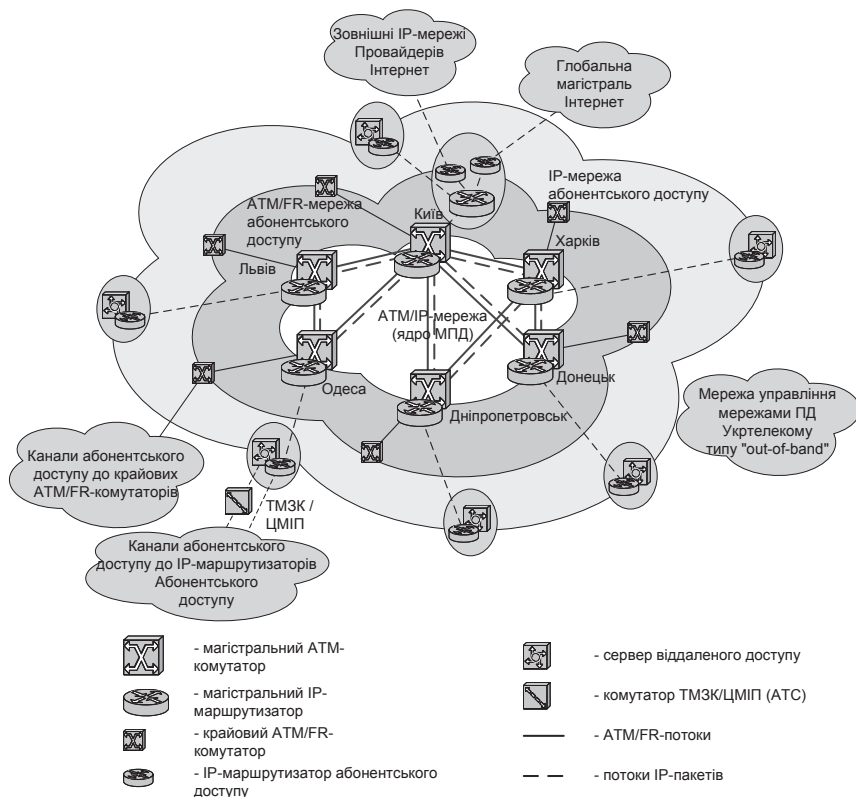


Рис. 2.1. Узагальнена архітектура моделі об'єкта експлуатації (обладнання первинної мережі на рисунку не відображено)

Проміжний шар в архітектурі моделі представляє магістральну транспортну мережу, що побудована на базі технологій ATM та IP, а зовнішній шар – мережі абонентського доступу ATM/FR та IP.

Будемо вважати, що мережі абонентського доступу на базі IP використовуються для надання інтернет-послуг, включаючи забезпечення доступу до глобальної магістралі Інтернет. А мережі абонентського доступу на базі ATM/FR використовуються у двох основних напрямках застосування – для забезпечення транспорту IP-пакетів від абонентських вузлів до вузлів IP-мереж і для надання послуг оренди каналів ATM/FR, включаючи організацію

підключень до магістральної транспортної мережі з використанням HDLC-подібних протоколів.

Ядро транспортної мережі (проміжний шар в архітектурі моделі об'єкта експлуатації) являє собою магістральну АТМ/ІР-мережу, вузли котрої (що розташовані, наприклад, у найбільших містах України) з'єднуються між собою високошвидкісними магістральними каналами передачі даних (ПД) за схемою "із резервуванням напрямків". Міжвузлові з'єднання у магістральній мережі здійснюються за технологією АТМ. Будемо вважати, що пропускна спроможність кожного магістрального каналу ПД у цій мережі – 155 Мбіт/с. Через неї циркулюють мультиплексовані потоки даних від магістральних АТМ-комутаторів та ІР-маршрутизаторів, а також комутаторів та (або) маршрутизаторів мереж доступу (до магістральної транспортної мережі). У склад магістральної транспортної мережі включена лінійка серверів різного функціонального призначення.

Зовнішній (по відношенню до ядра) шар в архітектурі моделі розтинається на два прошарки. Перший прошарок – це АТМ/FR-мережа абонентського доступу. Вузли цієї мережі приєднуються до АТМ-комутаторів магістральної мережі через високошвидкісні канали ПД. В цих вузлах розташовані крайові (граничні) АТМ/FR-комутатори, до портів котрих під'єднуються користувачі через канали абонентського доступу. Будемо рахувати, що пропускна спроможність кожного такого абонентського каналу доступу у АТМ/FR-мережу – до 2,048 Мбіт/с. Через них циркулюють мультиплексовані потоки даних від пристроїв доступу до FR-вузлів, які називають пристроями FRAD (Frame Relay Access Device), або від абонентських АТМ-систем (зокрема, АТМ-LAN, Private АТМ-switch, ІAD і т. ін.) до крайових АТМ/FR-комутаторів. Будемо вважати, що для передавання даних в АТМ/FR-мережі абонентського доступу використовується технологія постійних віртуальних каналів (PVC).

Примітка 4. Мережі абонентського АТМ/FR-доступу. Послуги мереж абонентського АТМ/FR-доступу використовуються, здебільшого, для об'єднання корпоративних локальних мереж між собою. Ці мережі абонентського доступу підключаються до магістральної транспортної АТМ-мережі через крайові АТМ/FR-маршрутизатори/мультиплексори.

Якщо для підключення до магістральної транспортної мережі використовується технологія FR, то до складу обладнання мереж абонентського доступу повинен входити спеціальний пристрій доступу – FRAD. Найчастіше пристрій FRAD є невід’ємною частиною IP-маршрутизаторів, але він, також, може бути конструктивно оформлений у вигляді окремого пристрою. В цьому випадку для його підключення до маршрутизатора використовуються інтерфейси 10BaseT/100BaseTX, V.24, V.35, V.36, V.11. Для зв’язку FRAD з крайовими ATM/FR-комутаторами/мультиплексорами використовуються цифрові та (або) аналогові виділені канали тощо. Каналоутворююче обладнання (ПОД/ПОК, синхронні/асинхронні аналогові модеми) може входити до складу FRAD (маршрутизатора) або бути конструктивно оформленим у вигляді окремих пристроїв.

В деяких випадках крайові ATM/FR-комутатори можуть під’єднуватися до магістральних ATM-комутаторів за технологією FR, тобто через інтерфейс NNI FR із швидкістю 2,048 Мбіт/с.

Схема абонентського доступу до магістральної транспортної мережі з використанням технології FR зображена на рис.2.2.

Між абонентськими пристроями FRAD через комутатори транспортної мережі встановлюються постійні віртуальні канали. Послуги комутованих віртуальних каналів на практиці через відсутність попиту практично не надаються. При встановленні постійного віртуального каналу задається його узгоджена швидкість (CIR) та додаткова максимальна швидкість (EIR).

Другий прошарок зовнішнього шару в структурі моделі об’єкта експлуатації – це IP-мережа абонентського доступу, що призначена, головним чином, для надання послуг Інтернет. Вузли цієї мережі приєднуються до IP-маршрутизаторів магістральної ATM/IP-мережі із використанням цифрових потоків типу E1 (із швидкістю 2,048 Мбіт/с), що утворюються за допомогою обладнання первинної мережі.

Користувачі IP-мережі підключаються до вузлів доступу мережі IP, тобто до IP-маршрутизаторів абонентського доступу, за допомогою синхронних та (або) асинхронних некомутованих ліній, TDM-каналів, FR-каналів, а також комутованих каналів телефонних мереж загального користування (аналогових - ЗАКТМ

і цифрових – ЦМІП). Через IP-мережу користувачі мають доступ до глобальної мережі Інтернет.

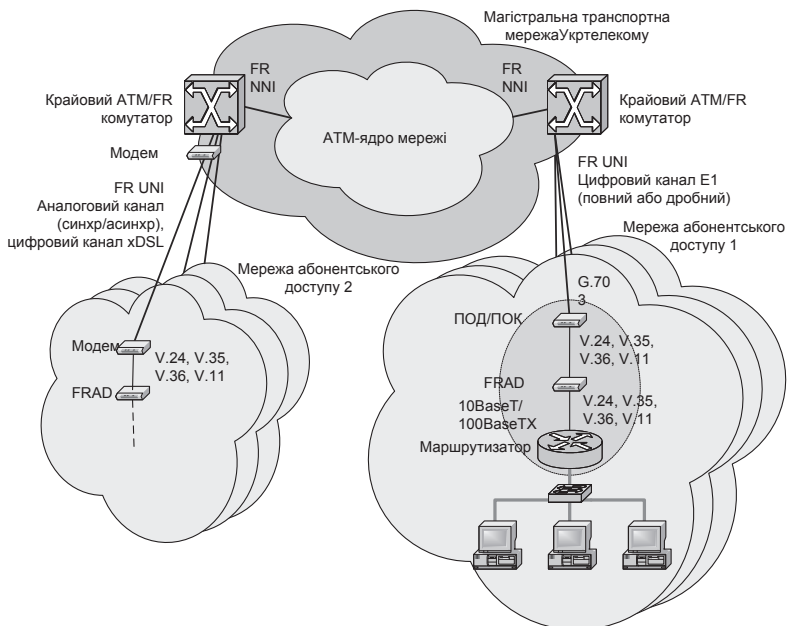


Рис. 2.2. Схема абонентського *FR* -доступу до магістральної транспортної мережі

Примітка 5. Мережі абонентського IP-доступу. Мережі абонентського доступу підключаються до транспортної IP-мережі через вузли доступу (ВД). До складу основного обладнання типового ВД входить маршрутизатор абонентського доступу, сервери віддаленого доступу (RAS), сервери DNS RESOLVER та RADIUS PROXY. Обладнання ВД з'єднується між собою через локальну обчислювальну мережу (ЛОМ), поділену міжмережним екраном на окремі зони захисту. Поділ об'єктів ЛОМ за зонами захисту здійснюється відповідно до прийнятої політики забезпечення захисту інформаційних ресурсів ВД. Функції міжмережного екрану може здійснювати маршрутизатор абонентського доступу або окремий програмно-апаратний засіб.

Типова конфігурація апаратних засобів ВД зображена на рис. 2.3. Поряд з ВД до транспортної IP-мережі розміщуються вузли доступу до прикладних служб Інтернету, типова конфігурація яких також показана на рис. 2.3.

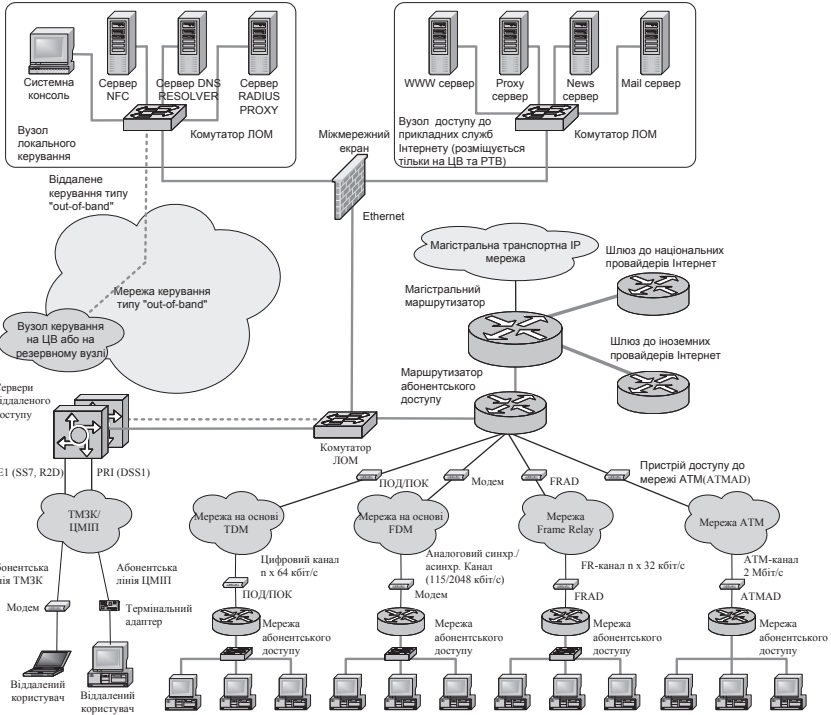


Рис. 2.3. Типова конфігурація апаратних засобів вузла доступу до IP-мережі

Мережі абонентського доступу підключаються до ВД через комутовані та (або) виділені канали зв'язку. У минулому використовувались, здебільшого, аналогові комутовані канали. Але є можливим застосування цифрових комутованих каналів. Аналогові комутовані канали – це, як правило, канали телефонної мережі загального користування ЗАКТМ із смугою пропускання 3,1 кГц. Цифрові комутовані канали, якщо вони використовуються, то це – канали BRI цифрової мережі з інтеграцією послуг (ЦМП). Для організації каналів абонентського доступу через канали ЗАКТМ/ЦМП використовуються відповідно аналогові модеми/термінальні адаптери (ТА).

В якості шлюзів між мережами з комутацією каналів, через які здійснюють доступ користувачі послуг МПД, та транспортною IP-

мережею використовуються сервери віддаленого доступу (СВД). СВД підключаються до ЗАКТМ через інтерфейси Е1. Обмін службовою інформацією з комутаторами ЗАКТМ (тобто, з АТС) відбувається за допомогою систем сигналізації СКС7, R2D та інших. Для підключення СВД до мережі ЦМІП використовуються інтерфейси PRI. Обмін службовою інформацією з комутаторами ЦМІП здійснюється за допомогою системи сигналізації DSS1.

На деяких периферійних вузлах з невеликою кількістю абонентів в якості СВД іноді використовуються персональні комп'ютери (ПК) із встановленим спеціальним програмним забезпеченням (ПЗ). До цих ПК через мультипортові плати з інтерфейсами RS-232C/V.24 підключені аналогові модеми. Модеми, в свою чергу, підключені до абонентських ліній ТМЗК.

Перед отриманням доступу через комутовані канали до транспортної ІР-мережі виконуються процедури ідентифікації та автентифікації користувачів. Для цього використовується програмне забезпечення СВД та сервера RADIUS PROXY.

Обладнання та ПЗ, яке є необхідним для виконання безпосередніх функцій сервера RADIUS PROXY, входить до складу будь-якого ВД. Але спеціалізоване ПЗ та обладнання сервера RADIUS, яке виконує функції керування, входить до складу тільки вузла керування мережею, що розташований на ЦВ або на регіонально-транзитному вузлі, який виконує функції резервного вузла керування. До складу цих вузлів керування (тобто, основного і резервного) входить, крім того, спеціалізоване ПЗ та обладнання СВД із використанням ЗЗК, а також ПЗ, що здійснює функції управління ресурсами модемного пулу. ПЗ серверів СВД та RADIUS забезпечує облік обсягів наданих послуг комутованого доступу.

Крім комутованих аналогових і цифрових каналів для доступу до глобальної транспортної ІР-мережі наразі використовуються виділені канали. Виділені канали також можуть бути аналоговими та (або) цифровими.

Аналогові виділені канали – це ненавантажені двох або чотирьох провідних канали (тобто, фізичні лінії), що з'єднують абонентське обладнання з маршрутизаторами вузлів доступу, або навантажені аналогові канали, що входять до складу первинних

мереж з частотним ущільненням каналів (FDM). В якості каналоутворюючого обладнання в цих випадках використовуються аналогові модеми. Допускається використання асинхронних (з максимальною швидкістю передачі даних 115,2 кбіт/с) та синхронних (з максимальною швидкістю передачі даних 2048 кбіт/с) аналогових модемів.

Цифрові виділені канали – це канали цифрових первинних мереж з ущільненням каналів за часом (*TDM*). В якості каналоутворюючого обладнання для підключення мереж абонентського доступу до транспортної *IP*-мережі через виділені цифрові канали мереж *TDM* використовуються пристрої обслуговування даних/пристрої обслуговування каналу ПОД/ПОК (*DSU/CSU*). Швидкість передачі даних виділених цифрових каналів є кратною 64 кбіт/с.

Крім того, для доступу до магістральної *IP*-мережі є можливим використання постійних віртуальних каналів транспортних мереж *ATM/FR*. Мережі абонентського доступу підключаються до мережі *FR* за допомогою спеціального обладнання доступу – пристрою *FRAD* (*Frame Relay Access Device*). Один із портів маршрутизатора ВД також підключений до мережі *FR*. При замовленні абонентом послуги доступу до магістральної *IP*-мережі між абонентським пристроєм *FRAD* та пристроєм *FRAD*, що підключений до порту *IP*-маршрутизатора, встановлюється постійний віртуальний *FR*-канал, через який абонентська мережа отримує доступ до транспортної мережі.

Для вирішення задач керування ТЛК-системою та контролю її працездатності у рамках прийнятої моделі об'єкта експлуатації створена відповідна мережа управління. Реалізується управління типу “*out-of-band*” (тобто, позасмугове керування). Такий тип управління передбачає створення потоків сигналів управління та іншої технологічної інформації через фізично відокремлені канали зв'язку, що сприяє підвищенню живучості та надійності функціонування мереж. На відміну від керування типу “*out-of-band*” у більш простих та менш відповідальних ТЛК-системах нерідко використовується керування типу “*in-band*” (тобто, внутрішньосмугове керування), коли потоки сигналів управління просуюються тими ж каналами, що і абонентська інформація.

Примітка 6. Системи керування. Керування ТЛК-системами здійснюється як за допомогою спеціалізованих програмно-апаратних систем керування, що встановлені у виділених центрах керування (ЦК) (як правило, основний – на центральному вузлі ЦВ ТЛК-системи та резервний – на одному із регіонально-транзитних вузлів РТВ) і дозволяють виконувати централізоване управління територіально розгалуженим ТЛК-обладнанням та всією ТЛК-системою у цілому, так і шляхом використання штатного ПЗ окремих елементів ТЛК-системи (комутаторів, маршрутизаторів, серверів тощо).

Зазвичай керування ядром магістральної транспортної мережі IP/ATM/FR (тобто, центральним вузлом, регіонально-транзитними та регіональними вузлами РВ) здійснюється централізовано персоналом виділених ЦК. На практиці використовуються системи керування ядром транспортної мережі ATM/FR та ядром мережі IP, що є повністю незалежними одна від одної. У багатьох випадках керування територіальними та периферійними вузлами (ПВ) IP-мережі здійснюється локально персоналом відповідних вузлів. Крім того, персонал всіх вузлів IP-мережі здійснює локальне керування серверами інтернет-сервісів IP-мережі (DNS, SMTP тощо).

Керування магістральною транспортною мережею ATM/FR здійснюється, як правило, централізовано за допомогою програмно-апаратних засобів ЦК. ЦК здійснюється контроль та керування комутаторами транспортної мережі, які розміщені на центральному вузлі, регіонально-транзитних та регіональних вузлах ТЛК-системи. Зокрема, виконується керування конфігурацією комутаторів, збір статистичної інформації і генерація звітів, обробка збоїв і відмов у роботі обладнання тощо.

В якості програмної платформи ЦК транспортної мережі як один із можливих варіантів може використовуватися ПЗ Network Management System (NMS). За допомогою NMS системні адміністратори центра керування повністю контролюють комутатори ядра транспортної мережі ATM/FR.

ПЗ NMS працює під керуванням операційної системи Sun Solaris. В основі ПЗ NMS лежить архітектура клієнт/сервер. ПЗ користувачів взаємодіє з ПЗ сервера NMS через відокремлену від магістральної мережі IP-мережу управління (тобто, використовує тип управління “out-of-band”). Для взаємодії серверного ПЗ NMS з магістральними комутаторами, як правило, використовуються

фірмові технології виробника АТМ-комутаторів.

До складу ПЗ NMS входить кілька окремих модулів. Центральним модулем NMS є InfoCenter. Він створює спільне операційне середовище для інших модулів NMS. Завдяки використанню InfoCenter системні адміністратори мають можливість візуально контролювати ресурси мережі, спостерігати її фізичну та логічну топології тощо.

Модуль OmniView забезпечує послуги зі збору статистичної інформації про роботу як мережі в цілому та її підмереж, так і окремих портів мережного обладнання, її обробки та генерації звітів. Цей модуль здатний взаємодіяти з будь-яким обладнанням, що сумісне із специфікацією MIB II (RFC 1213, ISO 8824:1987, МСЕ-Т Х.208). (Ця специфікація буде розглянута у лекції № 4). Інформація, яка зібрана OmniView, відображається на екрані графічного інтерфейсу системного адміністратора у вигляді діаграм, графіків та/або таблиць.

Модуль Path Trace призначений для обслуговування зв'язків між вузлами мережі. За допомогою цього модулю забезпечується діагностика серверного, клієнтського та іншого мережного обладнання та каналів зв'язку між ними. Інформація про стан обладнання відображається у графічній формі.

Модуль Fault Summary призначений для збору інформації про збої, відмови та помилки в роботі обладнання та її обробки. Зібрана інформація відображається на екрані графічного інтерфейсу користувача модуля Fault Summary разом з рекомендаціями щодо усунення виниклих проблем. Засобами цього модулю системні адміністратори повідомляються про виникнення нештатних ситуацій в мережі (електронною поштою та/або через мережі персонального радіовиклику).

Модуль Expanded View відображає на екрані графічного інтерфейсу користувача інформацію про поточний стан конкретних мережних пристроїв, дозволяє їх моніторинг, конфігурування, збір статистики тощо.

Керування магістральною мережею IP виконується централізовано за допомогою програмно-апаратних засобів відповідних ЦК (основного – на ЦВ ТЛК-системи та резервного – на РТВ). За допомогою засобів цих ЦК здійснюється контроль та

керування маршрутизаторами ядра IP-мережі. Зокрема, виконується керування конфігурацією обладнання та маршрутизацією трафіку, збір статистичної інформації і генерація звітів, обробка збоїв і відмов у роботі обладнання тощо.

За допомогою спеціалізованого ПЗ системні адміністратори центрів керування контролюють маршрутизатори ядра IP-мережі.

У глобальних розгалужених ТЛК-системах, як правило, використовуються централізовані та децентралізовані (локальні) схеми ТЕ ТЛК-обладнання. Під час побудови схем ТЕ мають на увазі, що трудовитрати при централізованому обслуговуванні у середньому не перевищують 0,05 людино/годин на одне еквівалентне PVC-з'єднання на рік, у той час як при локальній схемі обслуговування цей показник може зрости до 0,4 людино/годин на одне еквівалентне PVC-з'єднання на рік. Тому, щонайменше, функції контролю стану та конфігурування ТЛК-обладнання, що розміщується на вузлах мережі, здійснюється централізованим способом. Для цього використовується окрема фізично або логічно виділена мережа керування. В центрі керування інсталується спеціалізована програмна або програмно-апаратна система, що виконує функції головного менеджера усієї ТЛК-системи. Іншими словами, робоче місце головного адміністратора об'єкту експлуатації (ТЛК-системи) знаходиться за терміналом центра керування. Саме із цього робочого місця головний адміністратор реалізує функції контролю стану та конфігурування обладнання, що розташовано на всіх вузлах ТЛК-системи. Паралельно ці ж, а також усі інші функції ТЕ можуть здійснюватися персоналом безпосередньо на вузлах за допомогою локальних систем керування ТЛК-обладнанням. У разі порушення зв'язку із центром керування локальні системи керування забезпечують накопичення і збереження тарифної, аварійної, діагностичної та статистичної інформації, а також інших важливих даних.

В останній час в глобальних мережах національного рівню намітилась тенденція до повної централізації функцій керування так, щоби усі ці функції здійснювались засобами центру керування. Це дозволяє суттєво скоротити персонал вузлового обладнання та підвищити рівень керуваності мережі.

Штатне обладнання ТЛК-систем для забезпечення функцій ТЕ у більшості випадків спроможне, щонайменше, реалізувати наступні системні функції:

- 1) видача повідомлень про стан обладнання підсистем керування;
- 2) видача аварійних повідомлень;
- 3) локалізація пошкоджень;
- 4) функціональне тестування після відновлювальних робіт;
- 5) перевірка несуперечності даних;
- 6) ініціювання перезапуску;
- 7) заміна вмісту пам'яті;
- 8) видача дампу пам'яті в цілях техобслуговування;
- 9) управління параметрами навантаження;
- 10) обмеження обслуговування низькопріоритетних користувачів.

Експлуатаційний персонал, як правило, має можливість запитувати стан елементів обладнання. У відповідь на запити видається вже оброблена засобами ТЛК-системи узагальнена інформація. Існує також можливість шляхом ініціювання додаткових запитів отримувати більш детальну інформацію щодо стану обладнання.

Забезпечується обробка та відповідь на принаймні наступні запити:

- 1) конфігураційна інформація;
- 2) узагальнений стан контрольованого обладнання (включаючи аварійну та попереджувальну інформацію);
- 3) діагностична інформація (детальний стан функціонального модулю, підсистеми керування тощо);
- 4) детальний стан каналів та портів обладнання;
- 5) параметри якості обслуговування;
- 6) параметри навантаження;
- 7) тарифікаційна інформація;
- 8) підтвердження виконання команд управління.

Система діагностики ТЛК-обладнання здійснює виявлення та локалізацію проблем в експлуатації цього обладнання, його тестування після ремонту. Наприклад, сучасне ТЛК-обладнання за допомогою засобів системи діагностики забезпечує можливість

автоматичного виявлення проблем при несправностях в одному ТЕЗі з ймовірністю 0,75, а при несправностях одночасно від одного до трьох ТЕЗів з ймовірністю 0,95. В інших 5% випадків місце несправності має визначатися експлуатаційним персоналом.

Вище вказувалось, що прийнята модель об'єкту експлуатації (тобто, ТЛК-мережі) має ієрархічну функціонально-організаційну структуру. Як приклад на рис. 2.4 зображена ієрархія вузлів моделі.

Як бачимо, в залежності від виконуваних функцій, типу обладнання, його ємності та умов використання всі вузли моделі поділені на шість рівнів.

Роботи з технічного обслуговування та ремонту (ТОР) ТЛК-обладнання доцільно структурувати згідно рис. 2.4, тобто організаційна структура системи ТЕ має відображати функціональну (та топологічну) структуру об'єкта експлуатації. Проте розподіл обов'язків між персоналом центру керування мережею та персоналом вузлів залежить від ступеню централізації функцій керування. Із рис. 2.1 та 2.4 витікає, що конкретний зміст задач ТОР, а також вибір методів та процедур їхнього вирішення напряму залежить від:

1) організаційної структури кадрового ресурсу, що забезпечує експлуатацію обладнання ТЛК-системи;

2) виду телекомунікаційної технології, яка реалізується ТЛК-обладнанням;

3) виду технічного обслуговування та ремонту, що виконується експлуатаційним персоналом (поточне, планово-періодичне і т. ін.);

4) рівня вузлу в ієрархічній структурі багаторівневих ТЛК-систем;

5) методу експлуатації, що використовуються для вирішення задач ТОР;

6) виду процедури, що застосовується для реалізації обраного методу експлуатації.

Структуризація робіт з ТОР ТЛК-обладнання у типовій моделі ТЛК-системи надана на рис. 2.5.

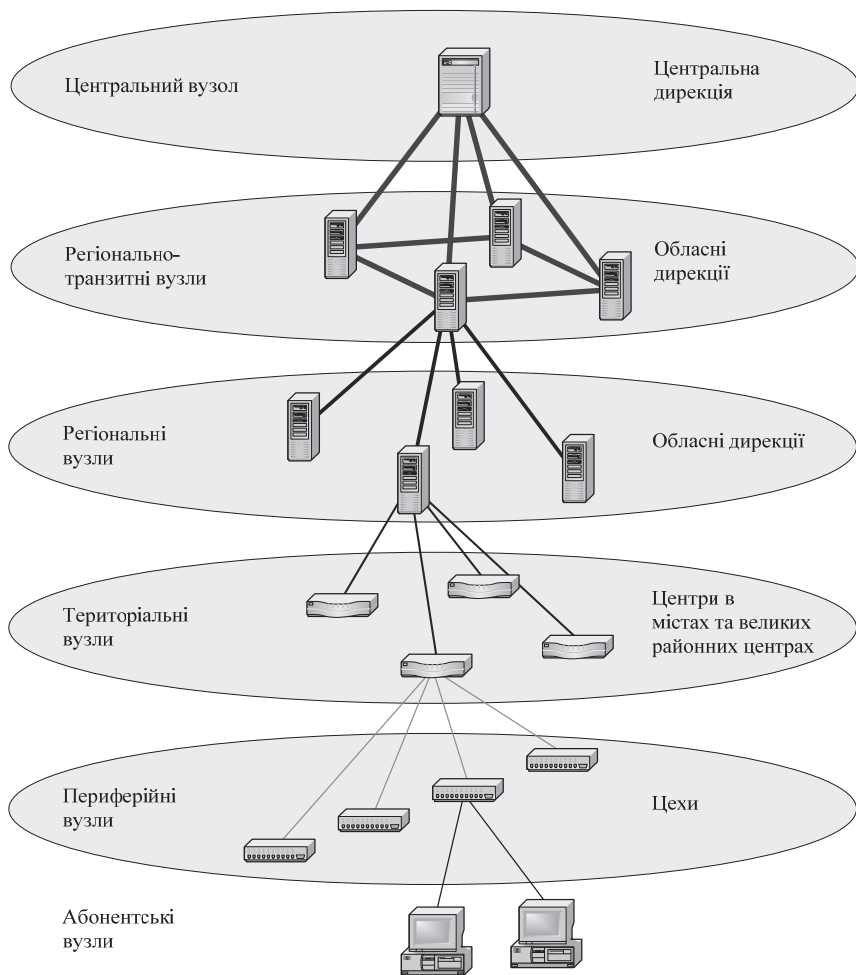


Рис. 2.4. Ієрархія вузлів моделі об'єкту експлуатації

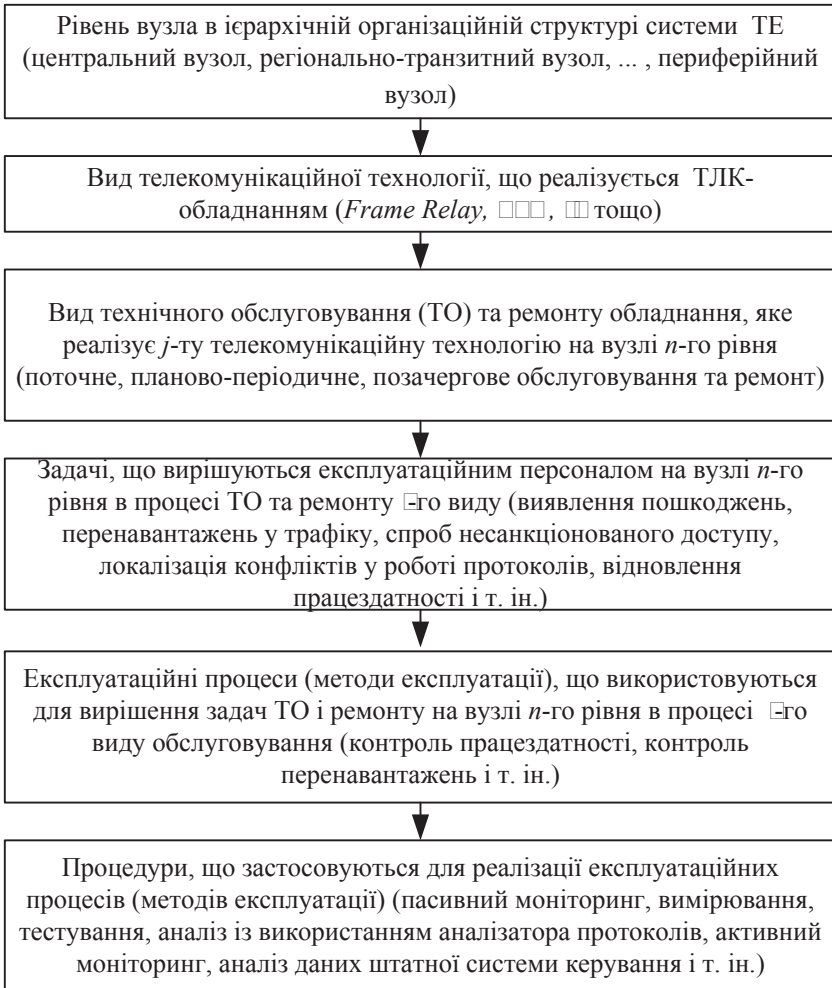


Рис. 2.5. Структуризація робіт з технічного обслуговування та ремонту обладнання у типовій моделі ТЛК-системи

2.4. Організаційне забезпечення технічної експлуатації

Система ТЕ ТЛК-систем складається із спеціально підготовленого адміністративно-технічного персоналу, спеціально підібраних інструментальних програмно-апаратних засобів

технічного забезпечення ТЕ (включаючи тестове забезпечення), відповідної технічної експлуатаційної документації та організаційно-розпорядницької документації, що необхідна для підтримки та відновлювання обладнання.

Організаційна структура експлуатаційних підрозділів повторює ієрархічну функціональну структуру вузлів моделі експлуатації (див. рис.2.4).

В процесі ТЕ адміністративно-технічний персонал (надалі - експлуатаційний персонал) здійснює наступні функції:

- 1) технічне обслуговування (ТО) обладнання ТЛК-систем;
- 2) ремонт обладнання ТЛК-систем;
- 3) утримання та поновлення комплектів запасних частин, інструментів, приладів та матеріалів (надалі – ЗІП);
- 4) роботи із запровадження нової техніки;
- 5) рекламаційна робота;
- 6) ведення експлуатаційно-технічної та облікової документації;
- 7) збір та узагальнення статистичних даних щодо технічного стану та ушкодження обладнання, а також щодо витрат ЗІП;
- 8) облік та аналіз показників ТЕ, розробка та впровадження пропозицій щодо її удосконалення.

Персонал, що здійснює ТЕ обладнання транспортування інформації, взаємодіє із експлуатаційними підрозділами первинних ТЛК-мереж з питань:

- зміни структури ТЛК-систем (підключення нових каналів або їх відключення, введення в дію нових вузлів і т. ін.);
- зміни режимів функціонування обладнання;
- узгодження планів виконання ремонтних робіт;
- обміну інформацією щодо стану обладнання, якості обслуговування користувачів (особливо, під час вирішення виниклих проблем щодо працездатності обладнання).

Більшість глобальних ТЛК-систем має ієрархічну мережну структуру, тобто існує центр керування системою, що розташований, як правило, на центральному вузлі цієї системи, та підпорядковані центру сукупності вузлів більш нижчих рівнів ієрархії. Організаційна структура взаємодії підрозділів, що здійснюють надання ТЛК-послуг, адміністративне та технічне

обслуговування ТЛК-систем, відображає структуру цих систем та побудована, як правило, за принципами спеціалізації та подвійної підпорядкованості. Це сприяє раціональному використанню кадрового потенціалу оператора електрозв'язку, зменшенню експлуатаційних витрат, підвищенню надійності функціонування обладнання та якості надання послуг користувачам, спрощенню вирішення питань щодо захисту ТЛК-систем від несанкціонованого доступу і т. ін.

Подвійна підпорядкованість передбачає, що функції безпосереднього адміністрування експлуатаційним персоналом здійснює керівництво вузлів ТЛК-системи, в той час як у сфері забезпечення технологічної дисципліни і здійснення процесів ТЕ цей персонал підпорядковується відповідним підрозділам центру керування ТЛК-системою.

Персонал верхніх рівнів організаційної структури, окрім забезпечення виконання експлуатаційних функцій на своїх рівнях організаційної структури, виконують також функції оперативного управління вузлами більш нижчого ієрархічного рівня, які до них приєднані.

З метою зменшення запасного майна і приладів (ЗІП) та експлуатаційних витрат здійснення функцій ТЕ зосереджується з максимально можливим ступенем централізації. На периферійних вузлах нижнього рівня штат експлуатаційного персоналу є мінімізованим – лише для забезпечення нормативу на середній час відновлення працездатності обладнання цих вузлів та мережного обладнання користувачів.

На мережах передачі даних (МПД) оперативно-технічне керівництво роботами під час аварій, у тому числі непроходженні сигналів через канали зв'язку, а також під час уведення або виведення каналів, здійснюється так званими керівними вузлами. Центральний вузол МПД є керівним вузлом на прямих зв'язках з будь-якими іншими вузлами, які під'єднані до його портів. Вузол більш високого рівня здійснює оперативне керівництво вузлами більш низького рівнів, що під'єднані до його портів.

Обов'язки експлуатаційного персоналу

На кожному вузлі існують посадові інструкції для експлуатаційного персоналу, що розроблені з урахуванням

організаційної структури підприємства. З метою безперебійного поточного обслуговування обладнання протягом доби може бути організовано чергування персоналу. У цьому випадку персонал розподіляється за трьома робочими змінами. Між взаємодіючими службами вузлів і посадовими особами змін організується службовий зв'язок. Основні аспекти такої взаємодії документуються.

Старший технічний керівник зміни вузла повинний:

а) здійснювати оперативно-технічне керівництво роботою персоналу зміни всіх технічних підрозділів вузла;

б) контролювати роботу чергового персоналу, надавати йому необхідну допомогу у вирішенні виникаючих проблем; у разі тривалих порушень працездатності обладнання особисто брати участь у відновленні його дії;

в) забезпечувати своєчасну організацію обхідних напрямків за умов ушкодження основних;

г) повідомляти головного інженера або начальника вузлу про всі аварії, тривалі порушення працездатності обладнання і прийняті заходи щодо його відновлення;

д) вести запис всіх повідомлень, що відносяться до аварійних ситуацій, у робочому журналі, а після ліквідації аварії або відновлення роботи обладнання оповіщати керівництво про час відновлення і виявлені причини порушень працездатності ТЛК-системи;

е) виявляти нестійкі працюючі з'єднання і вносити пропозиції керівництву вузла щодо поліпшення їхньої роботи;

ж) забезпечувати правильне розміщення персоналу відповідно до його службових обов'язків, стежити за виробничою дисципліною в зміні;

з) удосконалювати свої технічні знання і ділові якості, сприяти підвищенню кваліфікації працівників;

і) сприяти впровадженню й удосконалюванню прогресивних методів праці і поширенню передового досвіду.

Персонал вузла зобов'язаний:

а) добре знати побудову, принцип дії і методи ТЕ устаткування на ділянці, що обслуговується;

б) постійно вести спостереження за роботою дорученого устаткування, своєчасно і у повному обсязі проводити відповідні

профілактичні заходи;

в) у випадку порушення нормальної роботи обладнання із технічних причин уживати негайних заходів до швидшого усунення виниклих проблем;

г) виконувати вимоги правил і інструкцій із технічної експлуатації, правила техніки безпеки, промсанітарії і протипожежних заходів, сумлінно виконувати свої обов'язки відповідно до посадової інструкції.

У випадку зникнення або невідповідності нормам живлячих напруг на устаткуванні вузла персонал, що здійснює його технічну експлуатацію, повинний негайно сповістити про це відповідну службу, а також старшого технічного керівника зміни вузла.

Про виниклі несправності в обладнанні службового зв'язку експлуатаційний персонал повинний негайно повідомляти про це службу, що здійснює обслуговування і ремонт обладнання службового зв'язку, а про несправності виміральної апаратури — персонал метрологічної служби.

Черговий персонал зобов'язаний безвідлучно знаходитися на своїй ділянці, безупинно спостерігати за процесом функціонування обладнання, а у разі необхідності втручатися у цей процес, намагаючись забезпечити роботу обладнання із заданою якістю. Черговий працівник може залишити своє робоче місце тільки з дозволу свого керівника.

До часу здавання чергування черговий працівник повинен перевірити наявність і стан резервної апаратури, інструмента, запасних частин, приладів, матеріалів, схем і інструкцій, виконати усі дії, які регламентовані правилами документообігу та упорядкувати робоче місце.

Під час здавання зміни черговий працівник зобов'язаний інформувати працівника, що приймає чергування, про стан устаткування і його роботу за час чергування, про одержані оперативні вказівки і розпорядження, що стосуються організації й експлуатації обладнання, яке є об'єктом контролю.

Працівник, що приймає чергування, зобов'язаний:

а) перевірити наявність і стан резервної апаратури, інструмента, запасних частин, приладів, матеріалів, документації (схем і інструкцій і ін.), санітарний стан робочих місць;

б) ознайомитися із записами у технічних журналах з метою виявлення можливих невідповідностей у цих записах.

Працівники оформляють здавання і приймання чергування шляхом накладення власноручних підписів у технічному журналі або в іншому документі, який призначений для цієї мети. Про результати прийому чергування працівник доповідає старшому технічному керівнику, після чого приймає зміну.

Кваліфікація експлуатаційного персоналу

Кваліфікація працівників, які здійснюють ТЕ, має бути достатньою для виконання ними своїх службових обов'язків, що зафіксовані у відповідних внутрішньокорпоративних документах.

Експлуатаційний персонал повинен проходити спеціалізоване навчання за учбовими програмами, що структуровані відповідно до організаційної структури системи ТЕ. Працівники допускаються до роботи з обладнанням тільки при позитивних результатах атестації їхніх знань після навчання.

2.5. Технічне забезпечення технічної експлуатації

Увесь широкий спектр робіт з експлуатації різноманітного ТЛК-обладнання (якщо мова йде про оператора чи провайдера телекомунікаційних послуг національного масштабу) майже неможливо охопити у рамках однієї організаційної структури експлуатаційного персоналу. Тому експлуатаційні організації спеціалізуються за видами ТЛК-обладнання. В основі спеціалізації лежить семирівнева модель взаємодії відкритих інформаційних систем згідно з ГОСТ 28906, що стандартизована ISO (ІСО 7498). На практиці експлуатаційні організації, що спеціалізуються на експлуатації обладнання фізичного рівня (згідно семирівневої моделі), виділяються в окрему групу – операторів первинних мереж та систем передачі (наприклад, Дирекція первинних мереж Укртелекому). Засоби технічного забезпечення ТЕ обладнання фізичного рівня будуть розглянуті у подальших лекціях. Другу групу складають телекомунікаційні оператори та провайдери, що спеціалізуються на експлуатації обладнання транспортування інформації (це обладнання реалізує інтерфейси і протоколи від каналного до сеансового рівнів). Третя група складається із провайдерів інформаційних сервісів, що експлуатують обладнання

від сеансового до прикладного рівнів.

Розглянемо технічне забезпечення експлуатації обладнання транспортування інформації. Для здійснення функцій ТЕ цього обладнання експлуатаційні підрозділи ТЛК-оператора використовують наступні групи технічних (у т.ч., програмно-технічних) засобів:

1) засоби технічного обслуговування і ремонту (ТОР) основного технологічного обладнання ТЛК-систем;

2) засоби спостереження і контролю навантаження (тобто, засоби контролю трафіка);

3) засоби оперативного керування конфігурацією програмно-апаратних компонентів та ТЛК-систем у цілому;

4) засоби контролю стану обладнання захисту від фізичних ушкоджень та розкрадань;

5) засоби отримання і зберігання запасних частин, матеріалів та комплектуючих;

6) засоби планування запасів матеріальних ресурсів;

7) засоби обліку та виконання правил документообігу.

Примітка 7. Слід мати на увазі, що більшість провайдерів не забезпечує свої експлуатаційні підрозділи спеціалізованими технічними засобами виконання таких видів робіт як:

- ТО і ремонт засобів технічного захисту інформації (ТЗІ);
- контроль конфігурації середовища експлуатації ТЛК-систем;
- контроль стану засобів довкілля;
- здавання відходів в утиль;
- ремонт із залученням сторонніх організацій.

Для виконання перерахованих вище робіт вважається за доцільне користуватися послугами сторонніх спеціалізованих організацій.

Група технічних засобів ТОР основного технологічного обладнання складається із:

1) програмних і апаратних модулів, що входять у штатні комплекти поставок обладнання спеціалізованих систем централізованого керування ТЛК-системами;

2) програмних і апаратних модулів, що входять у штатні комплекти поставок обладнання вузлів локального керування (зокрема, серверів віддаленого доступу (*RAS*), серверів *RADIUS PROXY* та *NFC* тощо);

3) програмних і, можливо, апаратних модулів, що входять у штатні комплекти поставок міжмережних екранів (файрволів);

4) програмних і апаратних модулів, що входять у штатні комплекти поставок магістральних і крайових *Ethernet/ATM/FR*-комутаторів;

5) програмних і апаратних модулів, що входять у штатні комплекти поставок магістральних *IP*-маршрутизаторів та *IP*-маршрутизаторів абонентського доступу;

6) програмних і апаратних модулів, що входять у штатні комплекти поставок шлюзового обладнання;

7) спеціалізованого багатофункціонального програмно-апаратного пристрою для аналізу телекомунікаційних протоколів типу *HPJ2300D (HP Internet Advisor)* виробництва компанії *Agilent Technologies* (США).

Вищезазване обладнання використовується в процесах ТЕ мереж передачі даних (МПД) у якості засобів вимірювань, тестування, моніторингу, логічного аналізу, обробки даних, експертного аналізу, а також для автоматизації процесів ТЕ МПД.

Група технічних засобів спостереження і контролю навантаження має склад обладнання, що співпадає із складом попередньої групи технічних засобів.

Група засобів оперативного керування конфігурацією складається із програмних і апаратних модулів, що входять у штатні комплекти поставок обладнання централізованої і локальних систем керування.

Група технічних засобів контролю стану обладнання захисту від фізичних ушкоджень та розкрадань складається із: елементів системи охоронно-пожежної сигналізації, що контролюють стан цих систем; засобів відеонагляду; допоміжних спеціалізованих систем проводового та радіозв'язку для оснащення працівників служби охорони.

Група технічних засобів отримання і зберігання запасних частин, матеріалів та комплектуючих складається із транспортних засобів для перевезення вантажів та спеціалізованих засобів зберігання запасного майна (сейфи, шкафи, холодильники, кондиціонери і т. ін.).

До складу технічних засобів контролю конфігурації середовища

експлуатації МПД, засобів планування запасів матеріальних ресурсів і засобів обліку та виконання правил документообігу відноситься комп'ютерна та інша оргтехніка, а також відповідне спеціалізоване ПЗ.

2.6. Інформаційне забезпечення технічної експлуатації

ТЕ телекомунікаційних систем пов'язана не тільки із особливостями використання програмно-технічних засобів та із задіяними адміністративно-організаційними заходами, що спрямовані на досягнення визначених цілей експлуатації. Необхідно мати чітке уявлення про множину експлуатаційних процесів та процедур, які необхідно здійснювати на стадії експлуатації цих систем. Іншими словами, необхідно мати моделі експлуатаційних процесів, реалізація котрих на практиці дозволить досягти визначені цілі експлуатації. Окрім того, необхідно знати структуру взаємозв'язків між службами та процесами обслуговування, множину параметрів, що впливають на працездатність обладнання, а також норми на припустимі діапазони значень цих параметрів. Вищенаведені дані складають зміст інформаційного забезпечення прийнятих технологій ТЕ.

Основні характеристики інформаційного забезпечення експлуатації ТЛК-систем, зокрема моделі експлуатаційних процесів та процедур, що набули широкого застосування на практиці, детально висвітлені в лекції №15.

2.7. Метрологічне забезпечення технічної експлуатації

Технічна експлуатація ТЛК-обладнання передбачає необхідність широкого застосування інструментальних засобів випробувань, вимірювань та контролю (надалі – засобів вимірювань або інструментальних засобів). Ці засоби повинні не тільки справно виконувати покладені на них функції, але і на протязі періоду їхньої експлуатації не погіршувати свої технічні характеристики, зокрема характеристики точності. Внаслідок об'єктивних причин (зокрема, через природне старіння компонентів вимірювальних систем, схованих відмов, нештатних ситуацій у середовищі експлуатації і т.ін.) характеристики будь-якого інструментального засобу рано чи пізно, але можуть відхилитися від номінальних

значень, що вказані у його технічному паспорті. І якщо не уживати відповідних заходів із метрологічного забезпечення експлуатаційних робіт, то може так трапитися, що події відхилення характеристик вимірювальних приладів від номінальних значень, зокрема характеристик точності, будуть не помічені експлуатаційним персоналом. Зрозуміло, що користування приладами, які неадекватно відображають реальність, може призвести до негативних наслідків. Тому необхідно мати гарантії, що характеристики усіх засобів вимірювань, що застосовуються під час експлуатаційних робіт, своєчасно атестовані, тобто перевірені (метрологи кажуть: „повірені”) кваліфікованими спеціалістами за допомогою надійних методик, а результати атестації відповідають номінальним значенням. Зміст робіт із метрологічного забезпечення як раз і полягає у періодичних повірках і, у разі необхідності, відповідних настройках інструментальних засобів ТЕ.

В Україні, як і в багатьох інших країнах, проблема підтримки коректного функціонування засобів вимірювань, враховуючи її важливість, вирішується на державному рівні. Створена національна мережа метрологічних служб, що надає послуги з атестації засобів вимірювань згідно заявок клієнтів. Розроблені (і розроблюються) нормативні документи (НД), зокрема Держстандартом України, що регламентують усі аспекти метрологічних робіт.

Метрологічне забезпечення ТЕ ТЛК-обладнання має відповідати вимогам НД, чинним в Україні, а засоби вимірювань мають пройти метрологічну атестацію згідно з ДСТУ 3215 та повірку згідно з ДСТУ 2708. Забороняється використання засобів вимірювань, що не пройшли атестацію (повірку) у встановлені строки.

Відповідно до чинного законодавства уся множина параметрів ТЛК-обладнання розділена на три групи:

- 1) група параметрів, для вимірювання котрих в умовах експлуатації ТЛК-обладнання мають використовуватися засоби вимірювань, які підлягають обов'язковому державному метрологічному контролю та нагляду;
- 2) група об'єктів телекомунікаційної галузі, параметри та характеристики котрих не підпадають під сферу розповсюдження

державного метрологічного контролю та нагляду (а серед них – більшість параметрів та характеристик, що пов'язані із якістю функціонування ТЛК-обладнання), проте правила та умови вимірювань цих параметрів та характеристик визначаються органами відомчого метрологічного контролю та нагляду;

3) група всіх інших об'єктів телекомунікаційної галузі, правила та умови вимірювань параметрів котрих визначаються власниками об'єктів експлуатації.

До номенклатури параметрів, для вимірювання котрих мають використовуватися засоби вимірювань, які підлягають обов'язковому державному метрологічному контролю та нагляду, входять:

1) параметри каналів ТЧ і аналогових трактів первинної мережі (залишкове затухання або підсилення, нерівномірність амплітудно-частотної характеристики (АЧХ) залишкового затухання, параметри завадостійкості тощо);

2) параметри цифрових каналів та трактів (швидкість передавання цифрових сигналів, параметри імпульсів, показники помилок тощо);

3) параметри металічних кабелів зв'язку (електричний опір ізоляції, випробувальна напруга, перехідне затухання або захищеність, частотна характеристика, відстань до обривів та неоднорідностей);

4) параметри волоконно-оптичних систем передачі (довжина хвилі оптичного випромінювання; рівень середньої потужності оптичного сигналу; чутливість оптичного приймача; затухання регенераційної секції оптичного кабелю; дисперсія; відстань до обривів та неоднорідностей);

5) деякі параметри систем обліку обсягів надання клієнтам мережних послуг.

Примітка 8. Обов'язковому державному контролю та нагляду підлягають засоби вимірювань параметрів також деяких інших систем та каналів передачі, які використовуються у якості транспортного або синхронізуючого середовища на мережах передачі даних (зокрема, параметри апаратури радіорелейних та супутникових систем передачі, параметри тактової мережної сигналізації та ін.).

До номенклатури параметрів, для вимірювання котрих в умовах експлуатації ТЛК-обладнання мають використовуватися засоби

вимірювань, які підлягають відомчому метрологічному контролю та нагляду, входять:

1) параметри обладнання *Frame Relay*;

2) параметри обладнання *ATM*;

параметри обладнання *IP*.

Це дуже широкий перелік параметрів, з котрим корисно ознайомитись, зокрема, звернувшись до сайтів Мінінфраструктури. Наприклад, відомчому метрологічному контролю підлягають наступні параметри IP-обладнання:

– кількість октетів, що прийняті портом за час спостереження [байт];

– кількість пакетів із індивідуальними (*unicast*) IP-адресами одержувачів, які надійшли до порту і були доставлені протоколам верхніх рівнів за час спостереження [пакетів];

– кількість пакетів із ширококомовними (*broadcast*) та груповими (*multicast*) IP-адресами одержувачів, які надійшли до порту і були доставлені протоколам верхніх рівнів за час спостереження [пакетів];

– кількість пакетів, які надійшли до порту і були відкинуті (дискартовані) за час спостереження [пакетів];

– кількість пакетів, які мали помилки, що завадили доставці даних цих пакетів протоколам верхніх рівнів за час спостереження [пакетів];

– кількість пакетів, які надійшли до порту і були відкинуті (дискартовані) через те, що програмно-апаратним засобам контрольованого IP-обладнання, які реалізують стек протоколів TCP/IP, не вдалося визначити протокол верхнього рівня, якому необхідно доставити дані цього пакета [пакетів];

– кількість октетів, що були передані портом за час спостереження [байт];

– кількість пакетів із індивідуальними (*unicast*) IP-адресами одержувачів, які були відправлені портом за час спостереження [пакетів];

– кількість пакетів із ширококомовними (*broadcast*) та груповими (*multicast*) IP-адресами одержувачів, які були відправлені портом за час спостереження [пакетів];

- кількість пакетів, які були відкинуті (дискартовані) за час спостереження [пакетів];
- кількість пакетів, які мали помилки, що завадили відправці цих пакетів за час спостереження [пакетів];
- середній час затримки передачі пакетів, варіація часу затримки [с];
- продуктивність інтерфейсу в байтах, тобто число октетів, які були передані та прийняті інтерфейсом за одиницю часу [байт/с];
- продуктивність інтерфейсу в протокольних блоках даних, тобто число протокольних блоків даних, переданих та прийнятих інтерфейсом за одиницю часу [пакетів/с];
- коефіцієнт використання пропускну здатності інтерфейсу, тобто відношення числа октетів, що були передані та прийняті інтерфейсом за час спостереження, до максимальної пропускну здатності цього інтерфейсу [%];
- загальна кількість помилкових пакетів, тобто загальна кількість протокольних блоків даних, які не були доставлені протоколу вищого рівня [пакетів];
- коефіцієнт помилкових пакетів, тобто відношення кількості помилкових пакетів до загальної кількості пакетів, що були передані та прийняті інтерфейсом за час спостереження [%];
- довжина вихідної черги пакетів [пакетів].

Усі перераховані вище параметри фіксуються, як правило, штатними засобами будь-якого сучасного магістрального маршрутизатора.

Засоби вимірювань будь-якого оператора електрозв'язку або провайдера інформаційних сервісів повинні підлягати випробуванням з метою затвердження типу засобу вимірювань, який дозволено використовувати для вимірювань, мати відповідні сертифікати Держстандарту та проходити періодичні перевірки. Процес перевірки засобів вимірювань виконується згідно з вимогами регламентуючих документів Держстандарту України. Результатом перевірки є підтвердження придатності засобу вимірювань до використання (у цьому разі на засіб або на його технічний паспорт наноситься відповідне клеймо і видається

“Свідоцтво про перевірку”) або визнання його непридатним до використання.

Слід наголосити, що в експлуатаційній практиці трапляються ситуації, коли вимірювання одних тих самих параметрів за допомогою двох різних методик дають неоднакові результати. Виробники вимірювальної техніки, як правило, намагаються застосовувати методики, що рекомендуються Держстандартом. Щоб уникнути можливих похибок, експлуатаційникам теж слід намагатися користуватися методиками вимірювань, що рекомендовані Держстандартом. Тому фахівці, що професійно займаються експлуатацією ТЛК-обладнання, повинні постійно відвідувати відповідні сайти Держстандарту та Мінінфраструктури з тим, щоб своєчасно отримувати інформацію щодо змін у нормативній базі з питань метрологічного забезпечення.

Контрольні питання до другої лекції:

1. Чим відрізняється поняття „технічна експлуатація” від поняття „технічне обслуговування” ?
2. Що таке „ремонт обладнання” ?
3. Яка основна ціль технічної експлуатації ?
4. У чому полягають функції технічної експлуатації ?
5. Назвіть основні принципи побудови систем технічної експлуатації.
6. Назвіть основні функції адміністративно-технічного персоналу ТЛК-систем.
7. Які основні обов’язки експлуатаційного персоналу ТЛК-систем ?
8. Які основні вимоги щодо кваліфікації персоналу ?
9. Яким чином здійснюється технічне забезпечення експлуатації обладнання транспортування інформації ?
10. Що таке метрологічне забезпечення експлуатації ТЛК-систем ?
11. У чому полягає зміст робіт із метрологічного забезпечення експлуатації ?
12. Які параметри ТЛК-систем підлягають обов’язковому

державному метрологічному контролю та нагляду ?

13. Які параметри ТЛК-систем підлягають відомчому метрологічному контролю та нагляду ?

Література до другої лекції

1) Рекомендація МСЕ-Т М.20. Концепція технічної експлуатації мереж електров'язку.

2) Рекомендація МСЕ-Т М.60. Терміни та визначення, що відносяться до технічної експлуатації.

ЛЕКЦІЯ №3 ОСНОВНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ СИСТЕМ НАДАННЯ ПОСЛУГ

Розглядаються наступні питання:

- 3.1. Телекомунікаційна послуга як об'єкт споживчого попиту
- 3.2. Якість послуги, якість обслуговування, показники та рівні якості, їхній взаємозв'язок
- 3.3. Класи послуги, класи обслуговування, їхній взаємозв'язок
- 3.4. Види систем надання ТЛК-послуг

3.1. Телекомунікаційна послуга як об'єкт споживчого попиту

У загальному випадку телекомунікаційна послуга (надалі, послуга) характеризується багатьма властивостями, але в системах надання послуг вона розглядається, в першу чергу, як об'єкт споживчого попиту. Під цим кутом зору інтерес викликає функціональність послуги, споживчі властивості послуги, якість надання та її ціна.

Функціональність послуги (інакше, - функціональний профіль послуги), тобто доступний та потенційно корисний для споживача набір взаємопов'язаних функцій, який здатний під час надання послуги задовольнити його потреби в телекомунікаційних застосуваннях, є однією із її основних характеристик.

Необхідна функціональність послуги безпосередньо визначається тонкою структурою потреб прикладних застосувань користувача. Тому оцінка функціональності здійснюється диференційовано, з урахуванням конкретних умов використання застосувань. Однак безумовно одне: чим більша повнота функціональності послуги (іншими словами, чим більше корисних функцій може виконуватися в процесі надання послуги), тим із більшою ймовірністю і в більшій мірі вона в змозі задовольнити споживчий попит користувачів.

Споживчі властивості послуги – це ті її властивості, котрі враховуються споживачами підчас прийняття ними рішень щодо ступеню корисності цієї послуги у їхніх застосуваннях та (або) доцільності користування цією послугою.

Щодо телекомунікаційних технологій існує рекомендація

Міжнародного Союзу Електрозв'язку МСЕ-Т E.800, у якій визначено наступні чотири споживчі властивості послуги: забезпеченість (Service Support Performance), зручність використання (Service Operability Performance), дієвість (Service Ability) та безпечність користування (Service Security Performance). У свою чергу, дієвість – найбільш важлива споживча властивість послуги характеризується такими ознаками як доступність (Service Accessibility Performance), безперервність (Service Retain Ability Performance) та цілісність (Service Integrity Performance). Визначення цих властивостей надано далі у цьому підручнику.

Реалізація перелічених властивостей напряму залежить від здатності мережі обробляти трафікове навантаження (Traffic Ability Performance), тобто від якості функціонування мережі (Network Performance, NP).

Примітка 1. Слово „Performance” означає у прямому перекладі „якість” або „досконалість”. Тому у дослівному перекладі, наприклад, „Network Performance” означає „мережна досконалість”, а „Service Accessibility Performance” – „якість доступності послуги”.

Властивості мережної досконалості – це ті властивості мережі, які характеризують ступінь її досконалості. За звичайних умов вони не є об'єктом споживчого інтересу з боку кінцевих користувачів мережних послуг. Але саме ці властивості, в першу чергу, враховуються сервіс-провайдерами в процесі надання послуг. Властивості мережної досконалості визначені у Рекомендації МСЕ-Т E.800, згідно якої слід розрізняти: ресурсні можливості мережі щодо її використання (Resources and Facilities), її надійність (Dependability) та якість передавання (Transmission Performance). Основна характеристика досконалості мережі - надійність, що визначається готовністю її ресурсів до використання (Availability Performance). У свою чергу, готовність характеризується такими трьома складовими: безвідмовність (Reliability Performance), ремонтпридатність (Maintainability Performance) та забезпеченість технічного обслуговування і ремонту (Maintenance Support Performance).

Для кількісного оцінювання кожної із властивостей уводяться відповідні показники. Наприклад, показниками доступності є ймовірність відмови у доступі, середня затримка доступу і т. ін.

Якість надання послуги (якість послуги, Quality of Service, QoS) – інтегральний корисний ефект від надання послуги, що визначається ступенем задоволення потреб користувача цієї послуги.

Оскільки користувач оцінює якість послуг у метриці їхніх властивостей, то і критерії якості надання послуг повинні мати вигляд певних функцій та (або) функціоналів від показників властивостей послуг. Однак на практиці найчастіше в цілях спрощення можливими функціональними взаємозв'язками між показниками властивостей нехтують, а в ролі критерію якості надання певної послуги використовують визначений набір (зокрема, упорядковану послідовність) показників властивостей такої послуги. В цьому випадку показники властивостей звичайно називають показниками або параметрами якості надання послуги, а критерій якості – узагальненим або інтегральним показником якості надання послуги.

Наприклад, інтегральний показник якості надання послуги із транспортування через мережу пакетів у форматі IP, що переносять голосовий трафік, на практиці у більшості випадків визначають наступним чином. Такі властивості послуги як її забезпеченість та безпечність користування (див. Рекомендацію МСЕ-Т E.800) не враховують. Зручність використання враховують шляхом введення такого показника як інтервал звітування (тобто, періодичність представлення покупцю послуг звітів про поточний стан обслуговування). Щодо дієвості враховують усі три її ознаки, тобто уводять показники доступності, безперервності та цілісності. В результаті отримують наступні показники якості надання вищезазначеної послуги:

- 1) часовий інтервал забезпечення параметрів обслуговування T_0 ;
- 2) коефіцієнт доступності послуги K_d , тобто співвідношення між сумою проміжків часу, на протязі котрих послуга є доступною для користування, і часовим інтервалом забезпечення параметрів обслуговування T_0 ;
- 3) максимальна величина затримки голосових пакетів τ ;
- 4) максимальна величина варіації затримки голосових пакетів τ_b ;

5) ймовірність того, що на визначеному часовому інтервалі буде забезпечена передача пакетів із затримками, котрі не перевищують визначену максимальну величину затримки голосових пакетів P_3 ;

6) ймовірність того, що на визначеному часовому інтервалі буде забезпечено передавання пакетів із варіаціями затримок, котрі не перевищують визначену максимальну величину варіації затримки голосових пакетів $P_{вз}$.

У вищенаведеному прикладі ознака доступності (тобто, властивість послуги бути наданою саме тоді, коли у цьому існує потреба) врахована шляхом введення таких параметрів як Kd і To . Параметр To характеризує також і таку ознаку дієвості послуги як безперервність її надання, оскільки значення усіх інших вищенаведених показників якості повинні безперервно забезпечуватися на протязі часу To . На кінець, останні чотири показника із вищевказаних (тобто, τ , τ_v , P_3 та $P_{вз}$) характеризують цілісність послуги, оскільки саме вони визначають ту припустиму межу у погіршенні якості, що є прийнятною для користувача послуги.

Якість обслуговування (Quality of Services, QoS) – інтегральний корисний ефект від обслуговування, що визначається ступенем задоволення користувача як від отриманої послуги, так і від самої системи обслуговування.

Примітка 2. Зверніть увагу на те, що англійська скорочена позначка якості обслуговування пишеться з апострофом після букви Q, тобто QoS'.

Згідно з Рекомендацією Міжнародної організації із стандартизації ISO 9004-3, п.02 під контролем необхідно тримати усі технічні, адміністративні і людські ресурси, що впливають на якість обслуговування. Стосовно до умов надання послуг на основі використання мережних ресурсів критерій якості обслуговування (котрий за звичайних умов називають коротко “якість обслуговування”) доцільно представити у вигляді певного інтегрального показника досконалості обслуговування, що враховує не тільки якість надання послуги, але і здатність мережі обробляти навантаження. Тому критерій якості обслуговування у телекомунікаційному бізнесі за звичайних умов визначається набором (зокрема, упорядкованою послідовністю) показників

властивостей як телекомунікаційної послуги, що надається, так і мережних ресурсів, що використовуються. Показники якості надання послуги називають параметрами QoS послуги, а показники якості мережних ресурсів - параметрами NP мережі. Конкатенацію параметрів QoS та NP називають параметрами якості обслуговування, тобто QoS'. У вищенаведених визначеннях слово "параметр" є синонімом слова "показник".

Стосовно вищенаведеного прикладу щодо якості надання послуги із транспортування через мережу IP пакетів з голосовим трафіком: у разі необхідності визначення якості обслуговування QoS' слід показники якості надання цієї послуги QoS об'єднати із показниками NP, які характеризують властивості мережної досконалості, тобто об'єднати параметри QoS із такими параметрами NP як показники ресурсних можливостей IP-мережі щодо її використання, показники надійності та показники якості передавання (див. Рекомендацію МСЕ-Т E.800).

На практиці під час визначення набору показників мережної досконалості NP також йдуть на певні спрощення, враховуючи тільки найбільш суттєві щодо даних конкретних умов показники. За умов, що відображені у вищенаведеному прикладі, доцільно враховувати лише такі показники безвідмовності:

1) відсоток втрачених пакетів по відношенню до загальної кількості транспортованих пакетів, визначених на проміжку часу, що дорівнює 1 с;

2) відсоток пакетів із помилковими даними по відношенню до загальної кількості транспортованих пакетів, визначених на проміжку часу, що дорівнює 1 с;

3) коефіцієнт навантаження обладнання, розташованого уздовж маршруту потоку пакетів;

4) період усереднення швидкостей потоків пакетів під час визначення коефіцієнта навантаження обладнання.

Усі чотири показника характеризують безвідмовність, що є згідно з Рекомендацією МСЕ-Т E.800 складовою надійності, яка, в свою чергу, визначається готовністю ресурсів мережі до використання (Availability Performance). Інші властивості мережної досконалості у наведеному прикладі не враховані.

Ціна послуги має вирішальне значення для її покупця підчас

прийняття ним рішення щодо доцільності користування цією послугою. Визначення ціни на послугу залежить від багатьох різнорідних факторів і в цьому підручнику не розглядається. Не є предметом розгляду у рамках цього підручнику і безумовно важливі з точки зору організації надання послуг проблеми, що пов'язані із формуванням тарифної політики та організацією розрахунків з покупцями послуги.

3.2. Якість послуги, якість обслуговування, показники та рівні якості, їхній взаємозв'язок

Якість послуги. Будь-яка телекомунікаційна послуга характеризується тим набором властивостей, що є суттєвими для користувачів. У свою чергу, кожна із властивостей характеризується набором показників цієї властивості. Із всієї множини показників властивостей послуги у площині взаємовідносин між покупцем і продавцем послуги, тобто на інтерфейсі “покупець послуги – провайдер послуги” (Customer – SP Interface), доцільно розглядати підмножину показників властивостей, що дозволяє оцінити на кількісному рівні якість надання послуги. Елементи цієї підмножини називають показниками або визначальними параметрами якості послуги (а також параметрами QoS послуги). Таким чином, узагальнений (інтегральний) показник якості надання послуги (або, коротко, - якість послуги) – це набір функціонально пов'язаних між собою або незалежних один від одного параметрів якості послуги (набір визначальних параметрів якості послуги).

Якість більшості послуг, що можуть надаватися на основі використання ресурсів ТЛК-мереж, розуміється із статистичної точки зору. Зокрема щодо пакетних мереж: прикладні застосування користувачів здебільшого на практиці генерують в мережу пакети у випадкові моменти часу. Тому і черги у пристроях буферної пам'яті портів комунікаційних пристроїв (надалі, - буфери) являють собою випадкові процеси. Це призводить до того, що миттєва швидкість потоків пакетів та їхні затримки в елементах мережі також мають випадковий характер. Як наслідок, більшість визначальних параметрів, що використовуються для вимірювань якості послуг на мережах пакетної комутації, розглядаються як

статистичні.

Наприклад, у якості показника швидкості потоку пакетів за звичайних умов вибирають середнє значення (математичне чекання) цієї швидкості, у якості показника характеру пульсацій трафіка - варіації (дисперсії) швидкості потоку відносно середнього значення, у якості показника чутливості прикладних застосувань (задач) користувачів до затримок пакетів – варіації затримок відносно середньої затримки (котрі іноді ще називають джитером затримок пакетів) і т. ін. Немає сенсу вимірювати затримку будь-якого одного окремого пакету або швидкість потоку на дуже малих проміжках часу, близьких до часу передавання одного пакету. Більш доцільно вимірювати якість послуг шляхом усереднення відповідних параметрів на протязі певним чином попередньо обумовлених проміжків часу.

Рівні якості послуги. Як правило, послуга може надаватися із різним рівнем якості. Рівень якості послуги узгоджується між сервіс-провайдером та його клієнтом і включається до тексту відповідної сервісної угоди (що називається також Service Level Agreement або SLA).

Рівень якості послуги визначається шляхом надання конкретних кількісних значень показникам якості, що входять до складу узагальненого показника якості надання послуги. Якщо ці показники розглядаються як незалежні один від одного, то рівень якості послуги задається упорядкованим набором (множиною) значень визначальних параметрів якості послуги. У геометричній інтерпретації рівень якості послуги – це вектор, що задається у n -мірному просторі визначальних параметрів, де n – кількість визначальних параметрів якості послуги. Згідно такої інтерпретації рівень якості послуги не може асоціюватися із суб'єктивними уявленнями типу “більш якісна або менш якісна послуга”, а задається конкретним набором значень визначальних параметрів якості послуги.

Бажаний рівень послуги (бажаний рівень QoS) – це той рівень якості послуги, що найбільш точно задовольняє вимогам прикладних застосувань користувача цієї послуги.

Наприклад, якщо потенційний покупець ТЛК- послуги в процесі укладання сервісної угоди SLA прагне сформулювати бажаний для

нього рівень якості послуги, то він, після визначення набору визначальних параметрів, що впливають на якість функціонування його застосувань, має задатися конкретними значеннями (або діапазонами значень) щодо кожного із визначених параметрів. Тоді бажаний рівень якості послуги буде визначатися набором вибраних значень (або діапазонів значень) визначальних параметрів якості цієї послуги.

Скільки комбінацій із припустимих значень визначальних параметрів є можливим утворити, стільки рівнів якості послуги буде можливим задати. Так що, структуруючи вимоги до бажаної якості послуги у термінах та метриці “рівня якості послуги”, будь-який потенційний покупець послуги має змогу формалізувати тонку структуру своїх потреб до якості надання цієї послуги з урахуванням конкретних умов функціонування його прикладних застосувань.

Гарантований рівень послуги (гарантована якість послуги, гарантована QoS) - розрахований та заявлений провайдером рівень якості послуги, який він в змозі і згодний гарантовано підтримувати на основі сервісної угоди щодо рівнів надаваних послуг, тобто на основі SLA. Гарантована QoS – це сукупність заявлених провайдером значень (або діапазонів значень) технічних параметрів, що характеризують відповідність засобів служби підтримки якості провайдера послуги очікуванням покупця цієї послуги щодо якості обробки його застосувань. Гарантована QoS – пороговий критерій якості, з яким порівнюються досягнуті в процесі надання послуги поточні значення параметрів QoS.

Вимірний рівень послуги (вимірний рівень QoS) – це значення оцінки рівня якості наданої послуги, що отримане на основі оцінок її визначальних параметрів шляхом усереднення вимірних в процесі контролю відповідності поточних значень цих параметрів. Якщо усереднення здійснюється на інтервалі поточного збору даних, то таким чином вимірний рівень послуги називають поточним рівнем послуги.

Трафарети сервісної угоди щодо рівня надаваних послуг, темплети SLA (Service Level Agreement Templates) – визначення стандартних ступенів якості послуги (тобто, стандартних рівнів послуги), які можуть бути запропоновані покупцям послуги у

рамках SLA. Наприклад, трафарети, що визначають характеристики так званої “золотої послуги” або “срібної послуги” і т. ін.

Якість обслуговування. Поняття “якість обслуговування” відрізняється від поняття “якість послуги” тим, що при визначенні якості обслуговування враховуються не тільки параметри QoS послуги, але і параметри NP мережі, на основі використання ресурсів котрої ця послуга надається.

В залежності від прийнятої системи надання послуг використовують різні підходи до визначення якості обслуговування.

В системах пріоритетного обслуговування, а також в системах диференційованого обслуговування з гарантованим сервісом використовується термін “якість обслуговування”, що позначається аббревіатурою “QoS”. Під якістю обслуговування в цих системах розуміють здатність мережних ресурсів забезпечити потрібний сервіс для визначених класів потоків даних у визначеному мережному середовищі (мережне середовище - це середовище передавання даних, що побудовано на основі використання обладнання ATM, FR, IP, Optical Ethernet тощо). А під класом потоку даних (класом трафіку) розуміють тип даних, що транспортуються каналами мережі: голосові пакети, відео, HTTP, FTP, трафік баз даних і т. ін.

В системі диференційованого обслуговування з гарантованим сервісом, як правило, визначаються гарантовані рівні QoS`.

Рівні якості обслуговування. Обслуговування також може надаватися із різним рівнем якості. Рівень якості обслуговування може бути об’єктом узгодження між сервіс-провайдером та його клієнтом і вимоги до цього рівня можуть уводитись до тексту відповідної сервісної угоди SLA.

За аналогією із визначеннями основних різновидів “рівнів якості послуги” вводяться подібні різновиди поняття “рівень якості обслуговування”, а саме:

Бажаний рівень обслуговування (бажаний рівень QoS`) – це той рівень якості обслуговування, що найбільш точно задовольняє вимогам прикладних застосувань суб’єкта обслуговування.

Гарантований рівень обслуговування (гарантована якість

обслуговування, гарантована QoS') - розрахований та заявлений провайдером рівень якості обслуговування, який він в змозі і згодний гарантовано підтримувати на основі сервісної угоди. Гарантована QoS' – це сукупність заявлених провайдером значень (або діапазонів значень) технічних параметрів, що характеризують відповідність засобів служби підтримки якості сервіс-провайдера та задіяних мережних ресурсів очікуванням суб'єкта обслуговування щодо якості обробки його застосувань. Гарантована QoS' – пороговий критерій якості, з яким порівнюються досягнуті в процесі надання послуги поточні значення характеристик QoS'.

Вимірний рівень обслуговування (вимірний рівень QoS') – це значення оцінки рівня якості обслуговування, що отримане на основі оцінок її визначальних параметрів шляхом усереднення вимірних в процесі контролю відповідності поточних значень цих параметрів. Якщо усереднення здійснюється на інтервалі поточного збору даних, то таким чином вимірний рівень обслуговування називають поточним рівнем обслуговування.

Параметри якості обслуговування. Під час вирішення проблем забезпечення якісного надання ТЛК-послуг дотримуються наступної класифікації параметрів якості обслуговування.

По-перше, множину параметрів QoS', що визначає рівень якості обслуговування, розбивають на три категорії параметрів:

1) сервіс-орієнтовані параметри, що безпосередньо пов'язані із визначенням якості послуги, тобто параметри QoS ;

2) мережно-орієнтовані параметри, що безпосередньо пов'язані із визначенням мережної досконалості, тобто параметри NP;

3) сервіс/мережно-незалежні параметри, тобто параметри, які не пов'язані із визначенням якості послуги QoS або мережної досконалості NP.

Примітка 3. Окрім параметрів якості обслуговування покупця послуги, зазвичай, цікавлять також параметри функціональності цієї послуги (наприклад, припустима середня швидкість потоку пакетів, що генерується прикладними застосуваннями, припустимі пульсації цього потоку і т. ін..) та, можливо, параметри функціональності мережного обладнання (наприклад, надана пропускна здатність, ширина смуги тощо).

По-друге, множину видів послуг розподіляють на наступні два види послуг:

1) диференційовані послуги, які орієнтовані на обслуговування користувачів із урахуванням конкретної структури їхніх вимог щодо якості обслуговування;

2) стандартні (інакше, - базові, агреговані, масові) послуги, що надаються шляхом використання уніфікованих механізмів і орієнтовані на потреби широкої групи користувачів з приблизно однаковими характеристиками вимог щодо обслуговування.

Як результат, отримують класифікатор параметрів QoS, типові приклади використання котрого наведено у вигляді таблиць 3.1 та 3.2. Прийняті позначення параметрів будуть розглядатися далі у наступних лекціях.

Таблиця 3.1

Приклад класифікації параметрів QoS при наданні послуги із транспортування пакетів IP через канал абонентського DSL-доступу

Види послуг	Категорії параметрів обслуговування		
	мережно-орієнтовані	сервіс-орієнтовані	мережно/сервіс-незалежні
диференційовані	<i>IPER, IPLR</i> , коефіцієнт готовності обладнання	<i>IPTD, IPDV</i> , коефіцієнт доступності послуги	максимальний час відновлення, максимальний час ремонту
стандартні	середні значення <i>IPER, IPLR</i> та коефіцієнту готовності обладнання	розподіл затримок та девіацій затримок між потоками трафіка	<i>MTBF, MTTR,</i> <i>MTRS</i>

Таблиця 3.2

Приклад класифікації параметрів якості обслуговування при наданні послуги транспортування ATM-вічок

Види послуг	Категорії параметрів обслуговування		
	мережно-орієнтовані	сервіс-орієнтовані	мережно/сервіс-незалежні

диференційовані	максимальні значення параметрів CER , CLR , CTD , CDV	максимальний час відновлення, максимальний час ремонту
стандарти	усереднені значення параметрів CER , CLR , CTD , CDV	$MTRR$, $MTRS$

Як видно із вищенаведених таблиць, певні параметри деяких послуг вважаються одночасно сервіс- і мережно-орієнтованими. Так що вищенаведена класифікація є в деякій мірі умовною.

Примітка 4. Класифікатори параметрів якості обслуговування QoS відрізняються від класифікаторів параметрів якості послуги QoS двома додатковими стовпцями: в один додатковий стовпець вносяться дані щодо параметрів мережної досконалості, а в інший – дані щодо сервіс/мережно-незалежних параметрів обслуговування.

Загальна структура взаємозв'язків між об'єктами системи управління якістю обслуговування надана на рис.3.1.



3.3. Класи послуги, класи обслуговування, їхній взаємозв'язок

Класи послуги. Досвід надання послуг, набутий провідними сервіс-провайдерами в Україні, свідчить, що внаслідок широкої

різноманітності прикладних застосувань кількість показників, які цікавлять покупців в різних реальних ситуаціях стосовно більшості мережних послуг, що надаються на основі використання сучасних ТЛК-технологій, перевищує п'ятдесят найменувань. При цьому, потрібні значення кожного із показників, як правило, вибираються із широких діапазонів припустимих значень. Тому і простори потенційно запитуваних покупцями рівнів будь-якої послуги є великорозмірними. Це, з одного боку, забезпечує широкий діапазон можливостей для покупця послуги в оптимізації заявленого ним рівня послуги відносно його реальних потреб з урахуванням тонкої структури вимог до якості послуги, що висувують його прикладні застосування. Але, з другого боку, надання персоніфікованих послуг із забезпеченням будь-якого бажаного для покупця рівня послуги суттєво підвищує вартість такого обслуговування, яка за існуючих умов у неприпустимій мірі звужує платоспроможний попит на нього. Тому на практиці щодо кожної послуги обмежуються лише кількома стандартизованими рівнями та (або) вузькими діапазонами рівнів її надання. Це спрощує обслуговування (зокрема, планування мережі та інженерію її ресурсів), дозволяє більш економно використовувати мережні ресурси і, як наслідок, знизити вартість послуги.

Раціональний вибір стандартизованих рівнів послуги є відповідальною задачею, оскільки намагання щодо зменшення кількості цих рівнів повинні при цьому не призводити до суттєвого зменшення потенційної клієнтської бази. Кожний запропонований рівень послуги повинен мати сталий попит з боку потенційних користувачів.

Множину ТЛК-послуг, що надаються із використанням ресурсів мереж передачі даних (МПД), доцільно розподілити (класифікувати) за видами телекомунікаційних технологій транспортування протокольних блоків даних (PDU) каналного та (або) мережного рівнів (за моделлю OSI ISO). Це, зокрема, такі технології як ATM, FR, IP, xDSL, Optical Ethernet тощо. Вони утворюють мережне середовище надання послуг. З іншого боку, усі найбільш популярні види потоків, що транспортуються каналами МПД завдяки використанню транспортних технологій каналного та мережного рівнів, групуються за загальними для них ознаками в

так звані класи трафіків. Розрізняють такі класи трафіків як голосові пакети, відео, НТТР, FTP, трафік баз даних і т. ін. І далі для кожної послуги в рамках кожної ТЛК-технології, що має застосування на МПД, визначається кілька стандартизованих рівнів (діапазонів рівнів) її надання з урахуванням характеристик класів трафіків, тобто характеристик найбільш популярних видів потоків PDU, що наразі генеруються основною масою прикладних застосувань реальних і потенційних користувачів. Визначені таким чином рівні (діапазони рівнів) послуги називаються класами послуги (або класами QoS).

Класи обслуговування. Будь-який клас будь-якої послуги характеризується лише сукупністю значень показників якості послуги QoS і не враховує показники мережної досконалості NP. Тому за аналогією із визначенням рівнів обслуговування доцільно увести поняття “класи обслуговування”.

Класи обслуговування (класи QoS`) – це певним чином визначені рівні обслуговування щодо кожної послуги в рамках кожної телекомунікаційної технології з урахуванням характеристик найбільш популярних видів трафіку.

Кожному класу обслуговування відповідає певний клас послуги із доповненням - визначеною для цього класу обслуговування певної множини показників мережної досконалості NP та множини сервіс/мережно-незалежних параметрів обслуговування. Множина показників мережної досконалості характеризує рівні мережної досконалості тієї мережі, на основі використання ресурсів котрої надається послуга. Вищезазначені множини показників визначаються окремо в рамках кожної телекомунікаційної технології, що має застосування на МПД. Отже, клас обслуговування – це конкатенація певного класу послуги із певним рівнем мережної досконалості з урахуванням значень сервіс/мережно-незалежних параметрів обслуговування.

Кожний клас обслуговування характеризується певним набором стандартизованих значень (або діапазонів значень) визначених показників якості послуги (тобто, сервіс-орієнтованих параметрів), мережної досконалості (тобто, мережно-орієнтованих параметрів) та сервіс/мережно-незалежних параметрів обслуговування (див. таблицю 3.3).

Таблиця 3.3

Типовий приклад визначення класів обслуговування

Параметри обслугов.	Характеристика параметра	Клас 0	Клас 1	Клас 2	Клас 3	Клас 4	Клас 5
Сервіс/мережно-незал. параметри							
1. <i>MTBF</i>	Середній час між відмовами, годин	500	400	400	200	н/в	н/в
2. <i>MTTR</i>	Середній час ремонту	300 с	600 с	3600 с	н/в	н/в	н/в
3. <i>MTRS</i>	Середній час відновлення працездатності	600 с	1600 с	7200 с	н/в	н/в	н/в
Сервіс-орієнтовані параметри							
1. <i>mean IPDV</i>	Гарантоване на проміжку 1с середнє значення варіації затримок	100 мс	100 мс	н/в	н/в	н/в	н/в
2. <i>mean IPTD</i>	Гарантоване на проміжку 1с середнє значення величини затримки при передачі пакетів	200 мс	800 мс	200 мс	800 мс	2 с	н/в
3. <i>mean</i>	Гарантоване	5×10^{-4}	$5 \times 10^{-}$	$5 \times 10^{-}$	$5 \times 10^{-}$	$5 \times 10^{-}$	н/в

<i>IPLR</i>	на проміжку 1с середнє значення кількості втрачених пакетів		⁴	⁴	⁴	⁴	
4. <i>mean IPER</i>	Гарантоване на проміжку 1с середнє значення кількості пакетів із помилками	3×10^{-6}	3×10^{-6}	3×10^{-6}	3×10^{-6}	3×10^{-6}	н/в
Мережно - орієнтовані параметри							
1. <i>max IPDV</i>	Межа щодо варіації затримок	50 мс	50 мс	н/в	н/в	н/в	н/в
2. <i>max IPTD</i>	Межа щодо величини затримки при передачі пакетів	100 мс	400 мс	100 мс	400 мс	1 с	н/в
3. <i>max IPLR</i>	Верхня межа ймовірності втрат пакетів	1×10^{-4}	1×10^{-4}	1×10^{-4}	1×10^{-4}	1×10^{-4}	н/в
4. <i>max IPER</i>	Верхня межа щодо кількості пакетів із помилками	1×10^{-6}	1×10^{-6}	1×10^{-6}	1×10^{-6}	1×10^{-6}	н/в

Примітка: позначка “н/в” означає “не визначений”.

Визначення класів транспортних послуг і відповідних ним показників у рамках найбільш поширених телекомунікаційних

технологій, що мають застосування на МПД в Україні, буде наведено у подальших лекціях за цією навчальною дисципліною.

3.4. Види систем надання ТЛК-послуг

Системи надання телекомунікаційних послуг в залежності від можливостей сервіс-провайдера, попиту покупців та умов конкуренції можуть враховувати або не враховувати тонку структуру потреб застосувань споживачів щодо параметрів якості послуг. З цієї точки зору доцільно розрізнити наступні три типи систем:

1) система обслуговування з максимальними зусиллями (сервіс типу “максимум можливого” або “best effort”);

2) система обслуговування з наданням переваги (пріоритетне обслуговування, “м’який” сервіс QoS);

3) система диференційованого обслуговування з гарантованим сервісом (“жорсткий” або “істинний” сервіс QoS).

Система обслуговування з максимальними зусиллями не передбачає будь-яку оцінку (а, тим більш, використання) механізмів регулювання якості обслуговування в процесі надання послуг. Зокрема, за цією системою обробка та просування протокольних блоків даних (PDU) каналами пакетної мережі здійснюється без надання будь-яких гарантій щодо часових, швидкісних або інших характеристик оброблюваного трафіку. Термін “з максимальними зусиллями” означає лише тільки те, що сервіс-провайдер зобов’язується задіяти для надання послуг усі наявні ресурси, не надавати переваг в обслуговуванні будь-якому покупцю послуг, що обслуговується за цією системою, та намагатися обслуговувати потоки пакетів за принципом FIFO („First in – First out“, тобто „перший прийшов – перший отримав обслуговування“).

Система обслуговування з наданням переваги (інші назви, - система пріоритетного обслуговування, система диференційованого обслуговування) надає переваги щодо якості обслуговування певним типам потоків даних. Під перевагами розуміється, наприклад, забезпечення більш швидкісної обробки

пакетів або менших втрат даних, надання більшої частки пропускної спроможності каналу транспортування даних тощо. Проте за цією системою будь-які кількісні значення показників якості обслуговування не гарантуються. Більш того, ці показники в процесі надання послуг навіть не контролюються, а надання переваг фактично забезпечується шляхом пріоритезації одних типів потоків над іншими. Зокрема, якщо більш пріоритетний потік пакетів в певний проміжок часу генерується з низькою інтенсивністю, то в цей час менш пріоритетному потоку може бути надана більша частка ресурсів ТЛК-мережі. Як наслідок, менш пріоритетний потік отримує високоякісне обслуговування – з малими затримками і втратами пакетів. Але якщо ситуація зміниться так, що більш пріоритетний потік почне нарощувати свою інтенсивність, то через це менш пріоритетний потік може взагалі деякий час не обслуговуватися.

Система диференційованого обслуговування з гарантованим сервісом (система ДОГС) забезпечує надання гарантій якості обслуговування на кількісному рівні з урахуванням тонкої структури вимог окремо кожного із покупців послуг до параметрів якості обслуговування. За цією системою кожний потік пакетів, що обслуговується на умовах “істинного” сервісу QoS, гарантовано отримує саме ті параметри якості послуг, які визначені для нього у числовому вигляді (за умов, зрозуміло, якщо покупці послуг не порушують узгоджені із сервіс-провайдером умови щодо характеристик цих потоків пакетів і не генерують їх більше, ніж те, що передбачено в сервісних угодах). Гарантується, наприклад, що певне застосування буде користуватися обумовленою часткою пропускної здатності наскрізного з’єднання за будь-яких обставин, навіть за умов, коли всі інші застосування миттєво почнуть генерувати потоки пакетів з максимальною інтенсивністю.

Комбіноване застосування систем обслуговування. На практиці, зазвичай, здійснюється комбіноване застосування усіх трьох вищенаведених систем обслуговування. Це дозволяє враховувати широкий спектр умов функціонування телекомунікаційних мереж та різноманітні вимоги прикладних застосувань користувачів.

Зокрема, певні застосування, такі, наприклад, як електронна пошта, достатньо обслуговувати з максимальними зусиллями. Для

деяких інших застосувань, таких як інтернет-служби FTP або НТТР, параметри якості обслуговування не є абсолютно важливими, тобто користувачі цих застосувань можуть миритися з певними нетривалими погіршеннями реактивності мережі. В цих випадках може бути доцільним використати систему обслуговування з наданням переваги. На кінець, існують застосування, такі як відеоконференцзв'язок або передача сигналів широкосмугової вимірювальної системи реального часу, котрі можуть бути втілені на пакетних мережах тільки за умов використання системи диференційованого обслуговування з гарантованим сервісом.

Як приклад, схема комбінованого застосування систем обслуговування за умов одночасного функціонування наведених вище типів потоків може бути запропонована така. Для трафіка відеоконференцзв'язку попередньо резервується певна частка пропускної спроможності мережі, щоб мати можливість гарантовано обслужити цей трафік з визначеними на кількісному рівні параметрами якості послуг. Ресурси мережі, що залишилися після резервування, диференційовано розподіляються між такими пріоритетними класами трафіка як служби FTP (з нижчим пріоритетом в обслуговуванні) та НТТР (з вищим пріоритетом). Тоді, якщо службі НТТР на певний проміжок часу знадобиться висока пропускна спроможність, то ця потреба задовольняється за рахунок служби електронної пошти, що обслуговується за системою "best effort". Якщо цього виявиться недостатньо, то збільшення пропускної спроможності для служби НТТР буде здійснюватися за рахунок служби FTP, що має менший пріоритет. Зрозуміло, що за цією схемою комбінованого обслуговування трафік електронної пошти буде обслуговуватися за залишковим принципом, тобто на рівні "максимум можливого".

Контрольні питання до третьої лекції

1. Що таке функціональність послуги?
2. Що таке споживчі властивості послуги?
3. Які чотири споживчі властивості послуги, що визначені

рекомендацією E.800 МСЕ-Т, Ви знаєте?

4. Які властивості мережної досконалості розглянуто у рекомендації E.800?

5. Що таке якість послуги? Чим це поняття відрізняється від поняття "якість обслуговування"?

6. Надайте визначення понять „рівень послуги”, „гарантований рівень послуги” та „вимірний рівень послуги”.

7. Що таке темплета *SLA*?

8. Які три категорії параметрів якості обслуговування Ви знаєте?

9. Що таке диференційована послуга?

10. Що таке клас послуги? Чим це поняття відрізняється від поняття „клас обслуговування”?

11. Які види систем надання послуг Ви знаєте?

12. Чим пріоритетне обслуговування відрізняється від обслуговування типу “*best effort*” ?

13. Які основні переваги системи диференційованого обслуговування з гарантованим сервісом?

14. Надайте приклад комбінованого застосування систем обслуговування.

Література до третьої лекції

1)Г.Ф.Конахович, В.М.Чуприн. Мережі передавання пакетних даних. -К.: «МК-Прес», 2006. Розділи 2 та 3

ЛЕКЦІЯ №4. ОСНОВНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИМ ОБЛАДНАННЯМ

Розглядаються наступні питання:

- 4.1. Загальна характеристика систем керування
- 4.2. Багаторівневе представлення задач керування
- 4.3. Архітектура систем керування
- 4.4. Стандарти протоколу *SNMP*
- 4.5. Недоліки протоколу *SNMP*

4.1. Загальна характеристика систем керування

Будь-яка ТЛК-система, а тим більш складна та територіально розгалужена програмно-апаратна система, що функціонує у режимі реального часу, потребує керування. Тобто, має існувати система керування ТЛК-системою, яка була б здатна забезпечити її нормальне функціонування. Якщо така система керування реалізована штатними засобами керованої ТЛК-системи, то її логічно назвати підсистемою керування, що функціонує у складі ТЛК-системи. Проте на практиці функціонують також системи керування, що є фізично відокремленими від штатних засобів керованої ТЛК-системи. У цьому випадку основну частину спеціалізованого обладнання, що здійснює функції керування, розміщують на спеціально виділеному вузлі керування, а інші частини цього обладнання інсталиують безпосередньо на вузлах керованої ТЛК-системи. Такі системи керування називають централізованими. Розосереджений характер будь-якої великої глобальної мережі робить неможливою її підтримку без централізованої системи керування (яка має англійську назву *NMS – Network Management System*). Використовуються також і комбіновані системи керування, коли частина управлінських функцій виконуються штатними (як, іноді, кажуть – локальними) засобами керування, а інша частина управлінських функцій реалізуються централізованою системою керування.

Локальні механізми керування (тобто, ті механізми, що функціонують у складі штатного обладнання окремих активних елементів ТЛК-системи - комутаторів, маршрутизаторів, шлюзів тощо), як правило, реалізуються засобами операційних систем

(ОС), що інстальовані локально на цих складових елементах обладнання ТЛК-системи.

Примітка 1. Наразі практично будь-який окремий активний елемент, що входить до складу сучасних ТЛК-мереж, являє собою комп'ютеризовану систему із власним програмним забезпеченням (ПЗ), що знаходиться під керуванням спеціалізованої або ширококорозповсюдженої ОС (типу Unix, Windows і т. ін.).

Використовуються також окремі локально інстальовані програми керування. Цим програмам притаманний більш високий рівень функціональності щодо вирішення задач керування у порівнянні із функціональністю штатних засобів ОС, проте і він (тобто, рівень) у багатьох випадках не є достатнім, щоб здійснювати ефективне керування глобальною багатовузловою ТЛК-системою.

Зазвичай кожний активний елемент ТЛК-системи має власну штатну підсистему керування. Наприклад, якщо розглядати структуру типової мережі стільникового зв'язку, то неважко упевнитись, що, зокрема, кожна із базових станцій має власну підсистему керування, контролери базових станцій також мають власні підсистеми керування, вузли комутації каналів мають свої штатні підсистеми керування і т.д. щодо кожного активного елемента цієї мережі. І якщо ТЛК-система складається із невеликої кількості вузлів, то на практиці зазвичай обмежуються застосуванням лише локальних засобів керування, а узгодження сумісної роботи цих вузлів здійснюється адміністраторами за допомогою звичайного телефонного зв'язку. Однак щоб керувати ТЛК-системою більш-менш значних розмірів як єдиним діючим цілим, необхідно використовувати централізоване керування.

Обладнання ядра централізованої системи керування однорідною мережею (що, як вже вказувалось, зазвичай розташоване на окремо виділеному вузлі керування) являє собою більш-менш просту програмно-апаратну систему. Однак для керування великими неоднорідними ТЛК-мережами, на вузлах котрих інстальовані неоднотипні локальні засоби керування (такі мережі іноді називають гетерогенними), доводиться застосовувати складні програмно-апаратні комплекси засобів, що у сукупності утворюють так звані інтегровані системи керування.

Система керування має бути здатною одночасно вирішувати

багато різнорідних задач та підкоряться певній загальній для усіх вузлів меті керування, наприклад досягненню відповідності між показниками якості функціонування прикладних систем, що запускаються у роботу користувачами ресурсів ТЛК-системи, та параметрами ТЛК-обладнання, що надає ТЛК-послуги цим прикладним системам.

Зазвичай NMS функціонує в автоматизованому режимі, виконуючи типові однозначно визначені управлінські дії автоматично, у той час як логічно більш складні завдання, що потребують застосування інтелекту людини, мають вирішувати адміністратори ТЛК-системи. Адміністратори усієї ТЛК-системи здійснюють керування системою за допомогою системних терміналів вузлу керування. На цьому вузлі в автоматичному режимі у реальному часі збираються різнорідні дані про стан обладнання у кожному вузлі ТЛК-системи та стан трафіку у кожному каналі. Усі ці дані проходять обробку на вузлі керування (і не тільки на ньому) та в узагальненому вигляді надаються адміністраторам мережі. (Зрозуміло, що адміністратори при потребі можуть отримувати і детальну інформацію щодо кожного параметру системи, що їх цікавить).

4.2. Багаторівневе представлення задач керування

Керування сучасними ТЛК-системами – одна з основних груп технологічних процесів, що впроваджені в експлуатаційну практику завдяки зусиллям як багатьох провідних ТЛК-корпорацій, так і міжнародних організацій, що регламентують діяльність у сфері телекомунікацій. Запропоновано кілька моделей систем керування ТЛК-системами, щодо котрих інтерес викликають, перш за все, такі категорії як архітектура та протоколи системи керування.

Одна з основних моделей керування складними ТЛК-системами є модель TMN (Telecommunication Management Network), що розроблена спільними зусиллями ITU-T (телекомунікаційне відділення Міжнародного союзу електрозв'язку, МСЕ-Т), ISO (міжнародна організація із стандартизації), ANSI (американський інститут із стандартизації) та ETSI (європейський інститут із стандартизації) і прийнята в якості міжнародного стандарту у сфері

управління телекомунікаційним обладнанням. Модель керування TMN створена у рамках концепції інформаційної взаємодії відкритих систем (OSI), що підтримується ISO. Модель TMN відображає складну інтегровану багаторівневу ієрархічну систему керування, що має мережну структуру. Проте її не завжди доцільно використовувати на практиці (вона є дуже складною та громіздкою, оскільки охоплює усю можливу множину архітектур ТЛК-систем). Тим не менш, концепція цієї моделі знайшла використання в задачах аналізу функціонування тих чи інших засобів та механізмів керування в телекомунікаціях. Тому вона має бути розглянута у рамках цієї навчальної дисципліни.

У рамках моделі TMN розроблено Рекомендацію ITU-T X.700 та міжнародний стандарт ISO 7498-4, згідно з якими уся сукупність задач керування поділена, перш за все, на п'ять функціональних груп. Декомпозиція функціональності керування виконана таким чином, що в кожную із цих груп увійшли задачі керування приблизно однакового функціонального призначення, а саме:

1) Керування конфігурацією параметрів ТЛК-обладнання та найменуванням (Configuration Management).

Конфігуруються параметри як окремих компонентів, так і ТЛК-системи у цілому. Визначаються мережні адреси, ідентифікатори (імена) об'єктів керування, їх географічне розташування тощо. Якщо ТЛК-система має мережну структуру, то вирішується задача побудови так званої мапи (карти) мережі, тобто відображення реальних зв'язків між елементами мережі, відображення на карті фізичних та логічних каналів, побудова таблиць комутації та маршрутизації. Побудова та підтримка у реальному часі мапи мережі вважається складною та відповідальною задачею. Її вирішення може здійснюватися у ручному, автоматичному (шляхом зондажу) та напівавтоматичному режимах. Методи побудови мапи зв'язків мережі – це фірмові розробки, які не знайшли широкого висвітлення у спеціалізованій літературі. Налаштування (настройка) комутаторів та маршрутизаторів на підтримку маршрутів та логічних віртуальних каналів – це те ж задача, що відноситься до функціональної групи Configuration Management.

2) Вияв та знешкодження збоїв та помилок у роботі ТЛК-

обладнання (Fault Management).

У рамках цієї функціональної групи задач виконується реєстрація помилок, повідомлення про помилки, фільтрація повідомлень (наприклад, надсилаються на адресу адміністратора тільки найбільш важливі повідомлення), маршрутизація повідомлень до необхідних підсистем системи керування, кореляційний аналіз виявлених помилок на основі певним чином вибраної кореляційної моделі з метою виявлення причин помилок. Вирішуються також проблеми невідповідності параметрів нормам, аналіз телекомунікаційних протоколів, діагностика та ремонт ТЛК-обладнання і т. ін..

3) Забезпечення продуктивності та надійності роботи ТЛК-обладнання (Performance Management).

Вирішуються задачі інженерії трафіка з метою підтримки заданих значень параметрів якості надання послуг (параметри QoS) та параметрів мережної досконалості (параметри NP), зокрема коефіцієнту готовності обладнання (інтегральний показник надійності обладнання) та коефіцієнту використання обладнання (інтегральний показник ефективності використання обладнання). До групи Performance Management відносяться також задачі побудови процедур резервування обладнання та задачі поточного контролю виконання положень укладених сервісних угод (SLA) і оперативного усунення виявлених порушень цих угод.

У процесі експлуатації ТЛК-системи накоплюється статистика щодо таких параметрів як час реакції системи, затримки у передаванні інформації, інтенсивність трафіку, коефіцієнт готовності обладнання тощо. Ці статистичні дані потрібні для прогнозування роботи системи та підготовки необхідних управлінських рішень щодо оптимізації її параметрів. Збір статистичних даних та їхня обробка також здійснюються у рамках вирішення задач Performance Management.

4) Підтримка прийнятої політики забезпечення захисту інформаційних ресурсів ТЛК-системи (Security Management).

До цієї функціональної групи відносяться, перш за все, задачі розмежування доступу до ресурсів ТЛК-системи, забезпечення цілісності даних, ідентифікації, автентифікації та авторизації суб'єктів та об'єктів доступу, фільтрації, тунелювання та

шифрування інформації, розподілу ключів шифрів.

Примітка 2. Для конкретних умов використання ТЛК-системи зазвичай розроблюється стратегія (політика) забезпечення захисту її інформаційних ресурсів. Однак на практиці трапляється, що штатні функції захисту інформації, котрі реалізовані у складі підсистеми керування не дозволяють забезпечити у повній мірі прийнятну політику інформаційної безпеки. У цьому випадку ТЛК-обладнання дооснащується закупними спеціалізованими продуктами захисту інформації.

5) Облік використаних ресурсів ТЛК-системи на визначених інтервалах часу (*Accounting Management*).

Реєстрація часу використання ресурсів мережі: каналів, маршрутизаторів, комутаторів тощо. Визначення плати за використані ресурси - **Білінг**.

Примітка 3. Якщо порівняти вищенаведений класифікатор функціональності керування (в котрому маємо п'ять функціональних груп) із класифікатором функціональності експлуатації, що був наданий у лекції №1 (де маємо 16 функціональних груп), то слід зробити висновок: задачі керування з точки зору їхньої функціональності є підмножиною задач експлуатації.

По-друге, у склад моделі TMN входить ще один класифікатор задач керування, однак вже не за ознакою функціональності, а за ступенем агрегованості (деталізації) елементів об'єкту керування. Зокрема, за цією ознакою прийнято наступне ієрархічне п'ятирівневе представлення задач керування: рівень елементів мережі, рівень управління елементами мережі, рівень керування всією мережею, рівень керування мережними послугами та рівень бізнес-керування. Як бачимо, в якості самого дрібного рівня агрегованості ТЛК-системи узято рівень її складових елементів (це можуть бути задачі підтримки найбільш дрібних елементів обладнання ТЛК-системи - наприклад індикаторних та (або) виконавчих механізмів, що інсталювані у складі комутатора, маршрутизатора, шлюзу тощо або задачі підтримки більш агрегованих елементів обладнання – комутаторів, маршрутизаторів, шлюзів тощо або, навіть, усього обладнання окремого вузлу ТЛК-мережі), а в якості найбільш агрегованого об'єкту керування пропонується розглядати бізнес-керування ТЛК-системою. Проміжні рівні агрегованості згідно цієї моделі керування – рівень управління елементом системи (це – задачі

управління механізмами комутатора або маршрутизатора або шлюзу або вузлового обладнання і т.ін.), рівень керування всією ТЛК-системою (це, як правило, задачі централізованого керування) та рівень керування наданням послуг (це – задачі служби QoS). Тобто, маємо розбивку (декомпозицію) усіх задач керування на п'ять функціональних груп, а для кожної групи - на п'ять рівнів агрегованості представлення елементів об'єкту керування. Візуально взаємозв'язок задач керування згідно з моделлю TMN нагадує піраміду, що представлена на рис. 4.1.



Рис. 4.1. Взаємозв'язок задач керування згідно з моделлю *TMN*

На рис.4.1 прийняті наступні позначки: 1 – управління конфігурацією; 2 – управління усуненням недоліків; 3 – управління якістю передавання; 4 – управління розрахунками; 5 – управління захистом інформації.

4.3. Архітектура систем керування

В основі архітектури систем керування сучасними ТЛК-системами, як правило, лежить так звана схема «менеджер - агент». Використання цієї схеми, а також відповідним чином побудованої моделі керованого об'єкту (МКО) дозволяє автоматизувати процес

керування.

Схема керування виду «менеджер - агент». Найбільш простий варіант архітектури автоматизованої системи керування представляється у вигляді сукупності двох підсистем – керуючої та керованої, що знаходяться між собою у стані постійної інформаційної взаємодії. Об'єкт, що підлягає керуванню, знаходиться у складі керованої підсистеми, а менеджер, тобто суб'єкт (людина) або об'єкт (автомат), що повинен приймати управлінські рішення та ініціювати команди відповідно до цілей керування, знаходиться у складі керуючої підсистеми. В якості керованого об'єкту може розглядатися будь-який елемент ТЛК-системи будь-якого рівня агрегованості. Цілеспрямоване керування може здійснюватися лише на основі певних знань про стан керованого об'єкту. Ці знання черпаються менеджером із моделі керованого об'єкту (МКО). МКО є спрощеним (точніше, - утисненим) відображенням реального об'єкту, що підлягає керуванню, оскільки у цій моделі відображаються лише ті і саме ті характеристики (параметри) реального об'єкту, що мають безпосереднє відношення до ефективності процесу керування. Характеристики керованого об'єкту у реальному масштабі часу, як правило, змінюються. Для того, щоб ці зміни адекватно відображалися у МКО, необхідно вимірювати показники характеристик керованого об'єкту і на основі отриманих результатів змінювати МКО синхронно із змінами його стану. В якості організатора вищеназваних процесів у реальному часі виступає представник менеджера, тобто його агент, котрий безпосередньо знаходиться у місці розташування керованого об'єкту і має змогу, з одного боку, підтримувати актуальність МКО, а з другого боку, виконувати команди, що надходять від менеджера. Таким чином, у складі керуючої підсистеми знаходиться менеджер, що у реальному часі отримує інформацію із МКО про стан керованого об'єкту і на основі цієї інформації приймає управлінські рішення. А інформацію для менеджера на стороні керованої підсистеми добуває (також у реальному часі) агент. Агент безпосередньо взаємодіє із всілякими фізичними давальниками та лічильниками, обчислювачами визначальних параметрів якості функціонування ТЛК-обладнання та якості

надання послуг, вимірювачами трафікових навантажень, виявлячами та фільтрувальниками системних подій, пороговими схемами та виконавчими механізмами, будь-якими іншими контролюючими та виконавчими механізмами, що здатні напряму контролювати роботу керованого об'єкту та змінювати його стан у бажаному напрямі згідно із цілями керування.

Більш конкретно принцип взаємодії менеджера з агентом під час керування будь-яким елементом ТЛК-системи будь-якого рівня агрегованості (іншими словами, під час керування будь-яким ресурсом ТЛК-системи) пояснюється за допомогою схеми, що відображена рис.4.2.

Як бачимо, поряд з агентом та менеджером у схему взаємодії включена також модель керованого об'єкту (МКО). МКО присутня на схемі як на стороні керованої підсистеми, так і на стороні керуючої підсистеми. Тобто, і менеджер і агент працюють із відображеннями однієї і тієї ж моделі керованого об'єкту. Проте у відображенні цієї моделі на різних сторонах схеми „менеджер – агент”, а також у використанні цієї моделі менеджером і агентом існують суттєві відмінності.

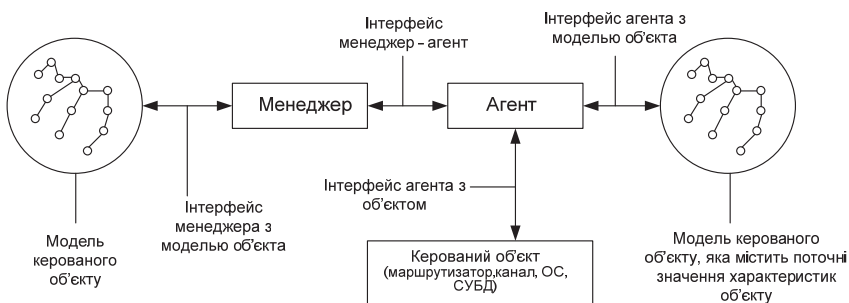


Рис.4.2. Схема взаємодії менеджера, агента та керованого об'єкту

Перш за все, важливо підкреслити, що у рамках архітектури керування за схемою „менеджер – агент” відображенням моделі керованого об'єкту є так звана база даних керуючої інформації (Management Information Base, MIB).

Відображення МКО на стороні керованої підсистеми назвемо базою MIB агента, а відображення МКО на стороні керуючої

підсистеми назвемо базою МІВ менеджера. База МІВ агента являє собою сукупності поточних значень показників характеристик керованого об'єкту, що були виміряні та, можливо, пройшли попередню обробку у реальному часі за допомогою спеціалізованих інструментальних засобів на стороні керованої підсистеми. Іншими словами, поточний стан керованого об'єкту відображається у базі МІВ агента у вигляді сукупностей поточних значень показників характеристик цього об'єкту. Саме тих показників, що використовуються у якості вихідних даних у задачах керування. Якщо керований об'єкт внаслідок будь-яких причин у реальному часі постійно змінює свій стан, то і база МІВ агента має знаходитись у стані постійного оновлення. Інформація щодо змін у стані керованого об'єкту заноситься у базу МІВ агента під безпосереднім керуванням цього агента з тим чи іншим інтервалом оновлення даних. Менеджеру же для ефективного керування у реальному масштабі часу (у відповідності із прийнятою стратегією або метою керування) необхідно володіти не усією поточною інформацією, що накопичується у базі МІВ агента, а тільки тою її частиною, що відображає реальний стан керованого об'єкту у моменти прийняття управлінських рішень. Тому база МІВ менеджера не є точною копією бази МІВ агента. Як правило, база МІВ менеджера – більш компактна, у ній зосереджується лише та інформація, що безпосередньо використовується для формування управлінських рішень. Зрозуміло, що ця інформація має бути якомога достовірнішою і не запізнілою з урахуванням швидкості змін характеристик керованого об'єкту. Нюанс полягає у тому, що дані у МІВ оновлюються агентом на стороні керованої підсистеми, в той час як менеджер користується даними МІВ на стороні керуючої підсистеми. Тому одне із завдань, що вирішується системою керування, - це синхронізація стану баз МІВ на обох сторонах схеми „менеджер – агент”. Вкрай бажано, щоб дані бази МІВ, якою користується менеджер, були у моменти прийняття управлінських рішень ідентичними даним бази МІВ, яка оновлюється на стороні агента. Проте зрозуміло, що досягнення ідеальної синхронізації стану вищеназваних баз даних не є можливим хоча б тому, що потрібен деякий час на їхню синхронізацію.

Таким чином, керування за схемою „менеджер – агент” полягає у наступному (див. рис. 4.2). Агент наповнює МІВ керованого об’єкту поточними значеннями його характеристик, а менеджер витягує із МІВ, що розташована на керуючій стороні, дані, що дозволяють йому приймати обґрунтовані управлінські рішення. Окрім того, менеджер може запитувати через агента значення параметрів, що знаходяться у МІВ агента, і передавати агенту інформацію, на основі котрої цей агент повинен безпосередньо керувати об’єктом. Отже, агент може розглядатися як посередник між керованим об’єктом та менеджером. Зрозуміло, що агент може поставляти менеджеру лише ті дані, що зберігаються у МІВ.

Менеджер та агент взаємодіють відповідно до стандартних протоколів, що називаються протоколами керування. Менеджер розміщується, зазвичай, на окремому комп’ютері (консолі адміністратора). Цей комп’ютер приєднується до обладнання, що потребує керування. Менеджер (зокрема, той, що функціонує у складі вузлу централізованого керування) може взаємодіяти одночасно з декількома агентами. Проте у загальному випадку у складі однієї системи керування може існувати кілька керуючих підсистем та декілька керованих підсистем. Малоймовірний, але можливий випадок, коли кілька керуючих підсистем взаємодіють з однією керованою підсистемою. Більш реалістичною виглядає ситуація, коли одна керуюча підсистема одночасно взаємодіє з декількома керованими підсистемами. У будь-якому разі взаємодія здійснюється відповідно до схеми „менеджер – агент”.

Наразі в експлуатації знаходиться широкий спектр різноманітного ТЛК-обладнання, що використовується у різноманітних умовах застосування. Тому і функціональні та інтелектуальні можливості агентів, що функціонують у рамках створених систем керування, можуть бути самими різними. Наприклад, примітивний агент здатний лише підраховувати кількість інформаційних блоків, що перетинають визначену точку контролю. У той час як інтелектуально розвинений агент здатний виконувати складні логічні дії, що пов’язані із автоматизацією побудови мапи мережі, оптимізацією маршрутів просування протокольних блоків даних, прогнозуванням поведінки трафікового навантаження, фільтрацією системних подій,

класифікацією виниклих помилок під час роботи обладнання і т.ін. Інтерфейси між агентами та керованим обладнанням – не стандартизовані (через велику кількість та різноманітність типів об'єктів, що потребують керування). Це суттєво утруднює створення універсальних засобів керування.

У більшості випадків на практиці агенти вбудовують напряму в апаратні та (або) програмні елементи керованого обладнання. Зрозуміло, що у цьому разі агентам необхідно присвоїти окремі мережні адреси та (або) забезпечити їх фізично або логічно виділеними портами, через котрі має здійснюватися їхня інформаційна взаємодія із менеджерами. Щодо менеджерів то вони реалізуються як програмними, так і спеціалізованими апаратними засобами. У разі централізованого керування вони входять до складу окремо виділених вузлів керування. Менеджери також можуть входити до складу засобів локального керування яким-небудь елементом ТЛК-мережі.

У випадках, коли безперервна робота системи керування не передбачається, агенти разом із управляючою програмою (тобто, менеджером) можуть інстальоватися локально на окремому переносному комп'ютері. У разі потреби цей комп'ютер приєднується до обладнання, що потребує керування.

Мережі внутрішньосмугового та позасмугового керування. Інформаційна взаємодія менеджерів з агентами може здійснюватися як через окремо виділені канали зв'язку, так і в загальному потоці інформаційних сигналів, спільних для користувачьких даних та сигналів керування. У цьому контексті розрізняють внутрішньосмугове керування (або керування типу In-band) та позасмугове керування (або керування типу Out-of-band). Якщо керуючі сигнали проходять через той же канал, що і користувачькі дані (наприклад, повідомлення протоколу керування, згідно з котрим взаємодіють агенти з менеджером, транспортуються тими ж каналами IP-мережі, що і пакети користувачів цієї мережі), то маємо справу із внутрішньосмуговим керуванням. Якщо ж менеджер вузлу керування контролює IP-маршрутизатор і взаємодіє із своїми агентами, що в нього вбудовані, через канали окремої спеціально виділеної мережі керування, то маємо справу із позасмуговим керуванням.

Зрозуміло, що на створення окремої мережі керування потрібні значні фінансові ресурси. Проте позасмугове керування є набагато більш надійнішим і захищеним від несанкціонованого доступу.

Схема „менеджер – агент” має застосування також і у тих випадках, коли необхідно побудувати розподілені системи керування. Наприклад такі, що відображені на рис.4.3 – 4.5.

Кожний агент, що відображений на цих рисунках, керує певним мережним елементом (NE, Network Element).

Виміряні поточні значення параметрів контрольованого NE агент поміщає у свою базу МІВ (на рисунках ці бази не відображені). Менеджери вилучають дані із баз МІВ своїх агентів, відповідним чином оброблюють їх і оброблені дані поміщають у свої бази даних, тобто у бази МІВ менеджерів. На основі цих даних менеджери у відповідності із своїми управляючими програмами, що закладені у їхню пам'ять, здійснюють процес автоматичного керування (і контролю) тими NE, що їм підпорядковані.

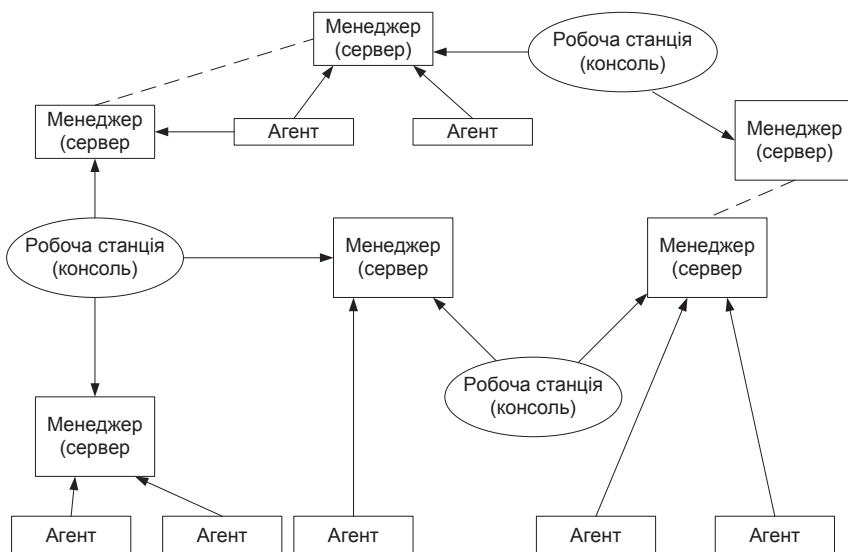


Рис.4.3. Розподілена система керування на базі кількох менеджерів та робочих станцій

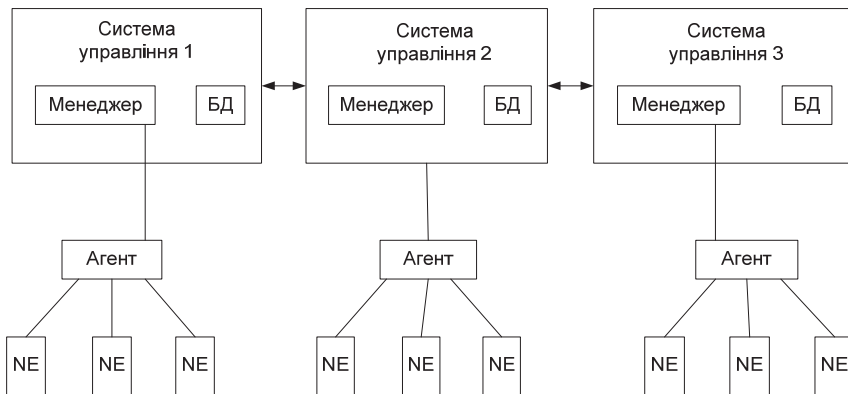


Рис.4.4. Однорангові зв'язки між менеджерами

Адміністратори ТЛК-системи, що працюють за клавіатурами робочих станцій, мають можливість підключитися до будь-якого менеджера (або до кількох менеджерів одразу) і за допомогою графічного інтерфейсу оглянути дані щодо поточного стану об'єкту керування, а також видати менеджерам певні директиви з метою оптимізації роботи цього об'єкту або його окремих елементів. Включення у систему керування кількох менеджерів дозволяє розділити між ними навантаження із обробки даних керування та забезпечити масштабованість системи. Здебільшого використовуються два типи зв'язків між менеджерами – одноранговий та ієрархічний.

У випадку однорангових зв'язків (див. рис.4.4) маємо децентралізовану систему керування. Кожен із менеджерів вирішує свою групу управлінських завдань і користується інформацією тільки від тих агентів, що йому підпорядковані. Менеджери є незалежними один від одного, а координація їхньої роботи досягається за рахунок обміну інформацією між базами даних менеджерів.

Ієрархічна структура зв'язків між менеджерами, що відображена на рис. 4.5, є більш гнучкою. Гнучкість забезпечується тим, що кожен менеджер більш низького рівня у той же час виконує функції агента для менеджера більш вищого рівня. Як наслідок, у бази МІВ менеджерів більш вищих рівнів заноситься тільки та інформація, котра вже цілеспрямовано оброблена менеджерами

більш низьких рівнів. Це підвищує якість та гнучкість керування, а також суттєво скорочує обсяги інформації, що циркулює між різними рівнями системи керування.

Система управління мережею. Схема „менеджер – агент” лежить в основі найбільш поширених стандартів мережного керування на основі протоколів SNMP та CMIP. Міжнародні організації ISO та ITU-T у рамках моделі TMN підтримують протокол керування CMIP (Common Management Information Protocol), що придатний для використання при побудові системи керування ТЛК-системою будь-якого ступеню складності. CMIP – це повнофункціональний спеціалізований протокол, орієнтований на керування великими територіально розгалуженими ТЛК-системами (тобто, ТЛК-мережами). Проте протокол CMIP є дуже складним у реалізації. Тому для керування не дуже складними і не дуже великорозмірними ТЛК-системами застосовують більш прості протоколи. Одним із таких простих протоколів, що широко використовуються для керування мережами Інтернет є протокол SNMP (Simple Network Management Protocol).

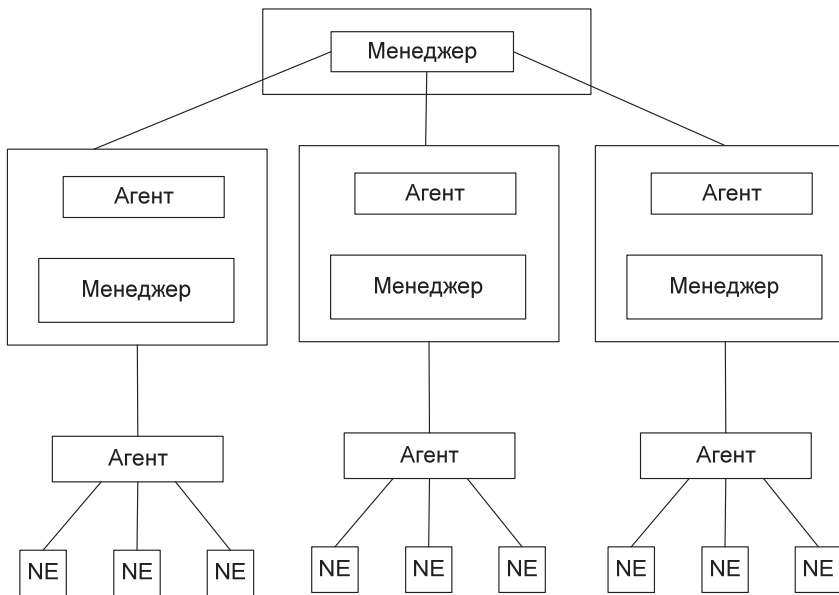


Рис.4.5. Ієрархічні зв'язки між менеджерами

4.4. Стандарти протоколу керування SNMP

Основна перевага протоколу керування SNMP – це його простота. Що і обумовило його поширеність, популярність та довготривалість застосування, особливо в мережах, що побудовані на стеку протоколів TCP/IP.

Примітиви протоколу SNMP. SNMP – це протокол прикладного рівня, що реалізує схему керування типу „менеджер – агент”, тобто на кожний запит, що надійшов від менеджера у формі команди, агент має сформулювати та передати відповідь. Протокол дозволяє оперувати менеджеру та агенту усього із кількома командами, а саме:

1) команда Get-request («отримай запит») використовується менеджером для отримання від агента значень показників певного об'єкту за його іменем;

2) команда GetNext-request («отримай наступний запит») використовується менеджером для отримання від агента відповіді щодо значень показників наступного об'єкту у випадках, коли здійснюється послідовний перегляд таблиці об'єктів;

3) команда Get-response («отримай відповідь») – відповідь агента, що надсилається на адресу менеджера, як реакція на команду Get-request або GetNext-request;

4) команда Set («установити») дозволяє менеджеру встановлювати або змінювати значення показника якогось об'єкту, а також задавати умови, у разі виконання котрих агент повинен надіслати менеджеру відповідне повідомлення (зокрема, за допомогою цієї команди менеджер може отримати інформацію про такі системні події, як втрата зв'язку, відновлення зв'язку, некоректна автентифікація, рестарт агента, розірвання віртуального каналу тощо: якщо виникає будь-яка із названих подій, то агент ініціалізує відповідне переривання процесу функціонування обладнання, яке фіксується менеджером);

5) команда Trap («зловлено») використовується агентом для повідомлення на адресу менеджера про виникнення особливої події;

6) команда GetBulk дозволяє менеджеру запитувати кілька значень показника певного об'єкту або кількох об'єктів (ця команда у першій версії протоколу SNMP – відсутня).

Зрозуміло, що у будь-якому разі агент повинен „розуміти” імена об’єктів, що він отримує від менеджера, і на основі цих даних здійснювати реальні керуючі впливи – переключати порти, активізувати канали, запускати процеси авторизації і т.ін.

У загальному випадку бажано формалізувати наступні аспекти функціонування схеми «менеджер - агент»:

- протокол взаємодії агента з менеджером;
- інтерфейс «агент-керований ресурс»;
- інтерфейс «агент-модель керованого ресурсу»;
- інтерфейс «менеджер-модель керованого ресурсу»;
- довідкова служба щодо розташування агентів та менеджерів;
- мова опису моделей керованих ресурсів, тобто мова опису бази *MIB*;
- дерево наступництва, що дозволяє будувати нові моделі на основі більш узагальнених моделей;
- дерево включення, що відображає взаємозв’язок між елементами реальної системи.

Однак із усіх цих аспектів функціонування схеми «менеджер - агент» у рамках протоколу SNMP стандартизовано лише необхідний мінімум: протокол взаємодії «агент-менеджер», абстрактну мову опису бази *MIB* (так звану мову абстрактної синтаксичної нотації *ASN.1*, що підтримується рекомендацією МСЕ-Т Х.208) та конкретні версії наступних чотирьох моделей бази *MIB* – *MIB-1*, *MIB-2*, *RMON* та *RMON2*. Щодо цих моделей то стандарти визначають лише структуру баз *MIB*, набір типів та імен їхніх об’єктів, а також дозволені операції над ними. Усе інше – не стандартизовано, і, отже, має розроблюватися виготовлювачами засобів SNMP за власним розсудом.

Структура SNMP MIB. У рамках протоколу керування SNMP наразі стандартизовано наступні моделі бази *MIB*:

- 1) *MIB1* та *MIB2* – для використання в задачах локального керування за схемою „менеджер – агент”;
- 2) *RMON* та *RMON2* для використання в задачах віддаленого керування;
- 3) спеціалізовані *MIB* для ТЛК-обладнання конкретного типу (для концентраторів, для модемів і т. ін.);
- 4) бази *MIB* конкретних постачальників ТЛК-обладнання.

Модель бази MIB1 – це найбільш спрощена модель бази MIB. Вона припускає користування лише командами Get-request та Get-response. Ця модель розроблювалася з метою її використання для керування пакетними комутаторами та маршрутизаторами, що реалізують стек протоколів TCP/IP. Специфікація MIB1 (в інтерпретації Комісії із регулювання зв'язку США RFC 1156) визначає 114 стандартних об'єктів, що поділені на наступні вісім груп:

1) група System – загальні дані про обладнання, що підлягає керуванню (наприклад, ідентифікатор постачальника обладнання, номер версії ПЗ, момент останньої ініціалізації тощо).

2) група Interfaces – характеристики інтерфейсів обладнання (зокрема, їхня кількість, назва, типи, інтенсивність та інші параметри інформаційних потоків, що через них проходять, тощо).

3) група Address Translation Table – ідентифікація параметрів відповідності між мережними та фізичними адресами, зокрема згідно з протоколом ARP.

4) група Internet Protocol – дані протоколу IP (IP-адреси шлюзів, хостів, серверів, статистичні дані проходження пакетів IP через ту чи іншу точку контролю тощо).

5) група ICMP – дані протоколу обміну керуючими повідомленнями ICMP.

6) група TCP – дані про TCP-з'єднання.

7) група UDP – дані про UDP-дейтаграми (їх кількість, що прийнята з помилками, що втрачена і т.ін.).

8) група EGP – дані протоколу EGP.

Модель бази MIB2 – є подальшим удосконаленням моделі MIB1. Специфікація MIB2 (в інтерпретації RFC 1213) визначає 185 стандартних об'єктів, що поділені на 10 груп.

Як база MIB1, так і база MIB2 мають деревоподібну структуру. Для прикладу на рис. 4.6 показана деревоподібна структура двох (із 10 можливих) груп стандартних об'єктів бази MIB2, а саме: група об'єктів System та група об'єктів Interfaces. Імена об'єктів групи System починаються із префікса Sys, а групи Interfaces – із префікса If.

Розглянемо значення стандартних об'єктів, що показані на рис.4.6. Об'єкт SysUpTime із групи System містить значення

тривалості часу роботи керованої системи, починаючи із моменту останнього перезавантаження. Об'єкт SysDescr містить опис керованої системи. Об'єкт SysObjectID - це ідентифікатор одного із керованих пристроїв (наприклад, шлюзу). Група об'єктів Interfaces представлена двома підгрупами об'єктів: IfTable та IfNumber. Об'єкт IfTable визначає усі стандартні об'єкти одного із конкретних інтерфейсів керованої системи, що представляються у табличній формі. Об'єкт IfEntry визначає вхід до множини цих таблиць, тобто є вершиною піддерева таблиць, що описують цей інтерфейс.

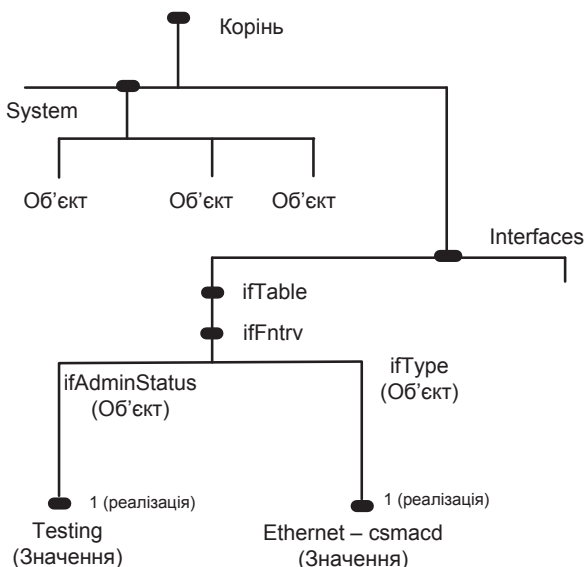


Рис.4.6. Стандартне дерево об'єктів бази MIB2

Піддерево IfTable складається із двох гілок: IfAdminStatus та IfType, котрі визначають відповідно стан та тип у даному випадку інтерфейса Ethernet. Стандартні об'єкти, що входять до складу цих гілок, мають наступні значення:

IfType – визначає тип протоколу, що підтримується інтерфейсом (у даному випадку інтерфейсом Ethernet). Цей об'єкт може приймати значення будь-якого із інтерфейсів каналного рівня, наприклад Ethernet-csmacd, rfc877-x25, iso88025-tocenRing і т. ін.;

IfMtu – визначає максимальний розмір мережного пакету, що може бути переданий через цей інтерфейс;

IfSpeed – пропускна здатність інтерфейса, що вимірюється у мегабітах за секунду;

IfPhysAddress – фізична адреса порта (для протоколів Ethernet – це MAC-адреса);

IfAdminStatus – визначає стан порта щодо готовності функціонувати у штатних режимах (up - готов передавати пакети, down - не готов передавати пакети, testing - знаходиться у режимі тестування);

IfOperStatus – визначає поточний стан порта та має ті ж самі значення параметрів, що і об'єкт IfAdminStatus;

IfInOctets – загальна кількість байтів (включаючи службові), що прийнята портом з моменту останньої ініціалізації SNMP-агента;

IfInUcasPkts – кількість пакетів з індивідуальною адресою порта даного інтерфейсу, що були доставлені протоколу верхнього рівня;

IfInNUcasPkts – кількість пакетів з груповою або широкомовною адресою порта даного інтерфейсу, що були доставлені протоколу верхнього рівня;

IfInDiscards – кількість коректно прийнятих пакетів, але не доставлених протоколу верхнього рівня (зокрема, через переповнення буферу пакетів);

IfInErrors – кількість пакетів, що були прийняті з помилками і тому не переданих протоколу верхнього рівня.

Підкреслимо, що поряд з об'єктами, що відображають статистику роботи контрольованого інтерфейсу щодо вхідних пакетів структура бази MIB2 передбачає також стандартизацію аналогічних об'єктів щодо вихідних пакетів.

Аналізуючи структуру бази MIB2, можливо стверджувати, що вона за багатьма аспектами не дає детального опису контрольованого об'єкту. Зокрема, вона не дає детальної статистики щодо помилок у кадрах Ethernet (що вкрай важливо для системного адміністратора). Окрім цього, вона не відображає у наглядній формі зміни у параметрах контрольованого об'єкту у реальному часі. Ці недоліки були усунені завдяки уведенню в дію стандарта RMON MIB, котрий спеціально був орієнтований на збирання детальної статистики про роботу протоколу Ethernet.

Зокрема можливості RMON MIB передбачають побудову часових залежностей значень параметрів протоколу Ethernet.

Для ідентифікації об'єктів бази RMON MIB та визначення формату їхнього представлення уведена специфікація структури керуючої інформації, що називається SMI (Structure of Management Information). Наприклад, для найменування адреси IP обрано ім'я IpAddress, а формат цього стандартного об'єкту визначено як рядок довжиною 4 байти. Різного роду лічильники іменуються як Counter, для котрих задається формат у вигляді цілого числа у діапазоні від 0 до 232 -1. Імена змінних можуть представлятися як у символьних, так і у числових форматах. Наприклад, символьному імені SysDescr відповідає складове число (тобто, число, що складається через крапки із певної кількості цілих чисел) 1.3.6.1.2.1.1.1. Символьний формат використовується для представлення змінних у текстових документах та на екранах моніторів, а числовий формат – у повідомленнях протоколу SNMP. Корисно знати, що розробники протоколу SNMP зареєстрували стандартні об'єкти MIB не в якості стандартів Інтернет (котрі публікуються як документи RFC), а в якості стандартів ISO. Складове числове ім'я об'єкту MIB SNMP відповідає імені цього об'єкту у так званому всесвітньому дереві реєстрації об'єктів, що стандартизоване ISO. Це дерево показано на рис.4.7. DoD?

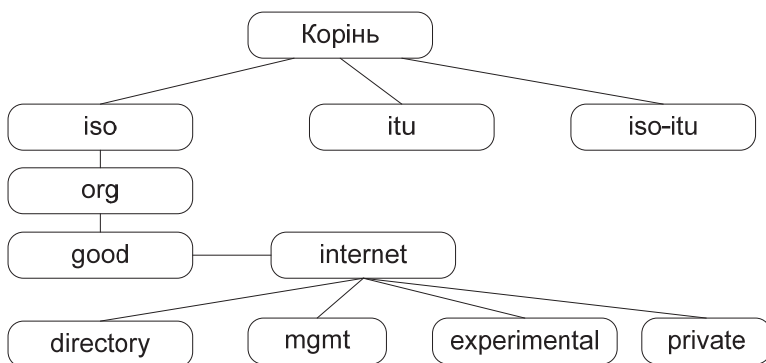


Рис. 4.7. Простір імен стандартизованих об'єктів ISO

На рис. 4.7 відображена лише частина верхньої частини

всесвітнього дерева стандартних імен ISO. Однак це дозволяє визначити повне числове ім'я об'єкту MIB. Як бачимо на рис. 4.7, від кореня дерева відходять три гілки, що відповідають стандартам ISO, ITU та спільним стандартам ISO/ITU. У свою чергу, організація ISO створила гілку org для стандартів, що розроблені національними та іншими (окрім ISO) міжнародними організаціями із стандартизації. У цю гілку входить підгілка DoD – стандартів, що створювались під егідою Міністерства оборони США (Department of Defence, DoD). Стандарти Інтернет розроблювались під егідою цього міністерства. Тому група стандартів керування мережами Інтернет має повне символічне ім'я ISO.org.DoD.Internet.mgmt, а повне символічне ім'я об'єкту MIB - ISO.org.DoD.Internet.mgmt.MIB. Символьні імена об'єктів надаються у стандартах ISO. Проте у повідомленнях протоколу SNMP використовуються не символічні імена, а числова форма їхнього представлення. Для знаходження відповідності між символічними та числовими формами представлення імен слід пам'ятати, що у дереві імен ISO кожна гілка нумерується цілими числами зліва направо. Якщо б на рис.4.7 було представлено у повній мірі дерево стандартних імен, то було б легко визначити, що повному символічному імені об'єкта MIB відповідає повне числове ім'я 1.3.6.1.2.1.

Група об'єктів private зареєстрована за стандартами недержавних корпорацій, таких як Cisco, Nortel і т.п.

Важливо знати, що це ж саме дерево реєстрації імен ISO використано для найменування стандартних об'єктів протоколів SMIP та TMN.

Формат SNMP-повідомлень. Протокол SNMP, що обслуговує процес передавання повідомлень між агентами та менеджерами, використовує ненадійний дейтаграмний спосіб транспортування службових пакетів, заснований на протоколі UDP. Керуюча інформація, що передається каналами IP у вигляді дейтаграмних повідомлень, може легко загубитися або бути перехопленою чи модифікованою несанкціонованою особою, що не має повноважень на право керування ГЛК-системою. З іншого боку, в умовах такого простого способу передавання ресурси керованого об'єкту не завантажуються необхідністю обробки великої кількості службової

інформації, що мало б місце, якщо б для транспортування службових пакетів використовувався стек протоколів TCP/IP. У кінці 80-х років минулого сторіччя (коли розроблювалися протоколи SNMP) ТЛК-обладнання було не таке продуктивне, як зараз, і застосування протоколу TCP для цих цілей з економічної точки зору було невиправданим.

Формат SNMP-повідомлень не передбачає заголовків із фіксованими полями та складається із довільної кількості службових полів. Кожне поле починається із опису його типу та розміру. Будь-яке SNMP-повідомлення розбивається на три частини: версії протоколу, ідентифікатора спільності та області даних.

Ідентифікатор спільності (community string) використовується для групування пристроїв, що мають керуватися певним менеджером. Цей ідентифікатор фактично є аналогом паролю, оскільки для того, щоб певна група пристроїв мала можливість взаємодіяти згідно з протоколом SNMP, усі ці пристрої повинні мати одне і те ж значення ідентифікатора спільності. За умовчанням цей ідентифікатор має значення public.

Область даних (data) містить інформацію про команди протоколу SNMP (ті, що були розглянуті вище), зокрема імена їхніх об'єктів (із бази MIB) та конкретні значення параметрів цих об'єктів. В області data містяться один або кілька протокольних блоків даних (protocol data unit, PDU). Кожний із цих PDU може відноситися до одного із п'яти можливих типів PDU. У свою чергу, кожен тип PDU узгоджений за форматом із відповідною командою протоколу SNMP: Get-request-PDU, GetNext-request-PDU, Get-response-PDU, Set-PDU, Trap-PDU. Наприклад, формат блоку Get-request-PDU включає у себе такі поля як ідентифікатор запиту, статус помилки (вона є чи її немає), індекс помилки (тобто, тип помилки, якщо вона виникла), список імен об'єктів MIB SNMP, що включені до запиту.

На рис.4.8 в якості прикладу показано повідомлення протоколу SNMP, що представляє собою запит про значення об'єкту SysDescr (його повне числове ім'я – 1.3.6.1.2.1.1.1).

1	30	22	02	01	00			
	SEQUENCE	lon=41	INTEGER	lon=1	vers=0			
2	04	06	70	75	62	60	69	63
	string	lon=6	P	u	b	l	i	c
3	A0	1C	02	04	05	AE	56	02
	getreq	lon=26	INTEGER	lon=4	----	requested ID	---	---
4	02	01	00	02	01	00		
	INTEGER	lon=1	Status	INTEGER	lon=1	emor	index	
5	30	0E	30	0C	08	08		
	SEQUENCE	lon=14	SEQUENCE	lon=12	objectid	lon=8		
6	28	06	01	02	01	01	01	00
	1,3	6	1	2	1	1	1	0
7	05	00						
	null	lon=0						

Рис.4.8. Приклад повідомлення протоколу *SNMP*

Як бачимо із рис. 4.8, це повідомлення складається із семи рядків кодових слів. Під кожним кодовим словом наведений його символічний аналог (так що на рис.4.8 усього маємо чотирнадцять рядків). Повідомлення слід читати зліва направо (спочатку перший рядок, потім другий рядок і т.д.). Повідомлення починається із кодового слова 30 (усі коди – шістнадцятирічні), що відповідає ключовому слову SEQUENCE (послідовність). Це означає, що повідомлення складається не з одного поля, а з певної послідовності полів. Довжина послідовності вказується у наступному байті. Це кодове слово 22 (бачимо, що ця довжина дорівнює 41 байту). Далі вказується версія протоколу SNMP, тобто використовується специфікація MIB1 чи MIB2. Для цього спочатку наводиться код (02) слова INTEGER (тобто, далі буде ціле число). Вказується (01), що цьому числу виділяється один байт. І далі безпосередньо вказується версія MIB протоколу SNMP: якщо

vers=0 (як вказано у таблиці), то маємо справу із MIB1; якщо було б вказано vers=1, то ми мали б справу із MIB2. Далі читаємо другий рядок повідомлення. Код 04 означає, що поле ідентифікатора спільності має тип string (тобто, рядок) довжиною (код 06) 6 байт з ключовим словом public. Далі читаємо третій рядок повідомлення. З нього починається протокольний блок даних типу Get-request-PDU. Те, що маємо справу саме із командою Get-request говорить код A0 (його символічний аналог вказаний у таблиці безпосередньо знизу цього коду, тобто слово getreq). Далі бачимо, що довжина цього PDU складає 28 байтів (якщо рахувати також перші два байти заголовка цього PDU). Далі йдуть два кодових слова 02 та 04, що означає виділення чотирьох байтів для цілого числа. Це ціле 4-х байтове число має значення 05 AE 56 02. Символьна розшифровка цього числа означає поле ідентифікатору запиту. Далі у четвертому рядку повідомлення бачимо два одnobайтових цілих числа, що означають відповідно статус та індекс помилки. Вони встановлені у нуль. Це значить, що помилка не виявлена. Починаючи з п'ятого рядка, маємо список імен об'єктів, значення котрих запитуються командою Get-request. Цей список у даному випадку складається із однієї змінної, що має числове ім'я 1.3.6.1.2.1.1.1.0, що відповідає символічному імені групи об'єктів SysDescr. Ознака null (якій відповідає числове ім'я 05) означає кінець повідомлення.

*Модель бази **RMON MIB**.* До появи специфікацій бази RMON MIB протокол SNMP використовувався лише у цілях локального адміністрування ТЛК-обладнання, що підтримувало протоколи стеку TCP/IP. Специфікації RMON (Remote Maintenance and Operation Network) розширили функціональні можливості протоколу SNMP, дозволяючи здійснювати віддалену взаємодію з базою MIB і не тільки в мережах TCP/IP. База RMON MIB містить агреговану інформацію щодо керованого пристрою і тому не потребує передавання через мережу великих обсягів службової інформації. Специфікації RMON MIB у порівнянні із MIB1 або MIB2 визначають додаткові стандартні об'єкти. Зокрема, такі як додаткові лічильники помилок у пакетах, більш гнучкі засоби аналізу трендів і статистичних даних, більш продуктивні засоби фільтрації для захоплення та аналізу окремих пакетів, а також

більш деталізовані умови встановлення порогів для формування сигналів тривожної сигналізації. Агенти RMON у порівнянні із агентами MIB1 або MIB2 мають більш високий рівень інтелектуальних можливостей, що дозволяє їм брати на себе значний обсяг обчислювальних робіт і, тим самим, розвантажувати ресурси менеджерів. На практиці обладнання агентів монтується у складі керованих об'єктів (комутаторів, маршрутизаторів, шлюзів тощо) або виконується у вигляді окремих програмних модулів, що завантажуються у ПК або ноутбуки.

Стандартному об'єкту RMON у наборі об'єктів MIB присвоєно номер 16, котрий, у свою чергу, об'єднує близько 200 об'єктів, котрі об'єднані у 10 груп об'єктів більш низького рівня у деревоподібній структурі об'єктів цієї бази. Специфікації цих груп об'єктів відрізняються від розглянутих вище специфікацій груп об'єктів бази MIB2 і виглядають наступним чином:

1) Statistics (1) – поточні накопичені поточні дані про характеристики пакетів, кількості колізій і т. ін.;

2) History (2) – статистичні дані, що зібрані через визначені проміжки часу і зберігаються для наступного аналізу тенденцій у їхніх змінах;

3) Alarms (3) – порогові значення статистичних показників, при перевищенні котрих агенти мають надсилати відповідні повідомлення на адресу менеджерів;

4) Hosts (4) – дані про мережні хости та їхні MAC-адреси;

5) Host TopN (5) – таблиця найбільш завантажених хостів мережі;

6) Traffic Matrix (6) – матриця завантаженості каналів між кожною парою хостів у мережі;

7) Filter (7) – умови фільтрації пакетів;

8) Packet Capture (8) – умови захоплення пакетів;

9) Event (9) – умови реєстрації та генерації подій;

10) Token Ring (10) - спеціальні об'єкти протоколу Token Ring.

Порядок визначення числових імен об'єктів MIB розглядався раніше. Наприклад, числове ім'я групи Hosts має вигляд 1.3.6.1.2.1.16.4.

Специфікації RMON MIB зафіксовані у двох документах: RFC 1271 (для мереж Ethernet) та RFC 1513 (для мереж Token Ring).

Розглянемо більш детально групу Statistics, що визначає, яку саме інформацію здатний предоставити агент RMON щодо кадрів Ethernet (у специфікаціях RFC ці кадри називаються пакетами). Звернемо увагу, що група History заснована на об'єктах групи Statistics, оскільки об'єкти групи History призначені для побудови часових рядів об'єктів групи Statistics.

У групу Statistics входять наступні об'єкти:

- etherStatsDropEvents – загальна кількість подій, коли пакети були проігноровані агентом через дефіцит його ресурсів (при цьому самі ці пакети, можливо, коректно просунулись через інтерфейс);

- etherStatsOctets – загальна кількість прийнятих байтів (тобто, усіх байтів, що пройшли через визначену точку контролю, за виключенням преамбули; байти полів контрольних сум та помилкових пакетів враховуються);

- etherStatsPkts – загальна кількість отриманих пакетів (у т.ч., помилкових);

- etherStatsBroadcastPkts – загальна кількість коректно прийнятих ширококомовних пакетів;

- etherStatsMulticastPkts – загальна кількість коректно прийнятих пакетів за груповою адресою;

- etherStatsCRCAlignErrors – загальна кількість отриманих пакетів, що мали невірну контрольну суму;

- etherStatsUndersizePkts – загальна кількість отриманих пакетів, що мали неприпустимо малу довжину (тобто, були меншими, ніж 64 байти);

- etherStatsOversizePkts – загальна кількість отриманих пакетів, що мали неприпустимо велику довжину (тобто, були довшими, ніж 1518 байтів);

- etherStatsFragments – загальна кількість невірно отриманих пакетів (тобто, вони або склалися не із цілого числа байтів, або мали невірну контрольну суму, або мали неприпустимо малу довжину);

- etherStatsJabbers – загальна кількість невірно отриманих пакетів (тобто, вони або склалися не із цілого числа байтів, або мали невірну контрольну суму, або мали неприпустимо велику довжину);

- etherStatsColizations – найбільш ймовірна кількість колізій, що мали місце у контрольованому сегменті Ethernet;
- etherStatsPkts64Octets – загальна кількість отриманих пакетів (у т.ч., помилкових) розміром 64 байти;
- etherStatsPkts65to127Octets – загальна кількість отриманих пакетів (у т.ч., помилкових) розміром від 65 до 127 байтів;
- etherStatsPkts128to255Octets – загальна кількість отриманих пакетів (у т.ч., помилкових) розміром від 128 до 255 байтів;
- etherStats256to511Octets – загальна кількість отриманих пакетів (у т.ч., помилкових) розміром від 256 до 511 байтів;
- etherStats512to1023Octets – загальна кількість отриманих пакетів (у т.ч., помилкових) розміром від 512 до 1023 байтів;
- etherStats1024to1518Octets – загальна кількість отриманих пакетів (у т.ч., помилкових) розміром від 1024 до 1518 байтів.

Як бачимо із вищенаведеного, за допомогою агента RMON, вбудованого у будь-який засіб пакетної комутації, існує можливість здійснити тонкий аналіз роботи сегменту Ethernet. Спочатку можливо отримати дані щодо типів виниклих помилок у кадрах. Потім побудувати залежності інтенсивності цих помилок у часі (для цього використати об'єкти групи History). За результатами аналізу часових залежностей з'явиться можливість зробити певні попередні висновки щодо подальших дій із пошуку джерела виниклої проблеми і сформулювати більш тонкі і деталізовані умови захоплення кадрів. Специфічні ознаки цих умов є можливим задати за допомогою об'єктів групи Filters. Після відповідної фільтрації кадрів відкривається можливість провести ще більш тонкий аналіз проблеми шляхом вивчення захоплених (за допомогою групи Packets Capture) кадрів.

Таким чином, застосування моделі RMON MIB дозволяє вирішувати широкий спектр задач керування об'єктами телекомунікаційної техніки. Проте слід зазначити, що на сьогоднішній день стандартизовано удосконалений варіант цієї моделі під назвою RMON2. Удосконалення дозволили розповсюдити функціональність RMON MIB на протоколи верхніх рівнів (тобто, не тільки на кадри Ethernet.). От же обладнання, що реалізує специфікації RMON2, є здатним виконувати функції сучасних аналізаторів протоколів.

4.5. Недоліки протоколу SNMP

Протокол знайшов широке застосування у сучасних системах керування ТЛК-обладнанням. Проте через притаманні йому принципів недоліки він не є основним засобом керування об'єктами телекомунікаційної техніки. Слід вказати на два основних недоліки цього протоколу: орієнтованість на використання ненадійного транспортного протоколу UDP (на що вже зверталась увага) та відсутність засобів взаємної автентифікації агентів із менеджерами.

Єдиним стандартизованим механізмом протоколу SNMP будь-яких версій, котрий лише умовно можливо віднести до засобу автентифікації, слід вважати так званий рядок спільності (community string) у форматі повідомлень SNMP. Цей ідентифікатор, як вже вказувалось, слугує основою для об'єднання агентів і менеджерів: агент взаємодіє лише з тими менеджерами, що мають із ним однаковий рядок спільності. На жаль, цей рядок передається каналами мережі у відкритій формі і, отже, не забезпечує прийнятний рівень інформаційної безпеки. Деякі розробники засобів SNMP MIB2 доповнили функціональність цього протоколу додатковими механізмами автентифікації, проте вони не є стандартизованими і тому не обов'язкові для реалізації.

Щодо роботи через ненадійний протокол UDP, то, на жаль, він є джерелом неякісного адміністрування ТЛК-обладнання, зокрема його застосування призводить до загублень службових пакетів в каналах взаємодії агентів з менеджерами, не говорячи вже про те, що ці пакети являються легкою здобиччю всілякого роду зловмисників та хакерів. Протокол SNMP є дуже простий у реалізації, на його основі розроблено безліч різноманітних агентів. Тому від цього протоколу ТЛК-оператори не поспішають відмовлятися. Робляться спроби його удосконалення таким чином, щоб ці удосконалення не торкались роботи агентів. Зокрема у системі керування HP OV Telecom DM TMN (це одна із основних сучасних платформ, що використовується для створення багаторівневих систем адміністрування у рамках стандартів ISO) механізми протоколу SNMP удосконалені таким чином, що загублені службові пакети відновлюються за рахунок їхньої повторної передачі. Однак в багатьох випадках використання ТЛК-

обладнання функціональність протоколу SNMP не є достатньою. Тому за допомогою протоколу SNMP у сучасних телекомунікаціях вирішується лише обмежене коло локальних завдань адміністрування. У відповідальних випадках транспортування службових пакетів із керуючою інформацією здійснюють за допомогою більш надійних транспортних протоколів із установленням з'єднань. Зокрема, використовують протокол TCP. Якщо ж виникає потреба забезпечити не тільки надійність передавання службових пакетів, але ще і їхню захищеність від несанкціонованого доступу (НСД) з боку неавторизованих осіб або процесів, то між агентами та менеджерами утворюють так звані захищені канали (фізичні або логічні), а самі службові пакети шифрують за допомогою сучасних методів криптографії.

Контрольні питання до четвертої лекції

1. Які системи керування називають централізованими ?
2. Що таке локальні механізми керування ?
3. Що таке вузол керування ?
4. Надайте узагальнену характеристику моделі керування TMN?
5. Як структурується сукупність задач керування згідно стандарту ISO 7498-4 ?
6. Надайте характеристику групі задач Configuration Management.
7. Надайте характеристику групі задач Fault Management.
8. Надайте характеристику групі задач Performance Management.
9. Надайте характеристику групі задач Security Management.
10. Надайте характеристику групі задач Accounting Management.
11. Що таке білінг ?
12. Надайте характеристику схемі керування типу «менеджер - агент».
13. Що таке модель керованого об'єкту у схемі «менеджер - агент» ?
14. Що таке база МІВ у схемі «менеджер - агент» ?
15. Чим відрізняються мережі внутрішньосмугового керування від мереж позасмугового керування ?
16. Чим відрізняється одноранговий тип зв'язків між

менеджерами від ієрархічного ?

17. Які протоколи керування підтримує ISO/ITU-T у рамках моделі TMN?

18. Яка основна перевага протоколу керування SNMP ?

19. Назвіть примітиви протоколу SNMP.

20. Надайте характеристику структурі SNMP MIB.

21. Надайте характеристику моделі бази MIB1.

22. Надайте характеристику моделі бази MIB2.

23. Який формат SNMP-повідомлень ?

24. Надайте характеристику моделі бази MIB RMON.

25. Назвіть недоліки протоколу SNMP ?

Література до четвертої лекції

1) Рекомендація МСЕ-Т М.60. Терміни та визначення, що відносяться до технічної експлуатації.

2) В.Г. Оліфер, Н. А.Оліфер. Комп'ютерні мережі. Принципи, технології, протоколи: Посібник для вузів. Друге видання – СПб.: Питер, 2003. Розділ 20, стор. 791 – 815.

3) Рекомендація МСЕ-Т М.3010. Принципи організації мережі керування електрозв'язком (TMN).

4) Рекомендація МСЕ-Т М.3200. Огляд послуг керування мережі TMN.

5) Рекомендація МСЕ-Т М.3400. Функції керування мережею TMN.

МОДУЛЬ №2. ТЕХНОЛОГІЇ ВИМІРЮВАНЬ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ПАРАМЕТРІВ ТЛК-ОБЛАДНАННЯ

ЛЕКЦІЯ №5. ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ ЩОДО ВИМІРЮВАНЬ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ПАРАМЕТРІВ ТЛК- ОБЛАДНАННЯ

Розглядаються наступні питання:

5.1. Загальна характеристика технологій вимірювань параметрів обладнання

5.2. Вибір технологій вимірювань для вирішення експлуатаційних завдань

5.3. Класифікатор технологій вимірювань

5.4. Методики вимірювань

5.5. Обробка, оформлення та подання результатів вимірювань

Самостійне заняття. Методи представлення сигналів у системах зв'язку

5.6. Спектральні методи представлення сигналів

5.7. Окові діаграми

5.8. Діаграми станів

5.9. Деревоподібні діаграми

5.10. Решітчасті діаграми Треліса

5.1. Загальна характеристика технологій вимірювань параметрів обладнання

Вимірювання параметрів обладнання телекомунікаційних систем відноситься до найважливіших процедур, що здійснюються майже на усіх стадіях життєвого циклу цього обладнання. На стадії виготовлення, а також в багатьох випадках під час увіду ТЛК-обладнання в експлуатацію здійснюють так звані системні вимірювання із використанням спеціалізованих системних вимірювальних засобів. Цим засобам притаманні широкі функціональні можливості, висока точність та ступінь автоматизації вимірювань, а також підвищені можливості щодо їхньої інтеграції у вимірювальні комплекси. Проте системне інструментальне обладнання, нерідко унікальне, є високовартісним. Воно не розраховано на оперативний режим

застосування та має використовуватися у стаціонарних умовах роботи. На стадії експлуатації ТЛК-обладнання здійснюють експлуатаційні вимірювання. І використовують для цього, як правило, недорогі портативні прилади. Завдяки цим вимірюванням експлуатаційний персонал має змогу отримати об'єктивну відповідь на широкий спектр питань, що виникають в процесі експлуатації, зокрема визначити: чи знаходиться обладнання у працездатному стані; чи відповідає якість обслуговування положенням сервісних угод з клієнтами; чи вийшли які-небудь параметри за межі припустимих норм; якщо вийшли, то які саме елементи обладнання спричинили або зможуть причинити збій або відмову у роботі обладнання; чи загрожує фрагменту мережі перенавантаження трафіком і т.д. і т.п. Цілі, заради яких здійснюються вимірювання, витікають із широкого кола розглянутих у лекції №2 експлуатаційних завдань, вирішення котрих потребує застосування різноманітних методів, схем та технологій вимірювань.

Проте щодо телекомунікацій існує одна найбільш узагальнена модель процедури вимірювань, яка лежить в основі переважної більшості вимірювальних технологій, що використовуються на практиці. Коротко, сутність її полягає у наступному. Виходячи із змісту експлуатаційних завдань, визначають множину параметрів об'єкту експлуатації, що потребують вимірювань. Для кожного із визначених параметрів розроблюють методик вимірювань (якщо вона відсутня) та обирають норму на діапазон припустимих значень цього параметру. І далі згідно розроблених методик проводять вимірювання параметрів, а отримані в результаті вимірювань значення параметрів порівнюють із нормами. Якщо виміряні значення параметрів знаходяться в межах діапазонів припустимих значень, то робиться висновок про нормальне функціонування обладнання та (або) про нормальний рівень якості обслуговування. Якщо ж виміряні значення будь-якого із параметрів вийшли за межі припустимих значень, то це говорить про виникнення невідповідностей в роботі обладнання, що у більшості випадків потребує певної реакції з боку системи експлуатації, інакше можуть мати місце негативні наслідки, зокрема погіршення якості обслуговування або, навіть, відмови в

роботі обладнання. Добре, коли у складі експлуатаційної документації на об'єкт експлуатації містяться усі необхідні методики вимірювань, а інструментальна база експлуатаційної організації дозволяє втілити ці методики у життя. У протилежних випадках, експлуатаційному персоналу доводиться самостійно розроблювати необхідні методики, виходячи із конкретних умов використання обладнання та обмежень існуючої інструментальної бази. Слід пам'ятати, що в основі будь-якої методики лежить певним чином обраний метод вимірювань, що реалізується згідно із певною схемою вимірювань. Тому практично у всіх базових навчальних дисциплінах за напрямком „телекомунікації” значна увага приділяється визначенню множини параметрів, котрі за типових умов використання тієї чи іншої ТЛК-технології потребують вимірювань, та вивченню відповідних методів та схем вимірювань. Вважається, що на момент вивчення матеріалу цього підручника студент вже обізнаний з основними аспектами вимірювальних технологій, що є типовими для більшості сучасних ТЛК-технологій. Матеріал цієї лекції лише систематизує раніш набуті знання та містить відповідні посилання на основні публікації у рамках розглянутих питань. Щодо визначення норм на припустимі значення параметрів, то ці норми обираються на основі аналізу відповідних стандартів, технічних вимог та умов, а також інших нормативних документів, що мають чинність на території України і можуть бути коректно застосовані саме у тих умовах, в яких використовується об'єкт експлуатації.

5.2. Вибір технології вимірювань для вирішення експлуатаційних завдань

Вибір тієї чи іншої технології вимірювань напряму залежить від цілей та змісту вимірювань. Зрозуміло, що будь-які вимірювання виконуються із певними цілями. Наприклад, ціллю вимірювань може бути отримання відповіді на питання, чи може узятий зі складу відрізок нового оптичного кабелю бути використаний для заміни відрізка старого оптичного кабелю, що втратив свої властивості через фізичну деградацію оптоволокна. Можна навести багато інших прикладів щодо можливих цілей вимірювань. Проте усі вони витікають із цілей поставлених експлуатаційних завдань.

Цілі експлуатаційних завдань, у свою чергу, формулюються, головним чином, виходячи із положень прийнятої політики (стратегії) експлуатації ТЛК-обладнання. Зміст вимірювань визначається властивостями та логікою роботи конкретного набору засобів телекомунікаційної техніки, що реалізує визначену множину технологій і функціонує в конкретних умовах експлуатації. Тобто, на зміст вимірювань впливають як характеристики об'єкту експлуатації (в якості котрого розглядається ТЛК-обладнання), так і характеристики середовища експлуатації. Усе вищезазначене має бути враховано під час планування експлуатаційних завдань і, отже, при організації вимірювальних робіт.

5.3. Прийнятий класифікатор технологій вимірювань

Загальноприйнятої унормованої класифікації технологій вимірювань параметрів телекомунікаційного обладнання поки що не створено. Напевно через те, що параметри сучасного ТЛК-обладнання, які потребують вимірювань, характеризуються великою кількістю та різноманітністю.

Тим не менш, з метою упорядкування викладу щодо вимірювань параметрів ТЛК-обладнання будемо керуватися наступними міркуваннями. Основне призначення ТЛК-обладнання, як вже раніш зазначалось, полягає у технічному забезпеченні транспортування інформації. Процеси транспортування інформації майже повністю специфікуються чотирма нижніми рівнями семирівневої моделі інформаційної взаємодії відкритих систем OSI ISO, а саме фізичним, каналним, мережним та сеансовим рівнями цієї моделі. Тому множини технологій вимірювань параметрів ТЛК-обладнання також доцільно розглядати у розрізі чотирьох нижніх рівнів семирівневої моделі.

Примітка 1. Слід мати на увазі, що на практиці часто класифікація процесів інформаційної взаємодії у ТЛК-системах здійснюється не на основі семирівневої моделі OSI (Open System Interconnection) міжнародної організації із стандартизації ISO (International Standardization Organization), а на основі моделі Інтернет. Мережному рівню Інтернет відповідають два рівня моделі OSI - мережний та сеансовий.

В якості прикладу розглянемо структуру сучасної глобальної

транспортної IP-мережі (див. рис.5.1), що реалізується наразі більшістю операторів електрозв'язку. Вона, як бачимо із рис.5.1, будується за чотирьохрівневою схемою.

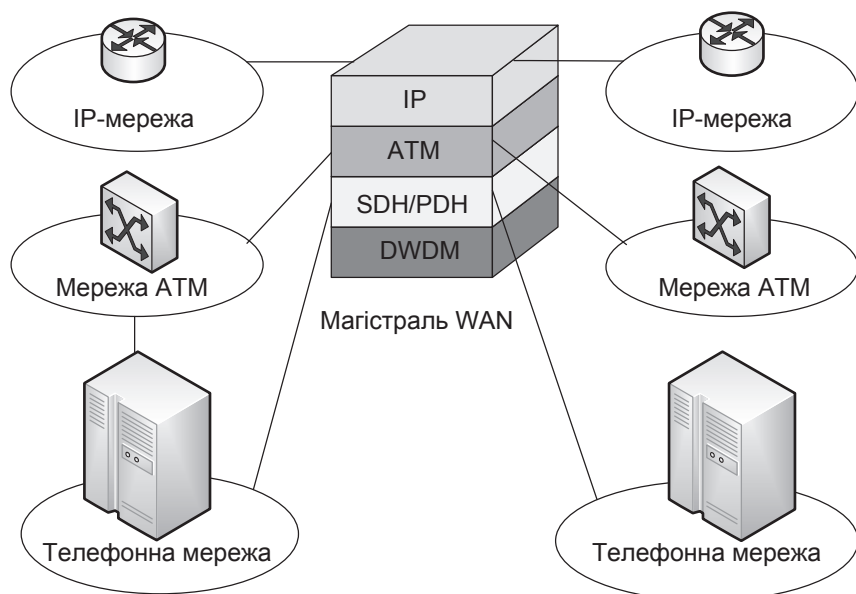


Рис.5.1. Чотирьохрівнева структура сучасної пакетної мережі

Проте рівні цієї схеми не співпадають із рівнями моделі взаємодії відкритих інформаційних систем (*OSI*) *ISO*. Нижньому (фізичному) рівню моделі *ISO* відповідають два нижніх рівня схеми рис.5.1, тобто мережа широкосмугових оптоволоконних каналів з пропускну здатністю 10 Гбіт/с і вище, що зараз будується на основі технології *DWDM*, та накладена поверх неї система передавання цифрової синхронної ієрархії (*SDH*) з мережами доступу, що створюються на базі плезіохронних цифрових систем передавання (*PDH*). Як відомо, за допомогою обладнання *SDH/PDH* оптичні спектральні канали *DWDM* діляться на більш дрібні субканали *TDM*, кінці котрих з'єднуються з портами комутаторів мережі каналного рівню (на рис.5.1 – це комутатори *ATM*). Обладнання двох нижніх рівнів схеми рис.5.1

(тобто, обладнання *DWDM* разом із обладнанням *SDH/PDH*) утворюють так звану первинну мережу електрозв'язку. Зверху на первинну мережу накладаються вторинні мережі каналного рівню (згідно класифікації *ISO*) – пакетні або телефонні (з комутацією каналів). На рис.5.1 в якості вторинної вибрана пакетна мережа *ATM*, що має у порівнянні з іншими пакетними мережами найбільш гнучкі механізми керування потоками пакетного трафіку. Замість *ATM* на третьому рівні структури, відображеної на рис.5.1, могла бути використана будь-яка інша пакетна технологія каналного рівню - *Frame Relay*, *X.25* (дуже застаріла технологія, яка практично вже не застосовується), *Optical Ethernet* тощо. Накінець, на четвертому (верхньому) рівні структури рис.5.1 показана мережа *IP*, що відповідає згідно семирівневій моделі *ISO* мережному та сеансовому рівням цієї моделі. Обладнання мережі *IP* функціонує, як правило, за специфікаціями стеку протоколів *TCP/IP*.

Логічно розгляд технологій вимірювань почати із технологій вимірювань параметрів ТЛК-обладнання на фізичному рівні взаємодії інформаційних систем, що і буде зроблено на наступній лекції.

5.4. Методики вимірювань

5.4.1. Загальна характеристика методик вимірювань

Оцінку поточних значень контрольованих параметрів здійснюють, як правило, шляхом вимірювання. Для вимірювань використовують відповідні методики. За звичайних умов використовують методики вимірювань, що засновані на :

- прямих вимірюваннях значень контрольованого параметру, у т.ч. із використанням тестового трафіку. Приклад: вимірювання часу передачі *IP*-пакетів від відправника цих пакетів до їх одержувача та у зворотному напрямку (*Round-Trip Time*, *RTT*) для пакетів заданого розміру;

- обчислені значення контрольованого параметру шляхом прямих вимірювань інших параметрів, що пов'язані із контрольованим певною функціональною залежністю. Приклад: визначення затримки у передаванні пакетів заданого розміру на

маршруті від відправника до одержувача шляхом безпосереднього вимірювання затримок передачі пакетів на кожній із ділянок маршруту передавання;

- статистичному визначенні значення контрольованого оцінюваного параметру на певний момент часу за умов, коли є зв'язними статистичний закон розподілу значень цього параметру та представницький набір його значень, що отримані експериментальним шляхом. У цьому разі мова йде не про виміряне значення параметру, а про оцінювання можливого його значення та про рівень достовірності отриманої оцінки. Приклад: оцінювання поточного значення пропускної здатності каналу, якщо є зв'язними значення пропускної здатності у попередні проміжки часу, попередні та поточні значення затримок у передаванні пакетів, а також модель потоку таких пакетів.

5.4.2. Загальні вимоги щодо методик вимірювань

Для того, щоб результати вимірювань були коректними, необхідно дотримуватися ряду умов, що пов'язані не тільки із організацією процесу вимірювань, але і з методиками вимірювань (або методиками оцінки) параметрів. Зокрема, вимірювання та оцінювання параметрів має здійснюватися у відповідності із науково обгрунтованими та всебічно апробованими методиками. Вимірювання повинні за ідентичних умов проведення вимірювань давати однакові результати, тобто забезпечувати відтворюваність результатів вимірювань. Також у більшості випадків має виконуватися принцип неперервності, який полягає у наступному: для незначних змін умов проведення вимірювань повинні спостерігатись незначні відхилення результатів вимірювань.

Під час розробки методик вимірювань необхідно на кількісному рівні оцінити можливі похибки вимірювань. На основі результатів аналізу похибок мають бути сформульовані вимоги до інструментальних вимірювальних засобів та умов проведення вимірювань, дотримання яких дозволить знизити похибки або тримати їх у припустимих межах.

5.4.3. Вимірювання проміжків часу

Значна кількість методик визначення параметрів ТЛК-

обладнання ґрунтується на вимірюванні часу. З огляду на цей факт необхідно враховувати похибки вимірювань та недостовірності в оцінках, які можуть бути пов'язані з пристроями для вимірювання часу.

У *RFC 1305* (*RFC* – комісія з радіочастот, регуляторна установа США) визначені характеристики вимірювачів проміжків часу (тобто, таймерів), які можуть бути використані для оцінювання якості їхнього функціонування. Зокрема похибка (*offset*) таймера у певний момент часу визначається як різниця між зареєстрованим часом та «дійсним» (*true*) часом (в якості котрого розглядають так званий загальний скоординований час, *Universal Coordinated Time, UCT*). Тобто, якщо зареєстрований таймером час дорівнює T_c , а «дійсний» час дорівнює T_t , то похибка таймера буде визначатись як $T_c - T_t$. Точність (*accuracy*) таймера у даний момент часу визначається тим, на скільки абсолютне значення його похибки буде відмінним від нуля.

Розфазування (*skew*) таймера (перша похідна від абсолютної похибки) – це різниця між частотами опорних сигналів досліджуваного та еталонного таймерів. Величина розфазування може змінюватись у часі. Тобто, у загальному випадку друга похідна від похибки показань таймера по відношенню до «дійсного» часу не дорівнює нулю. Цей процес, відповідно до *RFC 1305*, називається дрейфом (*drift*) таймера.

Розділювальна здатність (*resolution, разрешающая способность*) таймера – це найменша одиниця часу, на яку змінюються показання таймера. Розділювальною здатністю встановлюється нижня межа невизначеності показань таймера. Слід мати на увазі, що таймер може мати високу роздільну здатність та водночас низьку точність.

Існують випадки, коли методики вимірювань включають порівняння показань двох таймерів. Прикладом є безпосереднє вимірювання затримки у передаванні протокольних блоків даних на шляху від їх відправника до одержувача без утворення зворотного каналу (*one-way delay*). У цьому випадку значення затримки одержують шляхом порівняння показань таймера на одному із кінців маршруту передавання з показаннями таймера на іншому кінці. У даному випадку на точність вимірювань

впливають, головним чином, не абсолютні значення похибки, розфазування та дрейфу таймерів, а відносні значення цих показників. Відносна похибка таймера А у деякий момент часу визначається як різниця між показаннями таймера А та показаннями таймера В у цей момент часу. Тобто, якщо зареєстрований час у відповідності із таймером А дорівнює T_a , а цей же момент часу за таймером В дорівнює T_b , то відносна похибка таймера А буде визначатись як $T_a - T_b$. Відносне розфазування та дрейф таймерів визначають аналогічно.

Якщо таймер є точним щодо іншого таймеру (тобто, його відносна похибка дорівнює нулю), то такий таймер вважається синхронізованим (*synchronized*). Слід мати на увазі, що таймери можуть бути синхронізованими та водночас мати низьку точність. Під час вимірювання багатьох параметрів ТЛК-обладнання синхронність таймерів має більший вплив на точність вимірювань, ніж абсолютні похибки таймерів. Те саме стосується і розфазування: доки абсолютне значення розфазування не є надто великим, відсутність відносного розфазування двох таймерів є більш важливим фактором.

5.4.4. *Апаратні засоби та програмне забезпечення (ПЗ) вузлів телекомунікаційної мережі, які задіяні у процесі вимірювань, також можуть впливати на результати вимірювань. Особливо це стосується випадків, коли реєстрація часу настання мережних подій здійснюється засобами прикладного ПЗ вузла мережі, а не засобами операційної системи. Тому у випадку, коли необхідно вимірювати параметри затримок пакетів у каналах зв'язку між вузлами мережі, доцільно розглянути можливість використання замість штатних засобів вузла мережі в якості вимірювального обладнання спеціалізованих інструментальних засобів, наприклад, аналізатора протоколів.*

5.4.5. *Частота оцінки вимірних значень параметрів залежать від типу і розмірів протокольних блоків даних (PDU), які були використані в процесі вимірювань. Наприклад, пов'язаність (рос. – связность) транспортного каналу між двома вузлами мережі може бути різною для IP-пакетів різної довжини, для IP-пакетів, що транспортують PDU різних протоколів вищих рівнів (TCP, UDP), IP-пакетів з невірними контрольними сумами заголовків або*

різними значеннями *TTL* і т. ін. У випадку наявності між вузлами мережі міжмережних екранів або використання протоколу *RSVP* врахування типу *PDU*, що використовуються для транспортування інформації, є особливо важливим для коректного функціонування мережного обладнання. Тому, визначаючи певний параметр або вказуючи його конкретне значення, завжди слід зазначати, *PDU* якого типу використовувались у процесі вимірювань.

5.4.6. *Контрольовані параметри за способом їхнього визначення* можуть бути розділені на три групи:

1) параметри, для визначення яких необхідно виконати одиничне вимірювання. Наприклад, для визначення обсягу даних, що були транспортовані між відправником даних та їхнім одержувачем на протязі одного сеансу зв'язку необхідно виконати однократну процедуру вимірювання кількості *PDU*, що були отримані одержувачем даних на протязі цього сеансу зв'язку;

2) параметри, для визначення яких необхідно виконати багатократні вимірювання. Наприклад, для визначення затримки у передаванні блоків даних може знадобитись реалізація послідовності вимірювань, виконаних на протязі 1 години із проміжком часу між кожним вимірюванням, що дорівнює 1 с;

3) параметри, для оцінювання ймовірних значень яких необхідно виконати статистичну обробку результатів послідовності вимірювань. Наприклад, середню затримку у передаванні блоків даних визначають шляхом статистичної обробки результатів зазначеної вище послідовності вимірювань.

Основною метою виконання серії вимірювань під час оцінювання ймовірних значень вимірюваних параметрів є прагнення урахувати зміни у часі, яких може зазнавати оцінюваний параметр, в залежності від особливостей розташування вузла мережі, від дня тижня, години доби і т. п. Визначення необхідної кількості актів вимірювань в серії є важливою задачею, оскільки крім довготривалих флуктуацій вимірювані величини зазнають також короточасних змін, які, зокрема, пов'язані із пульсуючим характером трафіку пакетних мереж.

5.4.7. Загальним способом організації вимірювання (або оцінювання) поточних значень контрольованих параметрів ТЛК-обладнання є проведення їх періодичних вимірювань через

фіксовані інтервали часу. Перевагою цього способу організації вимірювань є його простота. Водночас, якщо період змін вимірюваного параметра дорівнює періодові проведення вимірювань або кратний йому, то використання фіксованих інтервалів часу може стати причиною похибок у результатах вимірювань.

5.4.8. Причинами похибок можуть бути і деякі інші фактори, природа яких відображена у нижченаведеному прикладі.

У якості приклада розглянемо розповсюджений спосіб вимірювання величини затримки у передаванні *IP*-пакетів від відправника цих пакетів до їх одержувача та у зворотному напрямку (*Round-Trip Time, RTT*). Як видно із рис.5.2, процес вимірювань *RTT* полягає у надсиланні *K* тестових пакетів, що складають одну групу тестових пакетів, із інтервалом τ одиниць часу між кожним пакетом в межах групи. Надсилається багато груп тестових пакетів з часовим інтервалом між групами, що дорівнює *T* одиниць часу. тестових, а не текстових



Рис.5.2. Ілюстрація структури тестового потоку пакетів для вимірювання величини параметра *RTT*

Через перенавантаження елементів мережі або непередбачених змін маршруту транспортування пакетів на шляху між відправником та одержувачем оцінка значення *RTT*, що отримується на одній групі тестових пакетів, може суттєво змінюватись. Тому оцінювання виконується не на одній групі пакетів, а на певній множині груп пакетів за умов, коли групи тестових пакетів надсилаються кожні *T* одиниць часу.

З метою зменшення часу обробки тестових пакетів у елементах мережі та часу їхнього передавання через канали зв'язку розмір цих пакетів повинен бути якнайменшим. Тому в якості тестових пакетів доцільно обрати протокольні блоки даних протоколу *ICMP*.

Якщо інтервал τ між тестовими пакетами занадто малий, то вони будуть надсилатись у мережу занадто швидко, що може викликати їхню буферизацію у вихідних чергах портів мережного обладнання. У цьому випадку виміряна величина *RTT* буде відрізнятись від реально можливого значення (для умов, коли пакети просуваються за маршрутом без затримок у чергах) на час знаходження тестових пакетів у чергах. Для уникнення буферизації необхідно визначити мінімальне значення часу τ , при якому пакети не впливають один на одного.

Час $L = K \cdot \tau$ передавання групи тестових пакетів повинен бути таким, щоб імовірність зміни маршруту пакетів між відправником та одержувачем за цей час була достатньо малою.

Для найбільш повного визначення характеру змін параметру *RTT* у часі інтервал надсилання груп тестових пакетів T повинен бути достатньо малим (як мінімум, у двічі меншим, ніж період зміни величини *RTT*). З іншого боку, з метою зменшення похибок вимірювання *RTT* через вплив тестового трафіку на поточну завантаженість мережних ресурсів, значення інтервалу T доцільно збільшувати. Тому оптимальне значення T слід визначати емпіричним шляхом з урахуванням конкретних цілей та умов проведення вимірювань.

5.4.9. Недоліки проведення періодичних вимірювань значень параметрів через фіксовані інтервали. Як вже зазначалось, проведення періодичних вимірювань значень параметрів через фіксовані інтервали часу має ряд недоліків. Більш раціональним підходом до визначення параметрів є виконання вимірювань через випадкові інтервали часу T , які мають бути розподілені у відповідності із певним законом статистичного розподілу $G(t)$. Зокрема, час надсилання наступної у послідовності групи тестових пакетів носить непередбачуваний характер, якщо $G(t)$ є експоненціальним розподілом (розподілом Пуасона) з коефіцієнтом λ , тобто

$$G(t) = 1 - e^{-\lambda t}. \quad (5.1)$$

Документом *RFC 2330* рекомендовано використання саме цього розподілу для генерації тестових послідовностей під час проведення вимірювань, які пов'язані із визначенням показників якості мережних послуг. Однак у деяких випадках використання такого розподілу не є виправданим. Так, зокрема, проміжок часу між здійсненням актів вимірювань у випадку використання закону Пуасона теоретично не є обмеженим. Однак у багатьох випадках може бути корисним обмежити максимальний час між вимірюваннями деякою величиною dT . У цьому разі для генерації тестових послідовностей реалізують рівномірний закон розподілу, а саме:

$$G(t) = \text{Unif}(0, dT). \quad (5.2)$$

5.4.10. В експлуатаційній практиці знайшов застосування спосіб визначення значень вимірюваних параметрів, згідно з яким вимірювання проводяться з фіксованою імовірністю p . Наприклад, під час вимірювань із застосуванням аналізатора протоколів цим пристроєм реєструються усі *PDU*, що просуваються через канал зв'язку, однак до траси протоколів записується інформація щодо *PDU* лише у випадку, якщо деяке випадкове число із рівномірним законом розподілу на інтервалі від 0 до 1 є більшим, ніж p . Такий спосіб вимірювань має усі переваги способу вимірювань із використанням закону Пуассона.

5.4.11. Оскільки спосіб організації послідовності вимірювань із використанням закону Пуасона є рекомендованим і найбільш поширеним, далі розглядаються різні варіанти реалізації такого способу вимірювань.

Перш за все, слід визначити коефіцієнт λ (наприклад, якщо середній інтервал між одиничними вимірюваннями дорівнює $T = 30$ с, то $\lambda = 1/30$). Потім слід згенерувати набір експоненційно розподілених (псевдо) випадкових чисел E_1, E_2, \dots, E_n . Перше вимірювання проводиться через інтервал часу E_1 , друге – через інтервал $E_1 + E_2$ і т. д. Більшість комп'ютерних систем мають штатні засоби генерації (псевдо) випадкових чисел U_1, U_2, \dots, U_n , які рівномірно розподілені на інтервалі від 0 до 1. Випадкові числа E_i

отримують за формулою

$$E_i = -\frac{\log(U_i)}{\lambda}, \quad (5.3)$$

де $\log(U_i)$ – натуральний логарифм U_i .

Існують, як мінімум, три способи виконання послідовності вимірювань із використанням закону Пуасона.

Перший спосіб є найпростішим у реалізації. Він полягає у наступному:

- 1) Згенерувати випадкове число E_1 і чекати на протязі E_1 с.
- 2) Виконати процедуру вимірювання.
- 3) Згенерувати випадкове число E_2 і чекати на протязі E_2 с.
- 4) Виконати процедуру вимірювання.
- 5) Згенерувати випадкове число E_3 і чекати на протязі E_3 с.
- 6) Виконати процедуру вимірювання і т. д. ...

Однак процедура вимірювання триває деякий час M_i . Тому вимірювання відбуваються не у моменти часу E_1, E_1+E_2, \dots , а у інтервали $E_1, E_1+M_1+E_2, \dots$. Якщо час M_i малий у порівнянні з $1/\lambda$, то похибка, яка пов'язана із даним способом, є також відносно малою. У іншому випадку методичною похибкою нехтувати не можна.

У другому способі виконання послідовності вимірювань час M_i враховано. Цей спосіб полягає у наступному:

- 1) Згенерувати випадкове число E_1 і чекати на протязі E_1 с.
- 2) Виконати процедуру вимірювання та визначити її тривалість M_1 .
- 3) Згенерувати випадкове число E_2 і чекати на протязі E_2-M_1 с.
- 4) Виконати процедуру вимірювання і т. д. ...

Але цей спосіб також має недолік – його реалізація можлива лише за умови, що $E_{i+1} \geq M_i$. У іншому випадку виникає необхідність виконувати кілька вимірювань одночасно.

Третій спосіб полягає у наступному:

- 1) Згенерувати випадкові числа E_1, E_2, \dots, E_n .
- 2) Визначити моменти виконання вимірювань T_1, T_2, \dots, T_n , де $T_i = E_1 + \dots + E_i$.
- 3) Виконати необхідні вимірювання.

У випадку припустимості одночасного виконання кількох

процедур вимірювання третій спосіб позбавлений недоліків, які властиві першим двом способам. Якщо виконання i -тої процедури вимірювання суттєво впливає на результати інших процедур, то третій спосіб не має переваг і може виявитись навіть гіршим за два попередні.

На практиці, якщо $M_i \ll 1/\lambda$, то можливе використання будь-якого із способів виконання послідовності вимірювань із використанням закону Пуассона. Якщо $M_i \leq 1/\lambda$, слід використовувати другий спосіб. У випадку припустимості одночасного виконання кількох процедур вимірювання використовують третій спосіб виконання вимірювань.

5.5. Обробка, оформлення та подання результатів вимірювань

5.5.1. Обробку результатів вимірювань параметрів контрольованого обладнання здійснюють з метою:

1) контролю поточного стану обладнання на відповідність вимогам експлуатаційної документації та стандартам підприємства;

2) контролю поточного стану якості надання телекомунікаційних послуг (якості обслуговування) на відповідність умовам сервісних угод з клієнтами (*SLA – Service Level Agreement*) або корпоративним стандартам;

3) інформування покупців послуг щодо поточного стану обслуговування відповідно до умов *SLA*;

4) інформування управлінських структур підприємства щодо стану обладнання і обслуговування (для забезпечення виконання ними функцій контролю та управління);

5) отримання вихідних даних для пошуку можливостей розширення номенклатури та підвищення якості послуг і обслуговування;

6) отримання вихідних даних для прогнозування стану обслуговування і планування розвитку мережі.

5.5.2. Обробку результатів вимірювань здійснюють окремо щодо кожного напрямку передавання інформації на всіх рівнях ієрархії вузлів телекомунікаційної мережі.

Для послуг, що надаються на умовах гарантованої якості обслуговування, обробку результатів вимірювань здійснюють

окремо щодо кожної точки доступу до послуги (або кожної групи точок доступу до послуги).

Результати обробки вимірювань агрегують та структурують в залежності від задач, в яких ці результати використовуються, і надаються покупцям послуг, іншим підрозділам та адміністрації телекомунікаційної компанії.

5.5.3. Оброблюються результати вимірювань щодо кожного визначального параметра у розрізі кожної наданої телекомунікаційної послуги. Основна форма представлення результатів вимірювань – графіки залежності отриманих оцінок визначальних параметрів від часу з масштабом, вибір котрого залежить від виду послуги, класу обслуговування та цілей обробки результатів вимірювань.

Наприклад, для параметрів затримки або девіації затримок протокольних блоків даних в мережах передавання даних графіки будуються з інтервалом по вісі абсцис, що дорівнює тривалості однієї серії сеансів вимірювань. Усереднені на інтервалі однієї серії сеансів вимірювань значення вищезазначених параметрів відкладаються по вісі ординат.

Для усереднення виміряних значень параметрів, що характеризують якість транспортування протокольних блоків даних (крім параметрів надійності), незалежно від класу обслуговування зазвичай передбачається необхідність здійснення 10 сеансів вимірювань протягом кожної години, тобто одна серія складається із 10 сеансів вимірювань.

Для параметра блокових помилок (мається на увазі коефіцієнт помилково прийнятих протокольних блоків даних) графік будується з інтервалом 12 годин (тобто, з інтервалом, що дорівнює тривалості однієї серії сеансів вимірювань цього параметра). Графік має охоплювати проміжок часу тривалістю 1 місяць (тобто, потрібно побудувати 12 таких графіків протягом 1 року).

Коефіцієнт доступності обладнання (або телекомунікаційної послуги) визначається із дискретністю – 1 доба. Для визначення цього параметра будується погодинна функція доступності (*AF – availability function*) – співвідношення між проміжками часу, коли обладнання або послуга є доступними для користувачів, та проміжками часу, коли вони є недоступними. Дискретність графіка

параметра AF – 1 година. Вибір критеріїв доступності та їх порогів буде розглянуто далі.

Параметр годин недоступності обладнання (або послуги) на протязі року (TSU – *time service unavailability*) розраховується на звітному проміжку, що дорівнює одному року (тобто, усі часові інтервали, на котрих послуга визначалась як недоступна, підсумовуються протягом одного року).

Інтервал вимірювань параметрів помилок обладнання $ISDN$ та $xDSL$ на відповідність довгостроковим нормам - 1 місяць. Інтервал вимірювань цих же параметрів на відповідність оперативним нормам – 15 хвилин.

Параметри експлуатаційної надійності розраховуються після кожної події відновлення обладнання.

5.5.4. Побудовані графіки залежностей вимірюваних оцінок параметрів від часу дозволяють визначитися з поточним станом обладнання та рівнем якості обслуговування. Інформація щодо поточного стану якості обслуговування по кожному напрямку передавання даних на всіх рівнях ієрархії вузлів мережі, а також щодо кожної точки доступу до послуг, які надаються на умовах гарантованої якості обслуговування, має відображатися у вигляді табл.5.1.

Таблиця 5.1

Форма представлення інформації щодо поточного стану обслуговування (інтервал обробки результатів вимірювань – 1 доба)

Напрямок передавання або точка доступу до послуги	Поточна дата (число, місяць, рік)
Найменування параметра	Отримана середньодобова оцінка
Вносяться тільки ті визначальні параметри якості обслуговування, які узгоджені умовами <i>SLA</i> .	

5.5.5. Агрегована інформація щодо поточного стану якості обслуговування по кожному напрямку передавання даних на всіх рівнях ієрархії вузлів МПД, а також щодо кожної точки доступу до послуги, які надаються на умовах гарантованої якості обслуговування, має відображатися у вигляді табл.5.2. Інтервал

агрегації – 1 місяць.

Таблиця 5.2

Форма представлення агрегованої інформації щодо стану обслуговування

Напрямок передавання або точка доступу до послуги	1.х. хх	2.х. хх	30.х. хх	Отримана середньомісячна оцінка
Найменування параметра					

5.5.6. Побудовані графіки залежностей визначальних параметрів від часу дозволяють визначитися щодо можливого перевищення нормативів на визначальні параметри.

Зокрема, інформація щодо можливого перевищення нормативів по кожному напрямку передавання даних на всіх рівнях ієрархії вузлів мережі передавання даних (МПД) та щодо кожної точки доступу до послуг, які надаються на умовах гарантованої якості обслуговування, має відобразитися у вигляді табл.5.3, де під $PDU(TD+DV+LR+ \dots + SESR)$ мається на увазі сумарний час перевищення нормативних показників визначальних параметрів у розрізі контрольованого обладнання транспортування протокольних блоків даних PDU (тобто, у розрізі технологій IP , ATM , FR , $xDSL$ тощо). При цьому, якщо зустрічаються випадки перевищення нормативів, які перекриваються у часі, то в загальному часі перевищення нормативів враховується тривалість від початку першого в часі випадку перевищення та до закінчення останнього випадку перевищення.

Таблиця 5.3

Форма представлення інформації щодо випадків та тривалості перевищень нормативів на визначальні параметри, які мали місце протягом доби

Напрямок передавання або точка доступу до послуги	Поточна дата (тривалість перевищення, хв.)
Перевищення нормативу на $PDU T D_0$	хх (хв.)
Перевищення нормативу на $PDU D V_0$	хх (хв.)
Перевищення нормативу на $P(PDU D V_{max})$	хх (хв.)

Перевищення нормативу на $K'_{заг0}$	xx (хв.)
Перевищення нормативу на $PDULR_0$	xx (хв.)
Перевищення нормативу на $P(PDUTD_{max})$	xx (хв.)
Перевищення нормативу на ESR	xx (хв.)
Перевищення нормативу на $SESR$	xx (хв.)
Значення $PDU(TD+DV+LR+ \dots +SESR)$	xx (хв.)
Перевищення нормативу на $PDUER_0$	Виміряне значення $PDUER_0$
Кількість годин недоступності послуги від початку поточного року	xx (годин)

Примітка 1. Визначення параметрів, що в якості прикладу наведені у табл. 5..3, будуть надані далі.

Як видно із табл.5.3, у разі необхідності (наприклад, на вимогу покупця послуги) щодобово можуть надаватися дані щодо перевищення нормативу на коефіцієнт помилок $PDUER_0$.

5.5.7. Агрегована інформація щодо можливого перевищення нормативів по кожному напрямку передавання даних на всіх рівнях ієрархії вузлів МПД, а також щодо кожної точки доступу до послуги, які надаються на умовах гарантованої якості обслуговування, має відображатися у вигляді табл.5.4. Інтервал агрегації даних, що поміщені в усі колонки таблиці, крім останньої колонки – 1 доба. Інтервал агрегації даних, що поміщені в останню (заключну) колонку таблиці – 1 місяць.

Таблиця 5.4

Форма представлення агрегованої інформації щодо випадків та тривалості перевищень нормативів на визначальні параметри

Напрямок передавання або точка доступу до послуги	Поточна дата у _____ місяці _____р.				Загальне перевищення нормативу
	1.х. xx	2.х. xx	30.х. xx	
Перевищення нормативу на параметр, хв. :					
$PDUTD_0$					
$PDUDV_0$					
$P(PDUDV_{max})$					
$K'_{заг0}$					
$PDULR_0$					
$P(PDUTD_{max})$					
SES					

<i>SESR</i>					
<i>PDU(TD+DV+LR+ ...+SESR)</i>					
<i>PDUER₀[*]</i>					
Кількість годин недоступності послуги від початку поточного року					

Примітка 2. У графі “загальне перевищення нормативу” вказується сумарний час перевищення нормативу на поточний момент вимірювань на протязі місяця.

Примітка 3. Значення перевищення нормованого значення коефіцієнту помилок $PDUER_0$ надається не у хвилинах, а вказується виміряне середньомісячне значення цього параметра.

5.5.8. Сервіс-провайдер із визначеною у SLA періодичністю має надсилати на адресу кожного із покупців послуг, які отримують обслуговування із гарантованим сервісом, звіти про стан обслуговування, в яких міститься інформація про поточний стан справ щодо виконання вимог SLA, про якість наданої послуги та про використані мережні ресурси.

Звіт про виконання вимог сервісної угоди надсилається покупцю послуг один раз на добу і містить інформацію згідно табл.5.3 (та, можливо, також дані щодо перевищення нормативу на $PDUER_0$).

Звіт про якість наданої послуги надсилається на адресу покупця послуг один раз на місяць і містить інформацію у розрізі наданих послуг згідно табл.5.2.

Звіт про використані мережні ресурси надсилається на адресу покупця послуг один раз на місяць. Структура цього звіту напряму залежить від умов SLA і стандартами не регламентується.

Примітка 4. В умовах SLA можуть бути визначені й інші періоди звітування, виходячи із конкретних умов функціонування прикладних застосувань покупця послуг.

Примітка 5. Усі вищезазначені звіти представляються окремо щодо кожної точки доступу до послуги (або кожної групи точок доступу до послуги).

5.5.9. Підрозділи сервіс-провайдера, які безпосередньо здійснюють експлуатацію обладнання МПД, мають надавати

інформацію щодо якості обслуговування керівництву підприємства, його регіонального вузлу дирекції та іншим підрозділам підприємства.

Експлуатаційні підрозділи МПД з періодичністю один раз на місяць мають надсилати на адресу адміністрації свого регіонального вузлу агрегований звіт про якість наданих послуг. Основу цього звіту складають дані щодо випадків та тривалості перевищень нормативів на параметри якості обслуговування за напрямками передавання даних, що оформлені згідно табл.5.4. У якості додатку до табличних даних у звіті надаються пояснення щодо суттєвих випадків перевищень нормативів якості, порушень вимог SLA, причини та наслідки їхнього виникнення, а також щодо заходів, які були проведені з метою ліквідації негативних наслідків та запобігання порушень у майбутньому.

Експлуатаційний персонал з періодичністю один раз на місяць має надсилати на адресу адміністрації свого регіонального вузлу агрегований звіт про використані мережні ресурси. Форма такого звіту - не регламентується.

У свою чергу, адміністрації центрального та регіональних вузлів МПД повинні періодично один раз на місяць надавати на адресу керівництва підприємства – оператора електрозв'язку агрегований звіт про поточний стан обслуговування. Форма цього звіту не регламентується. У звіті мають бути відображені усі найбільш суттєві події, які були пов'язані із виникненням невідповідностей у наданні послуг та у використанні мережних ресурсів, а також зміст здійснених заходів із нейтралізації негативних наслідків та запобігання виникненню таких подій у майбутньому. У додатках до цього звіту мають бути надані агреговані звіти про якість наданих послуг та агреговані звіти про використані мережні ресурси.

Контрольні питання до п'ятої лекції

1. У чому полягає сутність найбільш узагальненої моделі процедури вимірювань?
2. Якими міркуваннями слід керуватися щодо вибору технології вимірювань для вирішення експлуатаційних завдань?
3. У розрізі яких рівнів семирівневої моделі доцільно розглядати

технології вимірювань параметрів ТЛК-обладнання?

4. Надайте загальну характеристику технологій вимірювань.

5. Наведіть загальні вимоги до методики вимірювань.

6. Яким чином вимірюються проміжки часу?

7. На які групи за способом визначення можуть бути розділені контрольовані параметри?

8. Які фактори можуть бути причинами похибок вимірювань?

9. З якою метою здійснюють обробку результатів вимірювань параметрів контрольованого обладнання?

10. Яким чином здійснюється обробка результатів вимірювань?

Література до п'ятої лекції

1) І.Г. Бакланов. Технології вимірювань у сучасних телекомунікаціях. –М.: ЕКО-ТРЕНДЗ, 1998. Розділи 4, 5 та 10.2.

2) І.Г. Бакланов. Методи вимірювань у системах зв'язку. –М.: ЕКО-ТРЕНДЗ, 1999.

САМОСТІЙНЕ ЗАНЯТТЯ ЗА МАТЕРІАЛАМИ ЛЕКЦІЇ №5 МЕТОДИ ПРЕДСТАВЛЕННЯ СИГНАЛІВ У СИСТЕМАХ ЗВ'ЯЗКУ

5.6. Спектральні методи представлення сигналів

У сучасних телекомунікаціях використовуються як цифрові, так і аналогові сигнали. Звісно, що основна відмінність цифрових сигналів від аналогових криється у їхній дискретній структурі. Якщо параметри аналогових сигналів у процесі передавання у певному діапазоні їхніх можливих значень змінюються безперервно, то параметри цифрових сигналів змінюються дискретно. Ця особливість цифрових сигналів дозволяє застосовувати для їхнього аналізу ряд специфічних методів, що відрізняються високою наглядністю та простотою реалізації. Основні методи представлення цифрових сигналів розглянуто нижче.

Достатньо глибоко розроблено методи спектрального аналізу аналогових сигналів, а також аналізу аналогових сигналів з використанням осцилограм. Щодо цифрових сигналів, то широке розповсюдження отримало представлення цих сигналів у вигляді спеціальних діаграм – окових діаграм, діаграм Треліса і т.ін.

Спектральний аналіз аналогових сигналів ???

В багатьох випадках сигнали зручно представляти як $S(t), t \in T_c$, де T_c – час існування сигналу, тобто аргументом функції, що описує сигнал, є час. Подання сигналів як функції часу не є єдине з можливих. Дістав загальне визнання і спектральний спосіб опису сигналів, оскільки будь-який сигнал $s(t)$ зі скінченною енергією, тобто сигнал, для якого виконується умова

$$\int_{-\infty}^{\infty} s^2(t) dt < \infty,$$

можна зобразити у вигляді ряду

$$s(t) = \sum_{k=0}^{\infty} c_k \phi_k(t), \quad (5.4)$$

де c_k – певним чином визначені коефіцієнти розкладення, що у сукупності називаються спектром сигналу; ϕ_k – система ортонормованих дійсних функцій, або базис.

Формула (5.4) називається узагальненим рядом Фур'є сигналу $s(t)$ в обраному базисі $\{\phi_k\}$.

У теорії електрозв'язку широко застосовується спектральне представлення сигналів у базисах гармонічних функцій. Це передусім пояснюється прямим зв'язком, що існує між спектральним розкладенням та представленням елементів реальних ТЛК-систем у вигляді електричних чотирьохполюсників - коливальних систем. Зокрема, періодичний з періодом T сигнал зручно зобразити математичним рядом тригонометричних функцій

$$s(t) = c_0 + \sum_{k=1}^{\infty} c_k \cos(2\pi \frac{t}{T} - \phi_k), \quad (5.5)$$

тобто сумою членів ряду $c_k \cos(2\pi \frac{t}{T} - \phi_k)$, кожен з яких є косинусоїдальним коливанням з амплітудою c_k , початковою

фазою ϕ_k і частотами $f_k = \frac{k}{T}$, кратними основній частоті.

Значення c_k і ϕ_k визначаються так, щоб рівність (5.5) виконувалася. Частоти коливань, що складають періодичну функцію $s(t)$, створюють гармонічну послідовність. Окремі складові називають гармоніками.

Вираз (5.5) можна переписати у вигляді ряду Фур'є:

$$s(t) = c_0 + \sum_{k=1}^{\infty} (a_k \cos 2\pi k \frac{t}{T} + b_k \sin 2\pi k \frac{t}{T}),$$

де $a_k = c_k \cos \phi_k$, $b_k = c_k \sin \phi_k$, так що $c_k = \sqrt{a_k^2 + b_k^2}$,

$$\operatorname{tg} \phi_k = \frac{b_k}{a_k}.$$

Коефіцієнти a_k і b_k визначають із формул:

$$a_k = \frac{2}{T} \int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} s(t) \cos 2\pi k \frac{t}{T} dt \quad b_k = \frac{2}{T} \int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} s(t) \sin 2\pi k \frac{t}{T} dt$$

$$c_0 = \frac{1}{T} \int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} s(t) dt$$

Ряд Фур'є можна також записати у комплексній формі:

$$s(t) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} \dot{C}_k \cdot e^{j2\pi k(\frac{t}{T})}, \quad (5.6)$$

де $\dot{2C} = c_k e^{-j\varphi_k} = a_k - jb_k$ – комплексна амплітуда, що визначається за формулою:

$$\dot{C}_k = \frac{1}{T} \int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} s(t) \cdot e^{-j2\pi k(\frac{t}{T})} dt. \quad (5.7)$$

Ряд Фур'є, як бачимо, розкладає періодичну функцію за тригонометричними функціями. Це розкладання можна узагальнити і на випадок неперіодичної функції, яку можна розглядати як граничний випадок періодичної функції за умови необмежено зростаючого періоду $T \rightarrow \infty$.

Підставивши у формулу (5.6) значення \dot{C}_k з виразу (5.7), отримаємо:

$$s(t) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} e^{j2\pi k(\frac{t}{T})} \int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} s(t) \cdot e^{-j2\pi k(\frac{t}{T})} dt \quad (5.8)$$

Замість $\frac{1}{T}$ уведемо кругову частоту $\omega_1 = \frac{2\pi}{T}$ – частотний інтервал між сусідніми гармоніками, частоти яких дорівнюють

$2\pi \frac{k}{T}$. За умови граничного переходу заміна відбувається за схемою:

$$T \rightarrow \infty, \omega \rightarrow d\omega, 2\pi \frac{k}{T} = \omega,$$

де ω – поточна частота, що змінюється безперервно; $d\omega$ – її приріст. Звідси сума у виразі (5.8) перейде в інтеграл, і тоді:

$$s(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} e^{j\omega t} d\omega \int_{-\infty}^{\infty} s(t) \cdot e^{-j\omega t} dt,$$

або

$$s(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \dot{F}(\omega) \cdot e^{j\omega t} d\omega, \quad (5.9)$$

де $F(\omega)$ – спектральна щільність сигналу $s(t)$ та розраховується

$$\dot{F}(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} s(t) \cdot e^{-j\omega t} dt \quad (5.10)$$

Формули (5.9) та (5.10) – основні в теорії спектрів. Формулу (5.10) можна записати у дійсній формі, тоді інтегрування виконується тільки за дійсними частотами. Зокрема, якщо увести позначення $\dot{F}(\omega) = A(\omega) + jB(\omega)$, тоді маємо:

$$s(t) = \frac{1}{\pi} \int_0^{\infty} [A(\omega) \cos \omega t - B(\omega) \sin \omega t] d\omega.$$

Для багатьох застосувань достатньо знати спектр амплітуд. Амплітудний спектр є модулем спектральної щільності. Його використовують настільки часто, що коли кажуть «спектр», то розуміють саме амплітудний спектр.

Спектр періодичної функції має вигляд дискретного спектра, який називають також лінійчастим. Це означає, що він складається з рівновіддалених спектральних ліній, тобто частоти гармонік перебувають у простих кратних співвідношеннях.

Дискретний спектр мають не лише періодичні функції. Наприклад коливання, що утворене шляхом складання двох синусоїдних коливань з нерівними і некратними частотами, мають спектр, що складається з двох спектральних ліній.

Спектр неперіодичних сигналів є суцільним, оскільки унаслідок граничного переходу від ряду до інтегралу Фур'є відстані між окремими спектральними лініями необмежено зменшуються, і замість дискретних точок зображується неперервною послідовністю точок, тобто неперервною кривою.

Розглянемо математичні моделі найпростіших типових сигналів, а також їхні спектральні зображення.

Гармонічний сигнал

Гармонічний сигнал називають ще тригонометричним. Математична модель такого сигналу визначається формулою:

$$x(t) = A \cos(\omega_0 t + \varphi_0),$$

а типова осцилограма і амплітудний спектр зображено на рис.5.3.

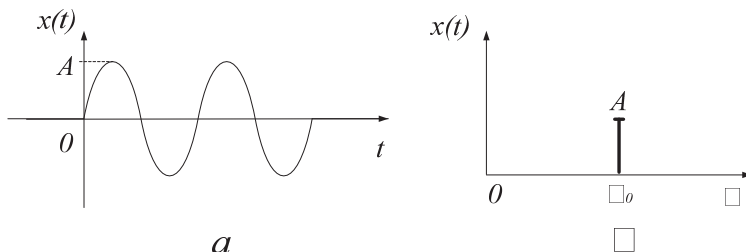


Рис.5.3. Гармонічний сигнал (а) і його амплітудний спектр (б)

Прямокутний відеоімпульс

Математична модель $s(t)$ одиничного прямокутного відео імпульсу, симетрично розміщеного відносно початку відліку часу (рис.5.4) не є періодичною функцією і задається співвідношенням:

$$s(t) = \begin{cases} U, & -\tau/2 \leq t \leq \tau/2, \\ 0, & |t| > \tau/2. \end{cases}$$

Амплітудна спектральна щільність такого сигналу є дійсною функцією і обчислюється за формулою:

$$S(\omega) = 2 \int_0^{\infty} s(t) \cos(\omega t) dt . \quad (5.11)$$

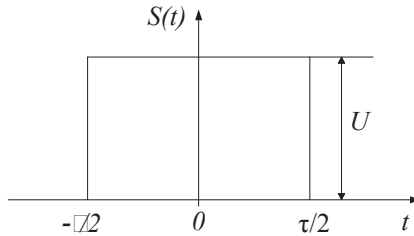


Рис.5.4. Зображення прямокутного відеоімпульсу як функції часу

Оскільки поза межами $|t| > \tau/2$ сигнал дорівнює нулеві, то вираз (5.11) набуває вигляду:

$$S(\omega) = 2U \int_0^{\tau/2} \cos(\omega t) dt = \frac{2U}{\omega} \sin \frac{\omega \tau}{2} .$$

Якщо ввести безрозмірну змінну $\xi = \omega \tau / 2$, то остаточно можна записати вираз для амплітудного спектру (що у даному випадку називають спектральною щільністю) у наступному вигляді:

$$S(\xi) = U\tau \frac{\sin \xi}{\xi} .$$

Значення спектральної щільності на нульовій частоті дорівнює площі імпульсу:

$$S(0) = U\tau .$$

Отже, нормований амплітудний спектр (рис.5.5) цього імпульсу можна записати як:

$$A(\xi) = \frac{|S(\xi)|}{S(0)} .$$

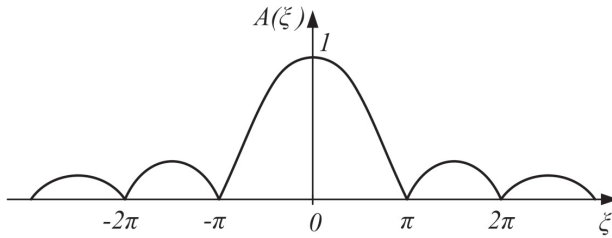


Рис.5.5. Амплітудний спектр одиничного прямокутного відеоімпульсу

Як бачимо, що важливо, ширина спектра одиничного прямокутного відеоімпульсу обернено пропорційна його тривалості, тобто чим коротший імпульс, тим ширший його спектр, і навпаки.

Періодична послідовність прямокутних відеоімпульсів

Така послідовність має аналогічну математичну модель як і одиничний відеоімпульс, з тією різницею, що імпульси повторюються з періодом T (рис.5.6).

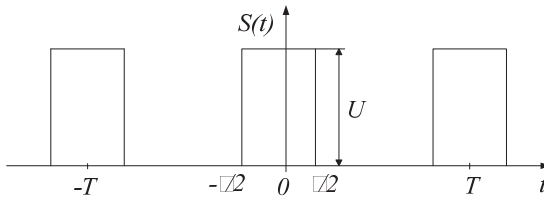


Рис.5.6. Зображення послідовності прямокутних відео імпульсів

Оскільки послідовність - періодична, то можна знайти коефіцієнти ряду Фур'є, а саме:

$$a_0 = \frac{2U}{T} \int_{-\frac{\tau}{2}}^{\frac{\tau}{2}} dt = \frac{2U\tau}{T}$$

$$a_k = \frac{2U}{T} \int_{-\frac{\tau}{2}}^{\frac{\tau}{2}} \cos(k\omega_1 t) dt = \frac{2U\tau}{T} \frac{\sin(k\omega_1 \tau / 2)}{k\omega_1 \tau / 2}$$

$$b_k = \frac{2U}{T} \int_{-\frac{\tau}{2}}^{\frac{\tau}{2}} \sin(k\omega_1 t) dt = 0$$

Введемо означення шпаруватості послідовності імпульсів як відношення періоду проходження імпульсів T до їхньої тривалості τ :

$$q = \frac{T}{\tau}.$$

Тоді систему коефіцієнтів можна зобразити у наступному вигляді:

$$a_0 = \frac{2U}{q}, \quad a_k = \frac{2U}{q} \frac{\sin(k\pi/q)}{k\pi/q}, \quad b_k = 0.$$

Тепер запишемо ряд Фур'є для періодичної послідовності прямокутних відео імпульсів як

$$s(t) = \frac{U}{q} \left(1 + 2 \sum_{k=1}^{\infty} \frac{\sin(k\pi/q)}{k\pi/q} \cdot \cos(k\omega_1 t) \right). \quad (5.12)$$

Відповідно до виразу (5.12) розглянутий періодичний сигнал можна зобразити як суму сталої складової

$$A_0 = \frac{a_0}{2} = \frac{U}{q}$$

і нескінченної сукупності гармонічних коливань на частотах $\omega_k = k\omega_1$ з амплітудами, які визначаються як модуль величини, що є співмножником гармонічного коливання $\cos(k\omega_1 t)$, тобто

$$A_k = \frac{2U}{q} \left| \frac{\sin(k\pi/q)}{k\pi/q} \right|, \quad k = 1, 2, \dots$$

Із співвідношення (5.12) випливає, що амплітудний спектр періодичної послідовності прямокутних відео імпульсів є дискретним (рис.5.7).

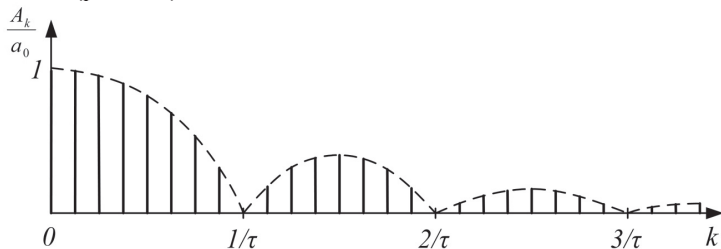


Рис.5.7. Спектр періодичної послідовності прямокутних відео імпульсів

Як бачимо, чим більшою є шпаруватість періодичної послідовності відео імпульсів, тим більше гармонік спектра міститься в кожній пелюстці. При фіксованому періоді проходження імпульсів зі зменшенням тривалості імпульсів збільшується ширина основної пелюстки спектра, і навпаки.

Трикутний відеоімпульс

Математична модель $s(t)$ одиничного трикутного сигналу описується наступною системою рівностей:

$$s(t) = \begin{cases} U(1 + \frac{t}{\tau/2}), & -\tau/2 \leq t \leq 0, \\ U(1 - \frac{t}{\tau/2}), & 0 \leq t \leq \tau/2, \\ 0, & |t| > \tau/2, \end{cases}$$

Графічне відображення цього імпульсу показано на рис.5.8.

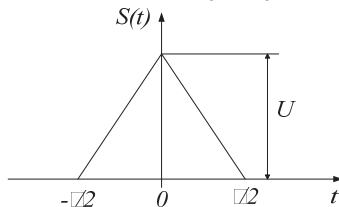


Рис.5.8. Зображення одиничного трикутного відео імпульсу

Вираз для спектру амплітуд трикутного відео імпульсу є наступним:

$$S(\xi) = \frac{U\tau}{2} \cdot \left(\frac{\sin \xi}{\xi} \right)^2 \quad \text{де } \xi = \omega\tau / 4.$$

Як бачимо, нормований спектр трикутного імпульсу має такий самий вигляд як і прямокутного, але ширина спектру трикутного відео імпульсу є удвічі більшою при однаковій довжині цих імпульсів.

Періодична послідовність трикутних відео імпульсів

Періодичну послідовність трикутних імпульсів зображено на рис.5.9.

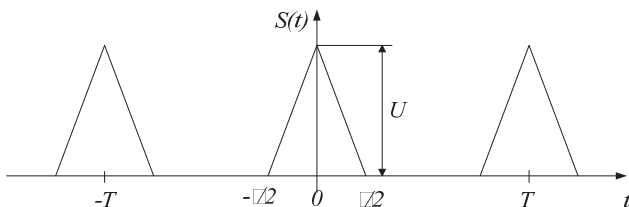


Рис.5.9. Послідовність трикутних відео імпульсів

Математичне представлення такої послідовності має наступний вигляд:

$$s(t) = \frac{U}{2q} \left(1 + 2 \sum_{k=1}^{\infty} \left(\frac{\sin(k\pi / 2q)}{k\pi / 2q} \right)^2 \cdot \cos(k\omega_1 t) \right). \quad (5.13)$$

Амплітудний спектр послідовності трикутних імпульсів показано на рис.5.10.

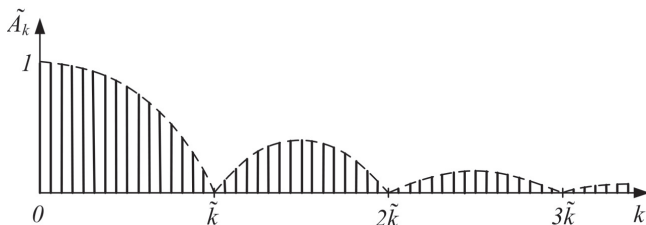


Рис.5.10. Спектр амплітуд послідовності трикутних відео імпульсів

При однаковій шпаруватості кількість гармонік, що містяться в пелюстці спектра амплітуд періодичної послідовності трикутних сигналів, удвічі більше відповідної кількості гармонік періодичної послідовності прямокутних сигналів.

Гаусівський відеоімпульс

Гаусівський сигнал описується аналітичним виразом:

$$s(t) = U \cdot e^{-\frac{t^2}{2\tau^2}}, \quad -\infty < t < \infty. \quad (5.14)$$

Цей імпульс (див.рис.5.11) збігається за формою з графіком нормального (гаусівського) закону розподілу ймовірності.

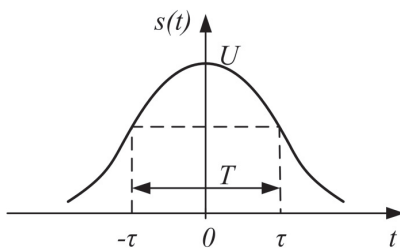


Рис.5.11. Зображення форми гаусівського відео імпульсу

Параметр τ у формулі (5.14) має значення половини тривалості імпульсу, що визначається на рівні $e^{-1/2}$ від амплітуди імпульсу, тобто повна тривалість гаусівського імпульсу згідно рис.5.11 дорівнює 2τ .

Перетворення Фур'є такого імпульсу у загальній формі має наступний вигляд:

$$S(\omega) = U \int_{-\infty}^{\infty} e^{-\frac{t^2}{2\tau^2}} \cdot e^{-j\omega t} dt = U \int_{-\infty}^{\infty} e^{-\left(\frac{t^2}{2\tau^2} + j\omega t\right)} dt.$$

Після математичних перетворень та інтегрування вищенаведеного виразу будемо мати наступний вираз для спектральної щільності спектра гаусівського відео імпульсу:

$$S(\omega) = U\tau \sqrt{\frac{2}{\pi}} \cdot e^{-\frac{(\omega\tau)^2}{2}}. \quad (5.15)$$

Із зіставлення формул (5.14) і (5.15) випливає, що гаусівський імпульс і його спектр відображаються однаковими функціями і мають властивість симетрії. Підкреслимо, що гаусівський сигнал – це єдиний сигнал, для якого форми його часової функції і спектральної щільності є однаковими.

Однобічний експоненціальний відеоімпульс

Розглянемо сигнал (форма якого представлена на рис.5.12,а), що описується наступною формулою:

$$s(t) = U \cdot e^{-\alpha \cdot t}, \quad t \geq 0.$$

Такий сигнал лише умовно можна назвати імпульсом через його нескінченність при $t \rightarrow \infty$.

Спектральна щільність такого імпульсу є комплексною функцією виду

$$\dot{S}(\omega) = \frac{U}{\alpha + j\omega}.$$

Амплітудний спектр є модулем спектральної щільності:

$$A(\omega) = \frac{U}{\sqrt{\alpha^2 + \omega^2}}.$$

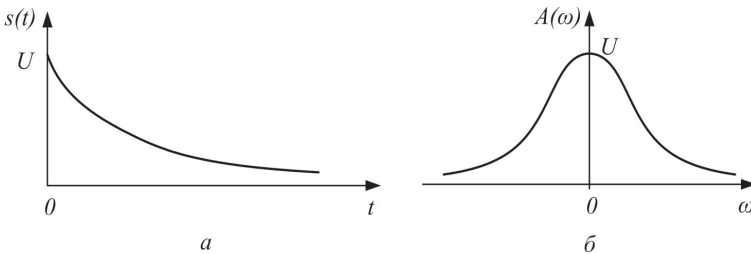


Рис.5.11. Однобічний експоненціальний імпульс (а) і його амплітудний спектр (б)

Двобічний експоненціальний відео імпульс

Математична модель двобічного експоненціального імпульсу має наступний вигляд:

$$s(t) = U \cdot e^{-\alpha|t|}, \quad t \in (-\infty; \infty).$$

Форма цього імпульсу показана на рис.5.12.

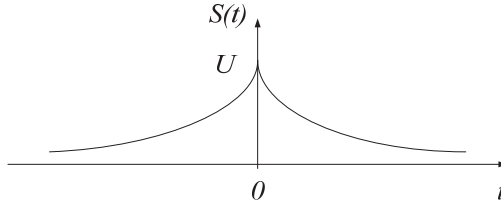


Рис.5.12. Зображення форми двобічного експоненціального імпульсу

Спектральна щільність двобічного експоненціального імпульсу є дійсною функцією (оскільки функція є парною) і дорівнює його амплітудному спектру:

$$A(\omega) = S(\omega) = \frac{2\alpha U}{\alpha^2 + \omega^2}.$$

Форма спектра двобічного експоненціального імпульсу така ж, як і в однобічного, з точністю до масштабного коефіцієнту.

Дельта-функція

Дельта-функція або функція Дірака, або одиничний імпульс $\delta(t)$ можна визначити наступним чином:

$$\delta(t) = \begin{cases} \infty, & t = 0, \\ 0, & t \neq 0, \end{cases}$$

причому такий імпульс має одиничну площу, тобто:

$$\int_{-\infty}^{\infty} \delta(t) dt = 1.$$

Застосовуючи пряме перетворення Фур'є до сигналу $\delta(t)$, маємо

$$\dot{S}(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} \delta(t) \cdot e^{-j\omega t} dt = 1, \quad -\infty < \omega < \infty.$$

Отже, спектральна щільність дельта-функції є дійсною функцією і дорівнює одиниці для всіх частот, тобто

$$S(\omega) = 1, \quad -\infty < \omega < \infty.$$

Таким чином, спектр одиничного імпульсу $\delta(t)$ має щільність, що дорівнює одиниці на всій нескінченній осі частот, тобто внески всіх спектральних складових дельта-функції підсумовуються в момент $t=0$, утворюючи нескінченно великий пік, а в момент $t \neq 0$, внески цих самих складових взаємно компенсуються.

Незмінний у часі сигнал

Математичну модель незмінного в часі сигналу можна записати у вигляді

$$s(t) = U_0, \quad -\infty < t < \infty. \quad (5.16)$$

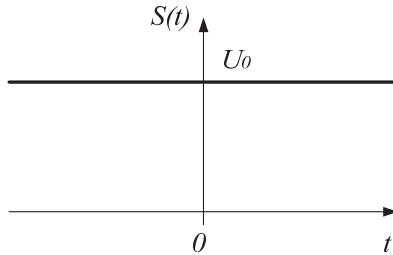


Рис.5.13. Форма незмінного у часі сигналу

Спектральна щільність незмінного у часі сигналу не обчислюється за класичною формулою прямого перетворення Фур'є, оскільки інтеграл

$$\int_{-\infty}^{\infty} U_0 \cdot e^{-j\omega t} dt$$

не є невизначеним. Тому сигнал (5.16) зручно зобразити за допомогою оберненого перетворення Фур'є:

$$U_0 = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \dot{S}(\omega) \cdot e^{j\omega t} d\omega.$$

Використовуючи фільтрувальні властивості дельта-функції

$$\dot{S}(\omega) = 2\pi \cdot U_0 \cdot \delta(\omega)$$

можна встановити наступну відповідність:

$$U_0 \leftrightarrow 2\pi \cdot U_0 \cdot \delta(\omega).$$

Фізичний зміст отриманого результату: незмінний у часі сигнал має спектральну компоненту тільки на нульовій частоті, тобто містить тільки нульову гармоніку.

Східчастий сигнал

Математична модель східчастого сигналу (рис.5.14, а), який іноді називають функцією включення, є наступною:

$$\sigma(t) = \begin{cases} 1, & t \geq 0, \\ 0, & t < 0, \end{cases}$$

Спектральний аналіз даного сигналу досить складний, однак після ряду відповідних перетворень остаточний вираз для амплітудного спектру цього сигналу буде мати наступний вигляд:

$$A(\omega) = \begin{cases} \infty, & \omega = 0, \\ 1/|\omega|, & \omega \neq 0, \end{cases}$$

Амплітудний спектр східчастого сигналу зображено на рис.5.14.

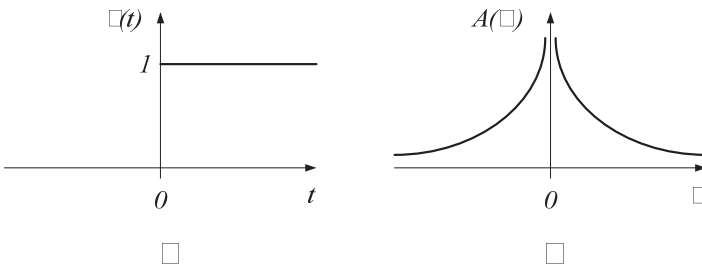


Рис.5.14. Східчастий сигнал (а) і його амплітудний спектр (б)

Аналізуючи функцію включення, можна зробити висновок, що амплітуда її спектру прагне до нескінченності при наближенні до точки $\omega=0$, а при віддаленні від неї спадає за гіперболічним законом.

Радіоімпульс

Радіоімпульс (рис.5.15,*a*) у математичному вигляді задається добутком деякого відео імпульсу, що відіграє роль обвідної, і деякого гармонічного коливання:

$$s_p(t) = s_e \cdot \cos \omega_0 t.$$

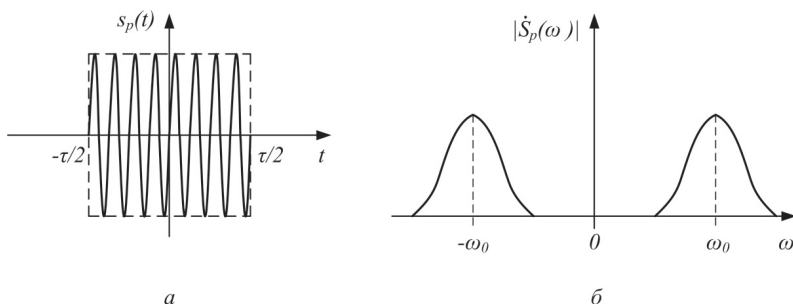


Рис.5.15. Зображення форми радіоімпульсу (*a*) та його спектру (*б*)

Для знаходження спектральної щільності радіоімпульсу вважатимемо відомою функцію $\dot{S}_e(\omega)$ – спектральну щільність обвідної радіоімпульсу.

Спектр косинусоїдального коливання визначається за формулою:

$$\cos \omega_0 t \leftrightarrow \pi[\delta(\omega - \omega_0) + \delta(\omega + \omega_0)].$$

Спектр радіоімпульсу з точністю до множника $1/2\pi$ є згорткою спектрів двох сигналів: відео імпульсу і гармонічного коливання, тобто з урахуванням фільтрувальних властивостей дельта-функції будемо мати:

$$\dot{S}_p(\omega) = \frac{1}{2} \dot{S}_e(\omega - \omega_0) + \frac{1}{2} \dot{S}_e(\omega + \omega_0).$$

Отже, перехід від відео до радіоімпульсу в спектральному відображенні означає перенесення спектра відео імпульсу в область високих частот: замість єдиного максимуму спектральної щільності відео імпульсу при $\omega=0$ спостерігається два максимуми на частотах $\pm\omega_0$.

Амплітудно-модульований сигнал

Модуляція – процес зміни одного або декількох параметрів високочастотного модульованого коливання відповідно до закону зміни низькочастотного інформаційного сигналу.

Амплітудна модуляція (АМ) – процес зміни амплітуди високочастотного (несучого) сигналу за законом низькочастотного (інформаційного).

Математично АМ-сигнал записується як

$$U_{AM}(t) = U_m [1 + m \cdot F(t)] \sin(\omega_0 t + \varphi_0) \quad (5.17)$$

де U_m – амплітуда несучого сигналу, $F(t)$ – функція, що здійснює модулювання, m – коефіцієнт модуляції, ω_0 – частота несучого сигналу, φ_0 – фаза несучого сигналу.

Коефіцієнт модуляції характеризує ступінь впливу інформаційного сигналу на несучу і лежить у межах $0 < m < 1$.

Розглянемо простий випадок – синусоїдної модуляції (рис.5.16), тобто коли

$$F(t) = \sin \Omega t \quad (5.18)$$

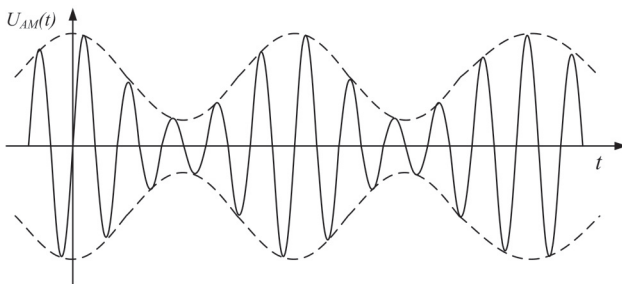


Рис.5.16. Вигляд амплітудно-модульованого сигналу

Підставивши рівняння (5.18) в (5.17) і розкривши дужки, отримаємо:

$$\begin{aligned}
 U_{AM}(t) &= U_m [\sin(\omega_0 t + \varphi_0) + m \cdot \sin(\omega_0 t + \varphi_0) \sin \Omega t] = \\
 &= U_m \sin(\omega_0 t + \varphi_0) + \frac{U_m \cdot m}{2} \cos[(\omega_0 - \Omega)t + \varphi_0] - \\
 &\quad - \frac{U_m \cdot m}{2} \cos[(\omega_0 + \Omega)t + \varphi_0]
 \end{aligned}$$

Отже, коливання, яке модульоване синусоїдним сигналом, має дискретний спектр, що складається з трьох спектральних ліній (рис.5.17). Додаткові частоти, що винили внаслідок модуляції $\omega_0 - \Omega$ і $\omega_0 + \Omega$ називають бічними.

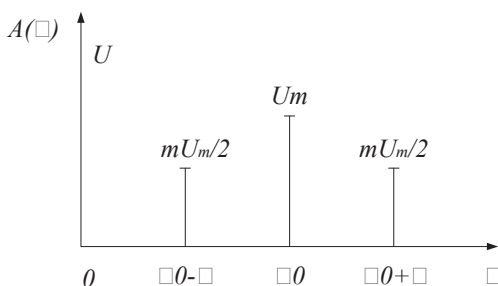


Рис.5.17. Спектр АМ сигналу

Слід додати, що при модуляції більш складними сигналами, замість спектральних ліній на бокових частотах, містяться бокові смуги, що відображають спектральний склад корисного сигналу. Також слід пам'ятати, що існує велика множина різних підвидів амплітудної модуляції (односмугова, балансна та ін.).

Частотно-модульований сигнал

Частотна модуляція – це процес, коли частота несучого коливання змінюється за законом корисного сигналу. Припустимо, що частота модулюється за косинусоїдальним законом (див. рис.5.18):

$$\omega(t) = \omega_0 + \Delta\omega \cdot \cos \Omega t = \omega_0 \left(1 + \frac{\Delta\omega}{\omega_0} \cos \Omega t\right),$$

де $\Delta\omega$ – відхилення частоти несучого коливання, $\Delta\omega/\omega_0$ – відносне змінювання частоти, тобто глибина модуляції частоти.

Колова частота є похідною за часом від аргументу тригонометричної функції, що описує коливання. Тому вираз для частотно-модульованого (ЧМ) коливання за синусоїдним законом записується наступним чином:

$$\begin{aligned} U_{\text{чм}}(t) &= U_m \sin \left[\int_0^t \omega(t) dt \right] = U_m \sin \left[\omega_0 t + \frac{\Delta\omega}{\Omega} \sin \Omega t \right] = \\ &= U_m \left[\sin \omega_0 t \cos(\beta \sin \Omega t) + \cos \omega_0 t \sin(\beta \sin \Omega t) \right] \end{aligned}$$

де $\beta = \Delta\omega/\Omega$ – індекс модуляції.

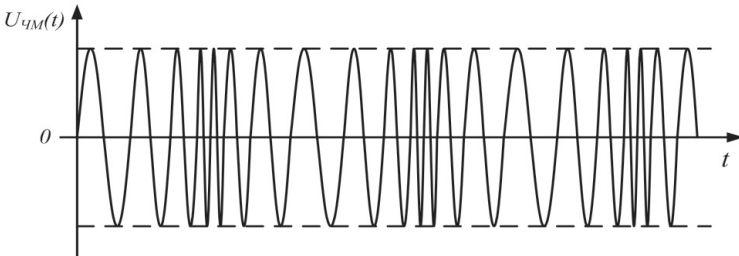


Рис.5.18. Вигляд частотно-модульованого сигналу

Розглянемо ЧМ з малим індексом ($\beta \ll 1$). Знаючи, що косинус та синус малого аргументу можна замінити відповідно на одиницю та самий аргумент, отримаємо:

$$U_{\text{чм}}(t) = U_m \left[\sin \omega_0 t + \beta \sin \Omega t \cos \omega_0 t \right],$$

тобто маємо вираз, що принципово не відрізняється від виразу для АМ-коливання.

Тому спектр ЧМ-коливання за синусоїдної модуляції з малим

індексом, так само як і спектр АМ-коливання, складається з несучої та двох бокових частот.

За довільного значення β , застосовуючи відомі формули теорії Бесселевих функцій, одержуємо:

$$U_{\text{чм}}(t) = U_m \left\{ J_0(\beta) \sin \omega_0 t + \sum_{k=1}^{\infty} J_k(\beta) \left[\sin(\omega_0 + k \Omega t) + (-1)^k \sin(\omega_0 t + k \Omega t) \right] \right\},$$

де $J_k(\cdot)$ – функція Бесселя першого роду k -го порядку.

Отже, маємо коливання з лінійчатим спектром. На відміну від АМ тут за синусоїдної модуляції виникає безмежний спектр. Проте на практиці він є обмеженим, оскільки амплітуди гармонік пропорційні $J_k(\beta)$, а ці функції характеризуються тим, що набувають дуже малих значень при високих значеннях порядку k .

Отже, спектр ЧМ-сигналу при великих індексах модуляції значно ширший, ніж спектр АМ-сигналу.

Фазо-модульований сигнал

У цьому випадку фаза сигналу несучої частоти змінюється за законом інформаційного сигналу, а сам ФМ сигнал записується як:

$$U_{\text{фм}}(t) = U_m \sin[\omega_0 t + \varphi_0 + \Delta\varphi s(t)],$$

де $\Delta\varphi$ – девіація фази сигналу несучої частоти; $s(t)$ – інформаційний сигнал.

По суті ФМ і ЧМ утворюють сигнали одного виду. Відмінність полягає лише в тому, що у разі ФМ в аргумент синусоїдної функції входить сам інформаційний сигнал, а в разі ЧМ – його інтеграл. У разі синусоїдної модуляції розбіжність у формі модульованих коливань та їхніх спектрів узагалі помітити неможливо, оскільки інтеграл від синусоїди є косинусоїда, тобто знову ж таки синусоїда, але зсунута за фазою на $\pi/2$.

Методи представлення дискретних сигналів у вигляді спеціальних діаграм.

Основне розповсюдження отримали два класи спеціальних діаграм:

- 1) діаграми представлення фізичних параметрів послідовностей

дискретних сигналів, до котрих відносяться окові діаграми та діаграми стану;

2) алгоритмічні діаграми представлення послідовностей дискретних сигналів, до котрих відносяться деревоподібні діаграми та різноманітні види діаграм Треліса.

Діаграми представлення фізичних параметрів послідовностей дискретних сигналів використовуються для аналізу послідовностей як простих бінарних цифрових сигналів, так і складних модульованих сигналів, що знайшли застосування у радіотехнічних системах передачі і системах радіозв'язку.

5.7 Окові діаграми

5.7.1. Сутність методу окових діаграм

Основна перевага методу представлення послідовностей дискретних сигналів у вигляді так званих окових діаграм – це наглядність представлення результатів аналізу сигналів на екрані осцилографа та простота реалізації, оскільки для представлення досліджуваних послідовностей сигналів потрібен лише осцилограф. Виявилось: якщо подавати досліджувані послідовності дискретних сигналів (з кінцевим та, бажано, не вельми великим числом розрізняваних станів цих сигналів) на вхід осцилографа, то на екрані осцилографа можливо спостерігати сталі характерні „картинки”, котрі візуально демонструють характер та величину спотворень досліджуваних сигналів (або, навпаки, засвідчують, що вони були сформовані та передані через канал без спотворень). Однак при цьому необхідно коректно здійснювати синхронізацію досліджуваних послідовностей сигналів з періодом розгортки осцилографа (тобто, правильно обирати синхронізуючі послідовності сигналів, котрі подаються на вхід зовнішньої розгортки осцилографа). У даному випадку мова йде про дослідження послідовностей сигналів (не обов'язково періодичних, але обов'язково дискретних, з кінцевим числом станів), оскільки, як правило, одиничний сигнал на екрані осцилографа практично неможливо побачити. Простіше за усе за допомогою осцилографа досліджувати періодичні сигнали, наприклад синусоїду або періодичну послідовність однакових за формою відеоімпульсів,

коли існує можливість „засинхронізувати” період досліджуваних сигналів з періодом розгортки осцилографа. Проте послідовності однакових за формою сигналів не переносять інформацію користувачів систем зв'язку. Тому періодичні „однакові” сигнали у системах зв'язку мають вузьке коло застосувань, головним чином для технологічних цілей – синхронізації, тестування або налагодження елементів обладнання.

За допомогою окових діаграм можливо здійснювати дослідження: як періодичних, так і не періодичних послідовностей дискретних сигналів; як однакових, так і не однакових (але відносно близьких за формою) сигналів. Головне, щоб кількість можливих станів елементарних сигналів, що входять до складу досліджуваних послідовностей і подаються на вхід осцилографа, була кінцевою та однаковою для усіх сигналів. Важливо також, щоб тривалість елементарних сигналів була кратною періоду розгортки осцилографа. Інакше не отримаєш сталу „картинку” на осцилографі. Слід звернути увагу: якщо форма елементарних сигналів, що складають періодичні послідовності, змінюється у часі у певних розумних межах (можливо, випадковим чином), то це візуально на екрані сприймається як спотворення сигналів. Чим більше змінюється форма сигналів на екрані, тим вище рівень спотворень.

Розглянемо простий випадок застосування окової діаграми, коли на вхід осцилографа подається потік двійкових сигналів, що розбитий на тріади. Потрібно за допомогою окової діаграми на екрані осцилографа оцінити вигляд усіх можливих бітових тріад сигналів, тобто вигляд тріади „000”, потім вигляд тріади „001”, потім „010” і т.д. аж до останньої тріади „111”. При цьому оцінювання вигляду тріад необхідно здійснювати для двох можливих випадків: перший випадок – коли тріади просуваються через канал зв'язку за умов відсутності спотворень (це ідеальний випадок, котрий фактично ілюструє вигляд сигналів на виході джерела двійкового потоку сигналів ще до моменту їхнього проходження через канал); другий випадок – коли канал зв'язку спотворює форму сигналів тріади, що проходять через нього (це реальний випадок, котрий ілюструє вигляд реальних сигналів на виході каналу зв'язку). Блок-схема вимірювальної установки, що

дозволяє побачити окові діаграми тріад для вищеназваних випадків, показана на рис.5.19.

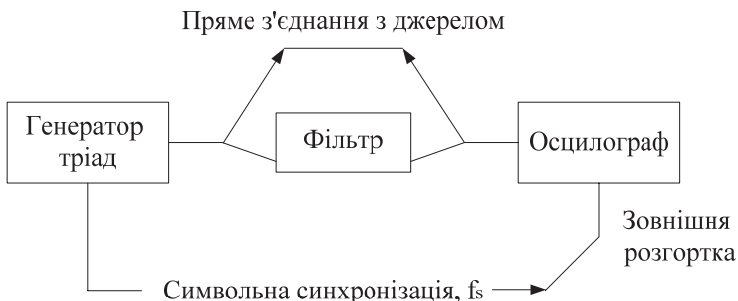


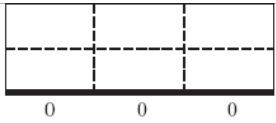

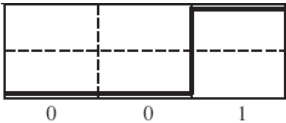
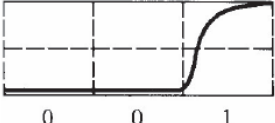
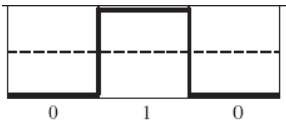

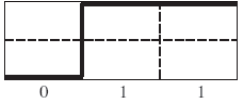
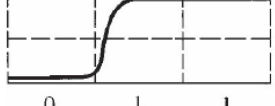
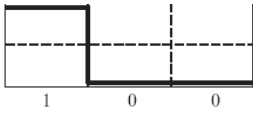
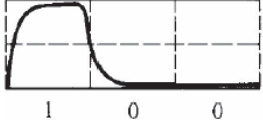
Рис.5.19. Блок-схема виміральної установки для отримання окових діаграм регулярних бітових тріад виду 000, 001,, 011, 111

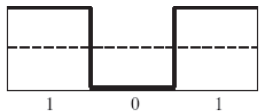
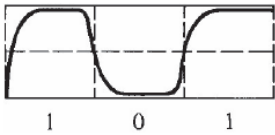
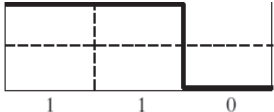
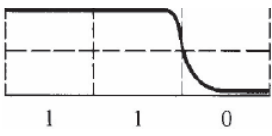
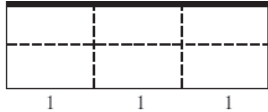
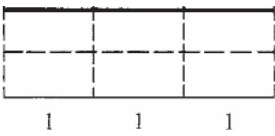

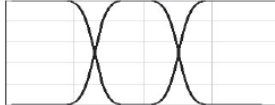
Відповідно до рис.5.19 регулярні періодичні послідовності, що формуються генератором тріад, подаються на вхід осцилографа або напряму (моделюється ідеальний випадок передавання тріад без спотворень), або через смуговий фільтр (котрий моделює спотворюючий вплив реального каналу, оскільки спектри сигналів, що проходять через фільтр, не „влізають” у смугу пропускання фільтру). Тріади в осцилографі потрібно коректно засинхронізувати. Наприклад так, щоб на екрані поміщалася лише одна тріада. Тоді частота синхропослідовності, що подається на зовнішню розгортку осцилографа, має бути утрое менше за частоту бітового потоку. Тріада бітів являє собою певний символ, що визначається у десятковій системі від 0 до 7. Тому ланцюг синхронізації осцилографа на схемі рис.5.19 називається ланцюгом символічної синхронізації.

Окові діаграми тріад, що сформовані генератором і подаються у вигляді бітового потоку сигналів, показані у табл.5.5. Показано приклад формування окової діаграми безпосередньо на виході джерела тріад та на виході смугового фільтра, що моделює фізичний канал зв'язку.

Таблиця 5.5

Окові діаграми триад, що складені із двійкових сигналів

Бітова послідовність елементарних сигналів, що розбита на триади		
Двійковий код триади	Окова діаграма триади безпосередньо на виході генератора триад	Окова діаграма триади на виході смугового фільтра
000		
001		
010		
011		
100		

101		
110		
111		
Супер-позиція		

Якщо на рис.5.19 замість генератора детермінованих послідовностей тріад використати генератор псевдовипадкових бітових послідовностей (ГПВП), то на вхід осцилографа будуть надходити випадковим чином різноманітні комбінації тріад та „картинка” ускладниться (вона буде виглядати так, як це показано в останньому рядку табл.5.5 з назвою „суперпозиція”). Тобто, у цьому випадку реальна осцилограма бітового потоку „розрізається” посимвольно у відповідності із тактовими імпульсами синхронізуючого генератора, а потім окова діаграма „складається” із отриманих шматків. Як результат такого складання в ідеальному випадку без фільтра сформується квадрат („квадратне око”). У той час як окова діаграма тріад на виході смугового фільтра буде суттєво відрізнитися від квадрата, оскільки буде містити складові зростання фронту сигналу та спадання його фронту. Прямокутний

імпульс буде мати форму колоколу. Як результат, сформується діаграма більш схожа на око.

Таким чином, окова діаграма являє собою результат багатократного накладання одна на одну бітових послідовностей, що надходять від генератора ПВП і відображаються на екрані осцилографа у вигляді діаграми розподілу амплітуди сигналу у часі. По формі „ока” можливо робити висновки щодо ступеню зростання або спадання фронтів елементарних сигналів, що складають тріаду, і, отже, можливо робити висновки щодо ступеню негативного впливу характеристик каналу на якість проходження сигналів через канал.

Дослідження око-діаграм дозволяє провести детальний аналіз послідовностей дискретних сигналів за параметрами, що безпосередньо пов'язані із формою хвильового фронту: параметром міжсимвольної інтерференції, джитером передавання даних, джитером синхронізації і т.ін.

Розглянемо параметри окової діаграми, по величині котрих можливо оцінювати на кількісному рівні ступень спотворення дискретних сигналів, що подаються на вхід осцилографа. Припустимо, на вхід осцилографа подається бітовий потік реальних відеоімпульсів, де логічному „0” відповідає негативний відеоімпульс з амплітудою E_0 , а логічний „1” – позитивний відеоімпульс з амплітудою E_1 . Окова діаграма такого потоку відеоімпульсів показана на рис.5.20. Як бачимо, через спотворення у каналі реальні відеоімпульси не будуть мати строго прямокутну форму: фронти відеоімпульсів будуть задовжені, самі імпульси будуть розповзатися або звужуватися або навіть „тремтіти” у часі, з'являться коливальні складові і т.ін. Ефекти розширення імпульсу, а також фазове тремтіння сигналу викликають появу взаємних спотворень між символами, що призводить до перетину око-діаграми із часовою віссю у різні проміжки часу. На око-діаграмі рис.5.20 показані її основні параметри (згідно даних книги І.Г.Бакланова «Методы измерений в системах связи»).

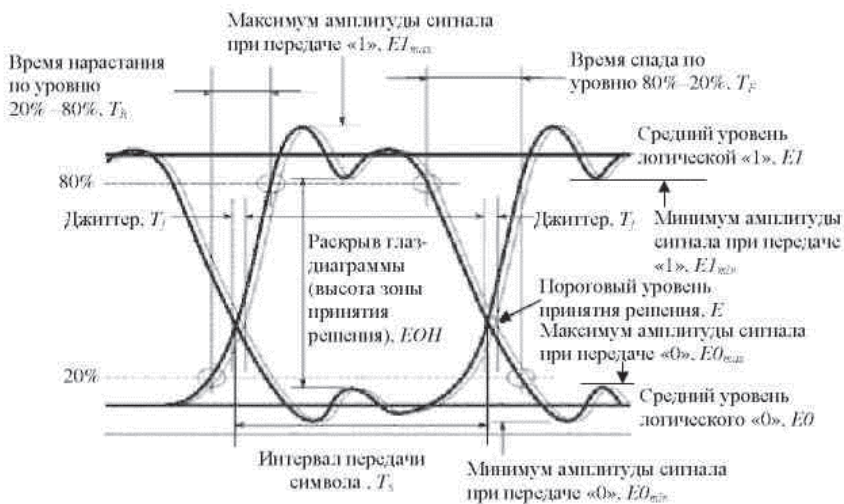


Рис.5.20. Идентифікація параметрів око-діаграми

До цих параметрів відноситься, перш за все, розкриття око-діаграми EOH , від якого залежить поріг прийняття рішення E в задачах розрізнення сигналів. Важливе значення має час зростання, а також і час спадання сигналів за певним рівнем, що характеризує ступінь лінійних спотворень у каналі.

Максимальна ширина області перетину із часовою віссю визначається як пікове фазове тремтіння або джитер передачі даних T_j . Джитер вимірюється зазвичай в одиницях часу або як відношення до інтервалу передачі символу T_j/T_s .

За допомогою окових діаграм можливо представити не тільки послідовності двійкових сигналів, але і багаторівневих сигналів, що важливо під час досліджень процесів лінійного кодування у цифрових каналах типу DSL або ISDN, котрі розглядаються у наступних лекціях.

У випадку побудови багаторівневих діаграм блок-схема вимірювальної установки (див.рис.5.21) має включати до свого складу, поряд з іншим, ще і багаторівневий конвертор, що моделює процес лінійного кодування відповідно до досліджуваного багаторівневого коду (наприклад, HDB3, 2B1Q і т.ін.).

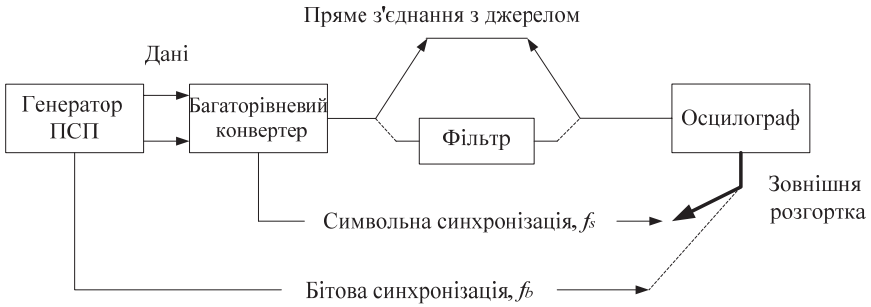


Рис.5.21. Блок-схема вимірювальної установки для отримання окових діаграм багаторівневих сигналів

Сигнал із виходу двійкового генератора ПВП має проходити через багаторівневий конвертер, а синхронізація здійснюватися від символного потоку з частотою f_s . Під час калібрування окової діаграми сигнал зазвичай подають в обхід смугового фільтра, що обмежує спектр сигналу. Фільтр, що обмежує смугу сигналу, вносить суттєві зміни у форму імпульсу, у результаті чого отримується діаграма у вигляді „стандартного ока”.

Як вже зазначалось, окові діаграми використовують періодичну структуру дискретних сигналів. За рахунок підбору періоду сигналу зовнішньої синхронізації розгортки осцилографу, отримувані осцилограми „шматків” сигнальних послідовностей, що дорівнюють періоду спостережуваної послідовності, накладаються один на один. Як результат на екрані осцилографа ми бачимо окову діаграму, при цьому на вісі ординат відкладається амплітуда сигнальних послідовностей, а на вісі абсцис – час, відповідно.

Дослідження окових діаграм дозволяє провести детальний аналіз сигналів як за амплітудними, так і за часовими параметрами око-діаграм.

5.7.2. Вимірювання амплітудних параметрів око-діаграми

Досліджуваний сигнал, у той чи іншій мірі, характеризують наступні амплітудні параметри око-діаграми:

- оковий рівень;
- амплітуда ока;
- рівень окового перетину;

- висота ока;
- окове відношення сигнал-шум;
- добротність ока.

Для визначення будь-якого із вищеперерахованих параметрів розглядають окову діаграму уздовж вертикалі.

Оковий рівень (*Eye Level*). Оковий рівень – це певний амплітудний рівень вертикальної шкали відображення сигналу на оковій діаграмі, що розглядається з тією чи іншою метою у даний момент часу. Вимірюється в одиницях амплітуди (AU). Сигнали на оковій діаграмі відображаються у вигляді ліній. Але слово «лінія відображення сигналу» не слід розуміти буквально. З цього приводу слід зазначити наступне. На певних окових рівнях спостерігаються відповідні лінії, що візуально відображають структуру досліджуваних послідовностей дискретних сигналів. Через спотворення сигналів, як правило, лінії, що спостерігаються на око-діаграмах, представляються „розмазаними” (розмитими). Ступінь розмитості лінії по вертикалі характеризується параметром σ , що називається дисперсією розкиду амплітуди досліджуваних сигналів. На практиці застосовують трьохкратне значення 3σ , що називається стандартна девіація, тобто вважають, що краї розмитої лінії по вертикалі знаходяться на відстані 3σ від середньої величини функції розподілу амплітуд PDF (probability distribution function: функція розподілу ймовірностей) цієї лінії.

Аналіз особливостей представлення окових рівнів має враховувати „розмазаність” цих рівнів як за вертикальною, так і за горизонтальною вісями. Якщо спостерігати окову діаграму по горизонталі (тобто, уздовж вісі часу), то окові рівні теж слід визначати не для якогось одного моменту часу, а розглядати їх на протязі певного часового інтервалу розмитості лінії. Наприклад, на рис.5.22 інтервал спостереження розмитості окових рівнів обмежується вікном, утвореним двома вертикальними лініями в районі часового моменту 10×10^{-3} с. Відстань по горизонталі між цими вертикальними лініями - це є інтервал розмитості лінії відображення сигналу по горизонталі.

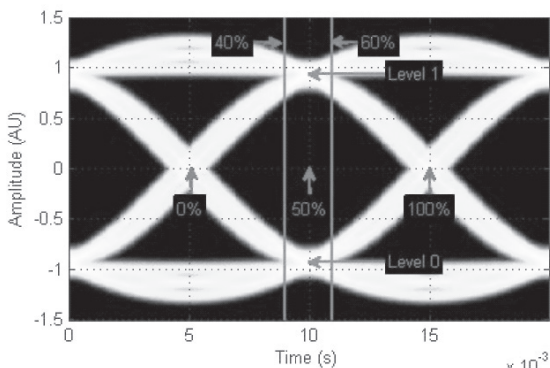


Рис. 5.22. Вікно, у рамках якого аналізуються окові рівні

На цьому інтервалі спостереження для ідеального NRZ-сигнала, що відображений на рис.5.22, існує два окових рівня: $+1\text{AU}$ та -1AU . Розмазаність окових рівнів по вертикалі характеризується за допомогою вертикальних гистограм розподілу їхніх амплітуд. Зокрема, для окових рівнів NRZ-сигнала (тобто, для рівнів $+1\text{AU}$ та -1AU) вертикальна гистограма розподілу амплітуд показана на рис.5.23.

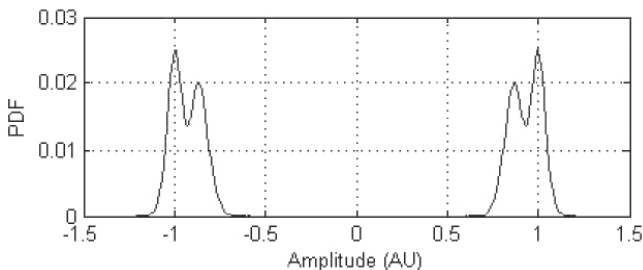


Рис. 5.23. Вертикальна гистограма розподілу амплітуд окових рівнів

Ця гистограма будується наступним чином. Ширина вікна (див.рис.5.22) розбивається на десять більш дрібних часових інтервалів. На краях цих дрібних інтервалів визначаються індивідуальні вертикальні гистограми розподілу амплітуд окових рівнів. Потім ці індивідуальні гистограми усереднюються в межах окових рівнів. Так що, на рис.5.23 показано усереднений розподіл окових рівнів NRZ-сигнала.

Амплітуда ока (*Eye Amplitude*). Амплітуда ока може визначатися у будь-яких зручних для вимірювань одиницях (так званих амплітудних одиницях, *Amplitude Unit, AU*) і являє собою відстань по вертикалі між двома сусідніми оковими рівнями (див.рис.5.24).

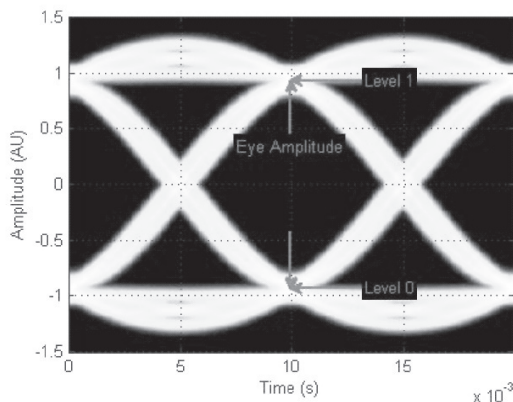


Рис. 5.24. Визначення величини амплітуди ока

Наприклад, для NRZ-сигналу існує лише два рівня: високий рівень (рівень 1, на рис.5.24 він дорівнює 1AU) та низький рівень (рівень 0, на рис.5.24 він дорівнює мінус 1 AU). Окові рівні на окодіаграмі рис.5.24 виглядають „розмазаними”. Тому потрібно умовитися, як саме визначати відстань між оковими рівнями. Якщо для визначення окового рівня брати приблизно середнє значення розмазаної лінії, то амплітуда ока на рис.5.24 – це різниця між середніми значеннями сусідніх окових рівнів, тобто $1 - (-1) = 2$ AU.

Рівень окового перетину (*Eye Crossing Level, ECL*). Рівень окового перетину – це рівень амплітуди на оковій діаграмі, на котрому виник перетин досліджуваної частини лінії відображення сигналу з певним чином визначеним оковим рівнем. Вимірюється в одиницях амплітуди (AU). На рис.5.25 показано два часові моменти окового перетину – A1 (в момент 5×10^{-3} сек) та A2 (в момент 15×10^{-3} сек).

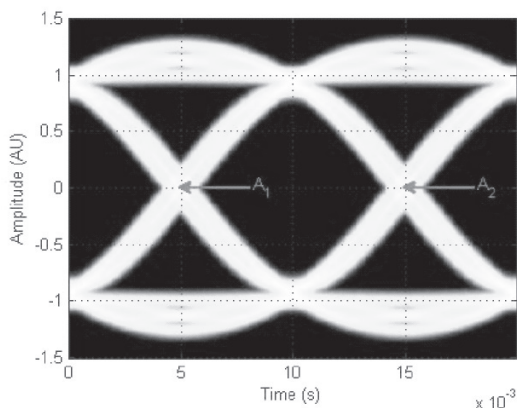


Рис. 5.25. Визначення рівнів окового перетину для двох моментів A_1 та A_2

Як бачимо, лінії, що утворюють окові перетини, також „розмазані”. Для моменту A_1 на рис 5.25 маємо три рівні окового перетину – верхній рівень (середнє значення цього рівню – трохи більше за плюс 1AU), середній рівень (середнє значення цього рівню дорівнює 0AU), нижній рівень (середнє значення цього рівню – трохи менше за мінус 1AU). В якості значення ECL на будь-якому рівні окового перетину використовують середнє амплітудне значення цього рівню.

Для обчислень меж окового перетину на будь-якому із рівнів зручно користуватися вертикальною гистограмою розподілу амплітуд для конкретно визначеного часового моменту цього окового перетину. Зокрема, на рис.5.26 показана вертикальна гистограма розподілу амплітуд PDF (probability distribution function: функція розподілу ймовірностей) у момент A_1 .

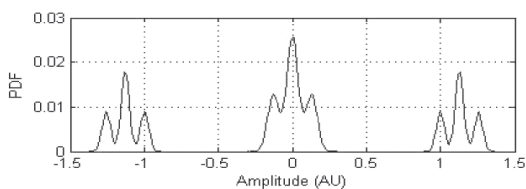


Рис. 5.26. Вертикальна гистограма розподілу амплітуд у момент A_1

Як бачимо, ECL верхнього рівню дорівнює плюс 1,15 AU, ECL середнього рівню дорівнює 0 AU, а ECL нижнього рівню дорівнює мінус 0,85 AU.

Окова висота (*Eye Height*). Замість параметра „Амплітуда ока” іноді вимірюють параметр „Окова висота”, що враховує при визначенні відстані між сусідніми оковими рівнями ступінь розмитості ліній (див.рис.5.27).

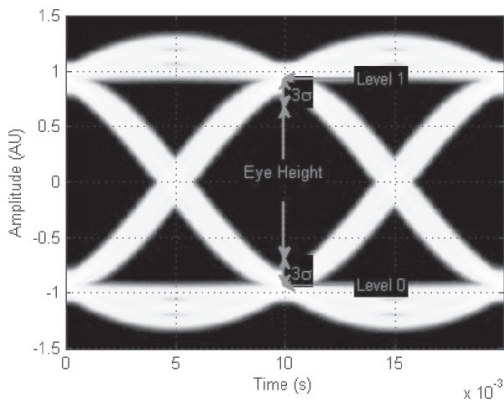


Рис. 5.27. Визначення окової висоти

Окова висота вимірюється в одиницях амплітуди (AU) і визначається як відстань між стандартними краями двох сусідніх окових рівнів, тобто краях, що віддалені від середини рівнів на відстань 3σ . Для NRZ-сигнала існує лише два рівня: високий рівень (рівень 1AU на рис.5.27) та низький рівень (рівень мінус 1AU на рис.5.27). Окова висота – це відстань між найближчими двома точками країв сусідніх окових рівнів, де краї віддалені від середини розмитих ліній на відстані 3σ (так, як це показано на рис.5.27).

Окове відношення сигнал/шум (*Eye SNR*). *Окове відношення сигнал/шум* визначається як відношення окової амплітуди до суми стандартних девіацій двох окових рівнів:

$$SNR = \frac{L_1 - L_0}{\sigma_1 - \sigma_0},$$

де L_1 та L_0 - це окові рівні - відповідно 1 и 0, а σ_1 и σ_0 - стандартні девіації окових рівнів - 1 та 0 відповідно. Для NRZ-сигнала оковий рівень 1 відповідає високому рівню, а оковий рівень 0 відповідає низькому рівню.

Добротність ока (Quality Factor). Добротність визначається таким же чином, що і окове відношення сигнал/шум. Проте використовується інше визначення девіації. А саме, добротність ока обчислюється за формулою:

$$Q \text{ factor} = \frac{P_{\text{top}} - P_{\text{base}}}{\text{sigmatop} + \text{sigmabase}} \cdot 100\%$$

де P_{top} - середній рівень максимального піка гистограми, побудованої для високого логічного рівня;

P_{base} - середній рівень максимального піка гистограми, побудованої для низького логічного рівня;

sigmatop - стандартна девіація відносно середньої величини високого логічного рівня;

sigmabase - стандартна девіація відносно середньої величини низького логічного рівня.

5.7.3. Вимірювання часових параметрів сигнальних послідовностей

Сигнали можуть досліджуватися не тільки за амплітудними характеристиками (по вертикалі око-діаграми), але і за часовими характеристиками (по горизонталі око-діаграми). Досліджуваний сигнал, у той чи іншій мірі, характеризують наступні часові параметри око-діаграми:

- повний джитер;
- детермінований джитер;
- випадковий джитер;
- середньоквадратичний джитер;
- момент та тривалість окового перетину (по горизонталі);
- окова затримка;
- тривалість окового затухання;

- тривалість окового зростання;
- ширина ока.

Для визначення будь-якого із вищеперерахованих часових параметрів слід розглядати окову діаграму по горизонталі.

Одною із основних характеристик сигналів, що досліджуються за допомогою горизонтальних розрізів око-діаграм вважається так званий джитер.

Джитер - це процес коливального відхилення уздовж часової вісі рівня сигналу від певним чином визначеного моменту часу, котрий, виходячи із тих чи інших міркувань, вважається нормальним (ідеальним). Підкреслимо, що у даному випадку розглядається коливальний рух деякого параметра сигналу (наприклад, його фази) не за амплітудою, а уздовж часової вісі. Процес коливання асоціюється із словом «тремтіння». (Це слово у перекладі на англійську звучить як джитер). Передбачається, що так званий повний джитер можливо розкласти на дві компоненти – детермінований джитер (DJ), котрий характеризує регулярну складову повного джитеру, та випадковий джитер (RJ). Найзручніше повний джитер та його компоненти характеризувати за допомогою функції розподілу ймовірностей (PDF, probability distribution function), що розглядається уздовж часової (горизонтальної) вісі окової діаграми. Функції розподілу детермінованого, випадкового та повного джитеру показані на рис.5.28. Зокрема, PDF детермінованої компоненти джитеру являє собою дві дельта-функції, що представлені на верхньому рисунку у вигляді двох ліній (μ_L та μ_R), що проходять через часові моменти мінус 10 та плюс 10. Амплітуди цих ліній можуть бути різними. PDF випадкової компоненти джитеру на середньому рисунку являє собою гаусівську функцію розподілу із нульовим середнім та певною дисперсією розкиду σ . На кінець, PDF повного джитеру (TJ) – це згортка двох вищезазначених PDF, що складається із двох гаусівських кривих із дисперсіями σ та середніми значеннями мінус 10 та плюс 10 (μ_L та μ_R).

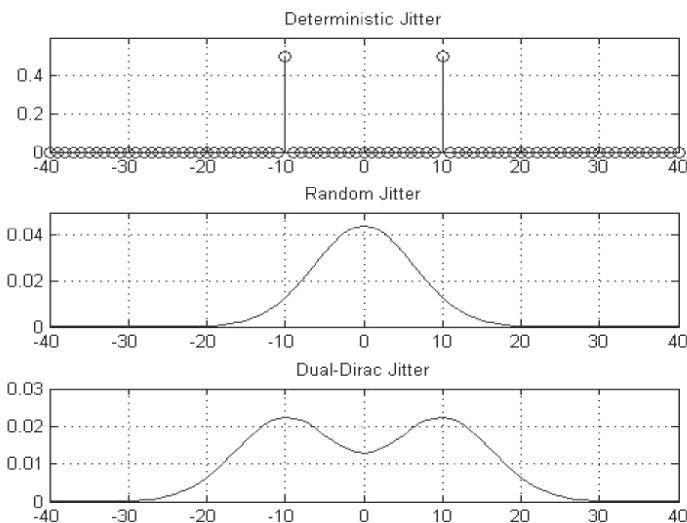


Рис.5.28. Представлення функцій розподілу детермінованого, випадкового та повного джитеру

Детермінований джитер (*Deterministic Jitter, DJ*). *Детермінований джитер* – це величина детермінованої складової коливального процесу відхилення сигналу уздовж часової осі від його номінального значення. Вимірюється в одиницях часу. DJ визначається як усереднена за результатами вимірювань різниця між величинами відхилень постійної складової джитеру від його нульового значення, тобто усереднена часова різниця між стрибками дельта-функції на PDF DJ:

$$DJ = \mu_L - \mu_R,$$

де μ_L та μ_R – усереднені за результатами вимірювань часові моменти стрибків дельта-функції на часовій осі (на верхній PDF рис.5.28 DJ складає 20 часових одиниць).

Середньоквадратичний джитер (*Jitter RMS*). *Середньоквадратичний джитер* – це стандартна девіація джитеру, що визначається за допомогою горизонтальної гистограми у межах 3σ .

Момент та тривалість окового перетину (*Eye Crossing Time, ECT*). Момент (виникнення) окового перетину – це часовий момент виникнення окового перетину, в який горизонтальна функція розподілу амплітуд окової діаграми має максимальне значення (див.рис.5.29).

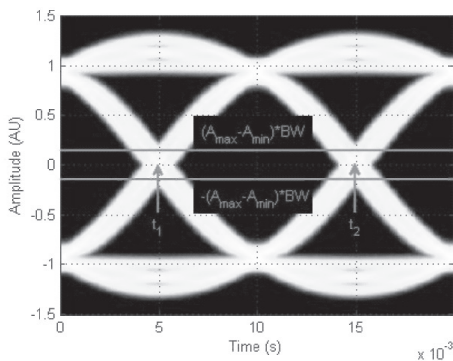


Рис. 5.29. Визначення моментів окових перетинів для нульового амплітудного рівня окової діаграми

ECT визначається шляхом побудови горизонтальної гистограми PDF. На рис.5.29 показано два моменти окового перетину - t_1 (в момент 5×10^{-3} сек) та t_2 (в момент 15×10^{-3} сек). Проте на відміну від параметра амплітудного перетину ECL у даному випадку цікавляться розподілом амплітуд у момент перетину не по висоті окової діаграми, а по її ширині.

На рис.5.30 показана усереднена горизонтальна гистограма розподілу амплітуд для двох вищезазначених часових моментів перетину - t_1 та t_2 (див.рис.5.29).

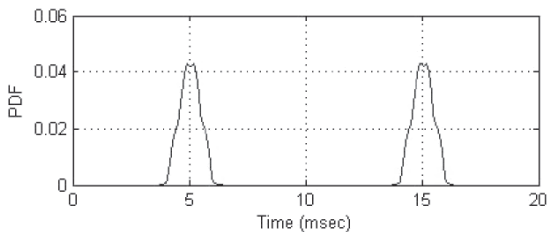


Рис. 5.30. Горизонтальна гистограма розподілу амплітуд для двох

моментів t_1 та t_2

Як бачимо, максимальні значення амплітуд цих розподілів на гистограмі відповідають моментам 5 і 15 мсек. Ці моменти і є моментами окових перетинів ЕСТ.

Тривалість окового перетину – це часовий інтервал на око-діаграмі, впродовж котрого лінії перетину візуально зливаються, утворюючи розмиту смугу. Тривалість окового перетину визначають за допомогою горизонтальної гистограми розподілу амплітуд око-діаграми. На рис.5.30 – це ширина окового перетину .

Окова затримка (*Eye Delay*). Окова затримка – це проміжок часу між моментом окового перетину на початку ока та середньою точкою ока (див.рис.5.31). Вимірюється у секундах.

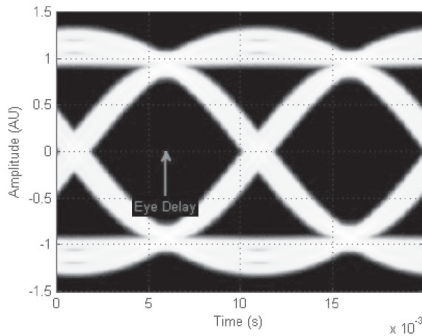


Рис. 5.31. Визначення окової затримки

Тривалість окового затухання (*Eye Fall Time, TFT*). *Тривалість окового затухання* – це усереднений часовий проміжок на спадаючій ділянці ока між високим та низьким пороговими рівнями, котрі зазвичай визначаються відповідно на рівнях 90 % та 10 % від амплітуди ока.

Тривалість окового зростання (*Eye Rise Time, ERT*). *Тривалість окового зростання* – це усереднений часовий проміжок на зростаючій ділянці ока між високим та низьким пороговими рівнями, котрі зазвичай визначаються відповідно на рівнях 90 % та 10 % від амплітуди ока.

Визначення TFT і ERT показано на рис.5.32.

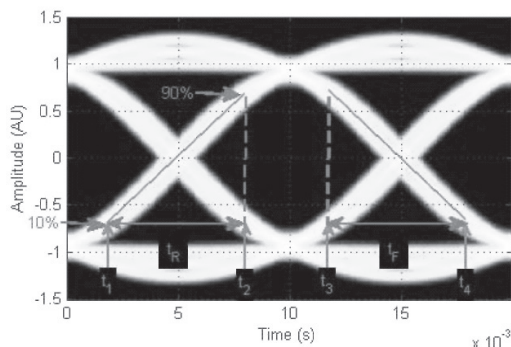


Рис. 5.32. Визначення параметрів TFT і ERT

Окова ширина (*Eye Width*). Окова ширина – це горизонтальна відстань між двома часовими точками, кожна із котрих віддалена від середнього моменту окового перетину у напрямку до центра ока на стандартну девіацію (тобто, на 3σ). Визначається у секундах. Визначення окової ширини показано на рис.5.33.

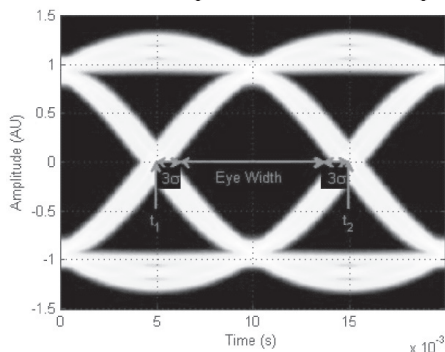


Рис. 5.33. Визначення окової ширини

5.8. Діаграми станів

У практиці сучасних телекомунікацій зустрічається клас завдань, коли для аналізу роботи цифрової системи необхідно мати представлення не про стани сигналу, а про динаміку зміни цих станів. Такі завдання зустрічаються при аналізі процесів в телекомунікаційних системах та аналізі диференціальних методів

модуляції, у яких передача цифрової інформації здійснюється не сигналом, а заміною одного сигналу іншим. Для вирішення завдань цього класу застосовуються діаграми станів, деревоподібні діаграми та діаграми Треліса. Зокрема, під час аналізу динаміки змін станів цифрового сигналу найбільш часто використовується діаграма Треліса, що представляє собою одну з модифікацій діаграми станів. Основна відмінність діаграми Треліса полягає в тому, що крім станів цифрового сигналу на цій діаграмі показується ще і траєкторія змін станів. Під час алгоритмічного тестування (коли перевіряється коректність роботи алгоритму) використовуються деревоподібні діаграми, що представляють собою дерево зміни станів.

Діаграма станів (*state diagram*) визначає усі можливі стани, у яких може перебувати конкретна система, а також процес зміни станів системи як результат впливу певних подій. Фактично діаграма станів являє собою граф станів, у яких може перебувати система, і зв'язки між цими станами.

Стан (*state*) являє собою певний відрізок часу у життєвому циклі досліджуваної системи, протягом якого є істиною деяка умова, виконуються якісь строго визначені дії або очікується наперед визначена подія.

Стан може мати ієрархічну структуру. Кожний підстан (*substate*) може мати свій окремий початковий та кінцевий псевдостан. Завершення роботи всіх підстанів означає завершення активності даного стану й вихід з нього. Одиницею впливу є подія: кожна подія приводить до зміни стану одного або декількох об'єктів у системі, або до виникнення нових подій. Робота системи характеризується послідовністю подій, що відбуваються у системі.

Стан може бути вдосконалено шляхом уведення в нього послідовних підстанів зі зв'язками типу "І" або взаємовиключних підстанів зі зв'язками типу "АБО". Тільки не створена система починає функціонувати з якогось строго визначеного початкового псевдостану. Дія, що створила певний об'єкт у системі, може бути використана для ініціації переходу у початковий псевдо стан. Об'єкт, що перейшов у кінцевий псевдостан, припиняє своє існування.

Подія відбувається у деякий момент часу. Нерідко факт

виникнення події використовується для визначення відповідного моменту часу. Одна з подій може логічно передувати іншій, або впливати з іншої (якщо події мають логічно –причинний зв'язок), або вони можуть бути незалежними (якщо ці події не мають причинного зв'язку). Незалежні події не має сенсу якимось чином упорядковувати, тому що вони можуть виникати випадково або відбуватися у довільному порядку. Події передають інформацію з одного об'єкта на іншій. Існують класи подій, які просто сигналізують про те, що щось відбулося або відбувається (приклад: загоряння лампочки ліфта, гудок у слухавці). Нерідко розглядаються виняткові події (іноді їх називають виключеннями), які сигналізують про порушення роботи апаратури або програмного забезпечення.

Сценарії й траси подій. Сценарієм називається послідовність подій, що може мати місце під час конкретного функціонування системи. Сценарії можуть включати всі події, що відбуваються в системі, або тільки ті події, що впливають тільки на окремі об'єкти системи. При аналізі динаміки роботи системи зазвичай складають й розглядають кілька сценаріїв, що відображають можливі варіанти її роботи.

Нижче наведено приклад сценарію користування телефонною лінією (розмова двох абонентів по телефону). Кожна подія в цьому сценарії передає якусь інформацію з одного об'єкта на іншій. Перша подія, що виникає в момент підняття слухавки одним із абонентів - це довгий гудок, що передається через абонентську лінію від вузлу зв'язку до телефонного апарату користувача – ініціатора телефонної розмови. Далі виникає друга подія, третя подія і т.д.

Один із можливих сценаріїв користування телефонною лінією може бути наступним.

- 1) Абонент, що викликає, зняв слухавку:
починається довгий гудок.
- 2) Абонент, що викликає, набрав першу цифру телефонного номеру:
гудок припиняється.
- 3) Абонент, що викликає, набрав усі інші цифри телефонного номеру:

телефон, що викликається, починає дзвонити.

4) Абонент, що викликає, чує гудки:
абонент, що викликається, не піднімає слухавку.

5) Абонент, що викликається, піднімає слухавку:
гудки припиняються, телефони з'єднуються.

6) Один із абонентів вішає слухавку:
телефонний зв'язок розривається.

Наступним етапом після розробки та аналізу сценаріїв є визначення об'єктів, що мають генерувати і приймати кожен подію, що визначена у рамках сценарію. Послідовності подій із прив'язкою до об'єктів досліджуваної системи зручно представляти у вигляді діаграм, які часто називають трасами подій.

Приклад траси подій щодо розмов по телефону представлено на рис.5.34.

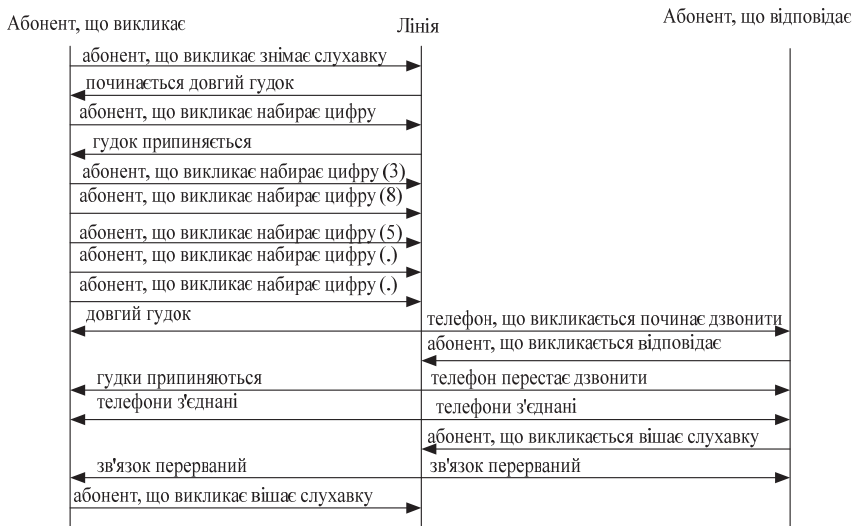


Рис. 5.34. Траса подій, що організують процес телефонної розмови

Вертикальні лінії зображують на цій трасі об'єкти, а горизонтальні стрілки - події (стрілка починається в об'єкті, що

генерує подію, і закінчується в об'єкті, що приймає подію). Події, що надійшли пізніше поміщені нижче подій, що надійшли раніше, одночасні - на одному рівні.

Стан визначає реакцію об'єкта на події, що на нього надходять. Реакція об'єкта на подію може включати деяку дію і/або перехід об'єкта у новий стан. Процес функціонування системи можливо відобразити не тільки за допомогою траси подій. Діаграму станів, що зв'язує події, об'єкти і стани, можливо ще відобразити у вигляді графа. Після прийому події наступний стан системи залежить як від її поточного стану, так і від події. Зазначимо, що зміна стану називається переходом. З урахуванням вищезазначеного діаграму станів відображають у вигляді графа, вузли якого представляють стани, а спрямовані дуги, що позначені іменами відповідних подій, представляють переходи. Діаграма станів дозволяє одержати послідовність станів по заданій послідовності подій.

На рис.5.35 наведена, як приклад, діаграма станів для процесу з'єднання двох абонентів через телефонну лінію.

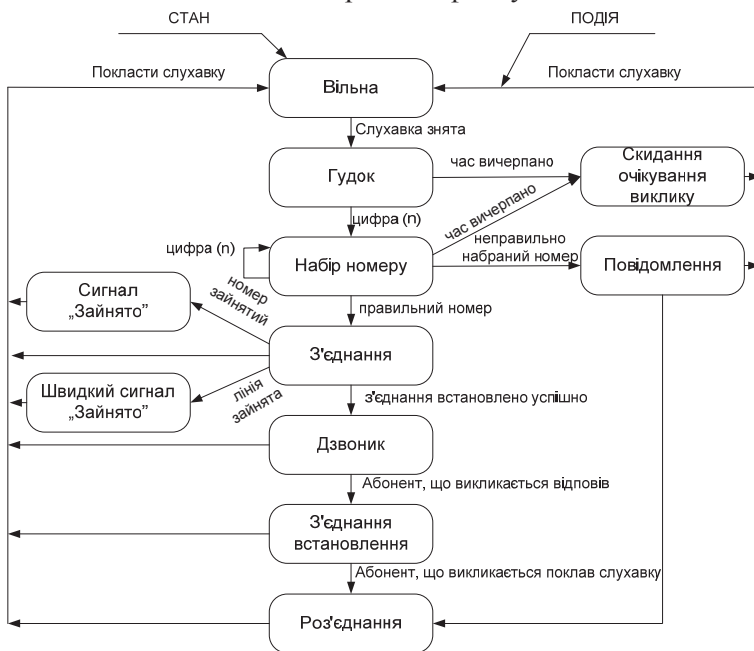


Рис. 5.35. Діаграма станів для процесу з'єднання двох абонентів

Також, як приклад, можна привести діаграму станів для згортального кодера. Робота згортального кодера із ступенем кодування $\frac{1}{2}$, побудованого на трьохрозрядному регістрі зсуву (тобто, при $K=3$), показана на рис.5.36.

Як бачимо, розглядається шість послідовних кроків роботи цього кодера – $t_1, t_2, t_3, t_4, t_5, t_6$ – коли на його вхід (зліва) послідовно надходять символи бінарної послідовності 101000 (вони фіксуються у лівому розряді регістру зсуву), а на виході підсумовуючих гілок кодера утворюються біти дворозрядного вихідного кодового слова U_1, U_2 . Для визначення вихідних символів необхідно знати стан двох правих розрядів регістру зсуву та стан чергового одного біту, що надійшов на вхід кодера (тобто, у лівий розряд регістру зсуву).

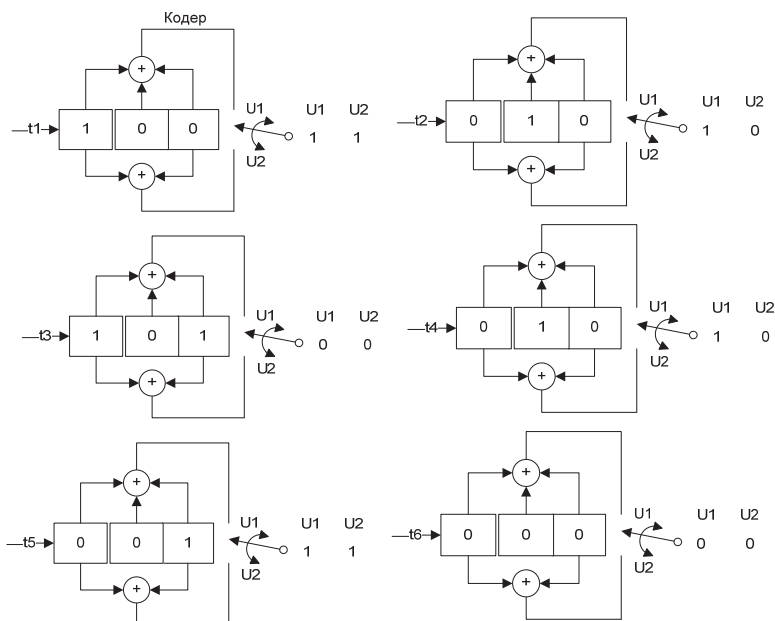


Рис.5.36. Процес кодування бінарної послідовності 101000 трьохрозрядним згортальним кодером зі ступенем кодування $\frac{1}{2}$

Діаграма станів вищезрозглянутого згортального кодера відображена на рис.5.37 у вигляді графа. Стани кодера, що показані

на цій діаграмі, фізично представляють усі можливі комбінації бітів у двох крайніх правих розрядів регістра зсуву і позначаються наступним чином: $a=00$, $b=10$, $c=01$ й $d=11$.

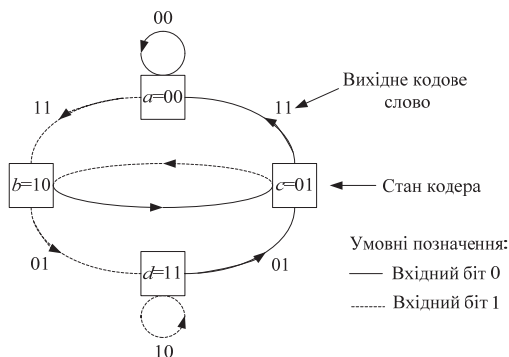


Рис. 5.37. Діаграма станів згортального кодера (ступінь кодування $1/2$, $K=3$)

У той час як шляхи між цими станами представляють вихідні кодові слова, що утворюються на виході підсумовуючих гілок кодера. Ці слова і є результатом переходів між станами кодера. При зображенні шляхів суцільною лінією прийнято позначати шлях, пов'язаний із нульовим вхідним бітом, а пунктирною лінією - шлях, пов'язаний із одиничним вхідним бітом.

Відзначимо, що за один перехід неможливо здійснити довільний перехід із одного стану в інший. Тому що за одиницю часу переміщається тільки один біт вхідної послідовності. Існує тільки два можливих переходи між станами, у які регістр може переходити за час проходження кожного біта. Наприклад, якщо стан кодера - 00, при наступному зсуві можливе виникнення тільки станів 00 або 10.

5.9. Деревоподібні діаграми

Незважаючи на те, що діаграми станів повністю описують процес зміни станів кодера, по суті, їх не можна використати для відстеження переходів кодера залежно від часу, оскільки ці діаграми не представляють динаміку змін. Цього недоліку позбавлені деревоподібні діаграми (*tree diagram*), які до діаграм

станів додають часовий вимір. Зокрема, деревоподібна діаграма вищерозглянутого згортального кодера показана на рис.5.38.

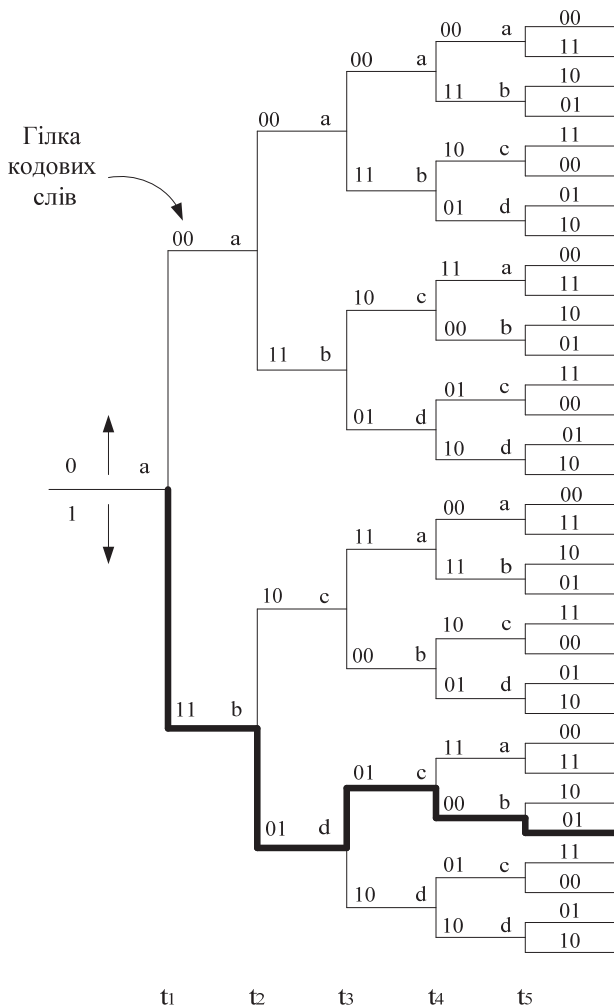


Рис.5.38. Деревоподібне представлення процесу зміни станів згортального кодера (ступінь кодування $\frac{1}{2}$, $K=3$)

Користуватися деревоподібною діаграмою можливо наступним чином.

По-перше, слід пам'ятати, що кожна гілка дерева відображає якийсь вихідне кодове слово (у нашому випадку воно – дворозрядне). У кожен наступний момент надходження чергового вхідного біта процедура кодування може бути відслідкована шляхом переміщення по цій діаграмі у напрямках „ліворуч або праворуч”. Правило розгалуження для знаходження послідовності вихідних кодових слів є наступним: якщо вхідним бітом є нуль, то він пов'язується зі словом, що знаходиться шляхом переміщення в наступну (у напрямку нагору) праву гілку; якщо вхідний біт - це одиниця, то кодове слово знаходиться шляхом переміщення в наступну (у напрямку вниз) праву гілку.

Передбачається, що спочатку кодер містив тільки нулі. Діаграма показує, що якщо першим вхідним бітом був нуль, то вихідним кодовим словом гілки буде 00, а якщо першим вхідним бітом була одиниця, то вихідним кодовим словом буде 11. Аналогічно, якщо першим вхідним бітом була одиниця, а другим - нуль, на виході другим словом гілки буде 10. Якщо першим вхідним бітом була одиниця та другий вхідний біт була одиниця, другим кодовим словом на виході буде 01. Виходячі з цієї процедури, бачимо, що вхідна послідовність 110 11 представляється жирною лінією, намальованої на деревоподібній діаграмі (див.рис.5.38). Цей шлях відповідає вихідній послідовності кодових слів 1 10 10 10 0 0 1.

Доданий вимір часу у деревоподібній діаграмі допускає опис кодера як функції конкретної вхідної послідовності. Однак при спробі опису за допомогою деревоподібної діаграми вхідних послідовностей довільної довжини виникає проблема розмірності, оскільки число відгалужень росте як 2^L , де L - це кількість кодових слів гілок у послідовності.

5.10. Решітчасті діаграми Треліса

Дослідження деревоподібної діаграми на рис.5.38 показує, що в цьому прикладі після третього розгалуження в момент часу t_4 структура повторюється (у загальному випадку деревоподібна структура діаграми повторюється після K відгалужень, де K -

розрядність кодера). Позначимо кожен вузол у дереві на рис.5.38, ставлячи у відповідність чотири можливих стани в регістрі зсуву: $a=00$, $b=10$, $c=01$ й $d=11$. Перше розгалуження деревоподібної структури в момент часу t_1 дає пари вузлів, позначених як a та b . При кожному наступному розгалуженні кількість вузлів подвоюється. Друге розгалуження в момент часу t_2 дає в результаті чотири вузли, позначених як a , b , c та d . Після третього розгалуження всього утворилося вісім вузлів: два - a , два - b , два - c і два - d .

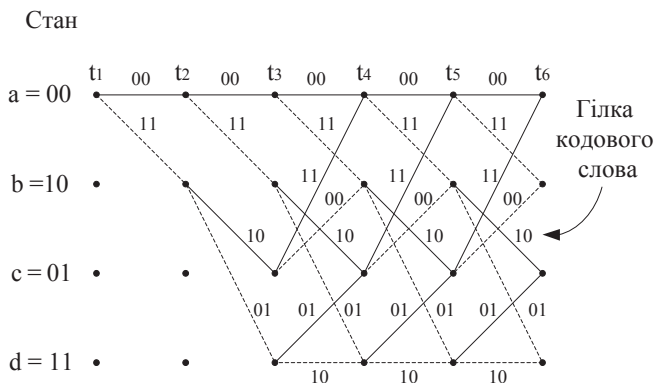
Можна бачити, що всі гілки виходять із двох вузлів того самого стану, створюючи ідентичні гілки послідовностей кодових слів. У цей момент дерево ділиться на ідентичні верхню й нижню частини. Зміст цього стає яснішим після розгляду кодера, зображеного на рис.5.36. Коли четвертий вхідний біт входить у кодер ліворуч, вихідний біт праворуч викидається й більше не впливає на кодові слова на виході.

Після K -го розгалуження генеруються однакові кодові слова гілок. Це означає, що будь-які стани, що мають однакову мітку в той самий момент t_i можна з'єднати, оскільки всі наступні шляхи будуть нерозрізнені. Якщо ми проробимо це для деревоподібної структури, то одержимо іншу діаграму, названу решітчастою. Решітчаста діаграма, що використовує повторювану структуру, дає більш зручний опис кодера у порівнянні з деревоподібною діаграмою.

Решітчаста діаграма для вищерозглянутого згортального кодера показана на рис.5.39.

При зображенні решітчастої діаграми ми скористалися тими ж умовними позначками, що й для діаграми станів: суцільна лінія позначає вихідні дані, що генеруються вхідним нульовим бітом, а пунктирна - вихідні дані, що генеруються вхідним одиничним бітом. Вузли решітки представляють стани кодера: перший ряд вузлів відповідає стану $a=00$, другий і наступні - станам $b=10$, $c=01$ та $d=11$. У кожен момент часу для представлення 2^{K-1} можливих станів кодера решітки необхідно мати 2^{K-1} вузлів. У нашому прикладі після досягнення глибини решітки, що дорівнює трьом (у момент часу t_4), помічаємо, що решітка має фіксовану періодичну

структуру. У загальному випадку фіксована структура реалізується після досягнення глибини K . Отже, із цього моменту в кожен стан можна увійти з кожного із двох попередніх станів. Також із кожного стану можна перейти в один із двох станів. Із двох вихідних гілок одна відповідає нульовому вхідному біту, а інша - одиничному вхідному біту. На рис.5.39 вихідні кодові слова відповідають переходам між станами, показаними як мітки на гілках решітки.



Умовні позначення

— Вхідний біт 0

- - - - - Вхідний біт 1

Рис.5.39. Решітчаста діаграма кодера (ступінь кодування $1/2$, $K=3$)

Один стовпець часового інтервалу решітчастої структури кодування, що сформувалася, повністю визначає код. Кілька стовпців показані винятково для візуалізації послідовності кодових символів як функції часу. Стан згортального кодера представлено вмістом крайніх правих $K-1$ розрядів у регістрі кодера.

ЛЕКЦІЯ №6 ВИМІРЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ТЛК-ОБЛАДНАННЯ НА ФІЗИЧНОМУ РІВНІ ВЗАЄМОДІЇ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ

Розглядаються наступні питання:

Лекційне заняття

- 6.1. Вимірювання параметрів електричних кабелів
- 6.2. Вимірювання параметрів волоконно-оптичних кабелів
- 6.3. Вимірювання параметрів абонентських ліній зв'язку
- 6.4. Вимірювання параметрів аналогових комутованих телефонних каналів

Самостійне заняття

- 6.5. Вимірювання параметрів обладнання цифрових систем передачі (ЦСП), що побудовані за технологіями *PDH/SDH*
- 6.6. Особливості вимірювання параметрів цифрових каналів, що утворені на базі аналогових ліній телефонних мереж абонентського доступу (канали *ISDN* та *xDSL*)
- 6.7. Особливості вимірювання параметрів обладнання систем із частотним ущільненням аналогових телефонних каналів (обладнання типу К-60, К-120 і т.ін.)

6.1. Вимірювання параметрів електричних кабелів

6.1.1. Загальна характеристика електричних кабелів. Електричні металеві кабелі використовують в якості фізичного середовища транспортування інформації. Вони є основним елементом будь-якої проводової лінії зв'язку, що входить до складу обладнання багатьох різноманітних телекомунікаційних систем, зокрема:

1) магістральних кабельних систем, призначених для передавання цифрових бітових потоків і побудованих з використанням технологій часового ущільнення каналів типу *PDH/SDH*;

2) магістральних кабельних систем, призначених для передавання аналогових широкосмугових сигналів, утворюваних шляхом частотного ущільнення стандартних аналогових телефонних каналів (так звані багатоканальні системи передачі

типу К-60, К-120 і т. ін.);

3) стандартних аналогових абонентських телефонних каналів, що використовуються у мережах абонентського доступу до телефонних комутаційних систем (АТС);

4) стандартних аналогових абонентських телефонних ліній зв'язку, що використовуються для утворення абонентських каналів *ISDN* та (або) *xDSL*;

5) структурованих кабельних систем, призначених, головним чином, для використання у складі локальних пакетних мереж.

З точки зору теорії передавання сигналів відрізок будь-якого електричного кабелю веде себе як електричний чотирьохполюсник із розосередженими параметрами незалежно від того, чи цей кабель згорнутий у бухту, чи вмонтований у ділянку якоїсь лінії проведеного зв'язку.

Еквівалентна схема відрізка електричного кабелю показана на рис. 6.1. Як бачимо, реакція такого кабелю на потоки вхідних електричних сигналів повністю визначається його **первинними параметрами**: активним опором R (як щодо постійного, так і щодо змінного струму), індуктивністю L , ємністю C та провідністю ізоляції G . Визначення та фізичні пояснення щодо цих параметрів розглядати не будемо, оскільки вони надаються у будь-якому підручнику із теорії електричних ланцюгів. Наведемо лише вигляд їхніх частотних залежностей (див. рис.6.2).

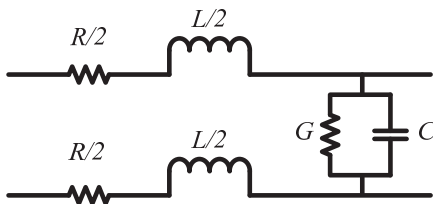


Рис. 6.1. Еквівалентна схема відрізка електричного кабелю

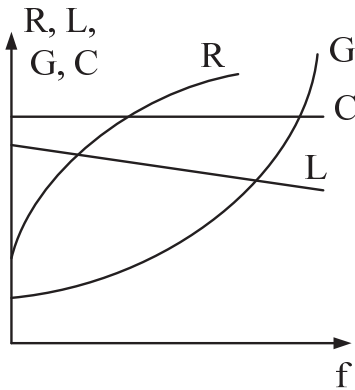


Рис. 6.2 Частотна залежність первинних параметрів симетричного електричного кабелю

На практиці для визначення фізичної цілісності кабелю за допомогою звичайного тестера (зокрема, мультиметра) здійснюють вимірювання опору цього кабелю на постійному струмі. Відрізок типового кабелю довжиною 10 метрів повинен мати опір постійному струму у діапазоні 1-2 Ома. Вимірюють також взаємну ємність між двома проводами кожної пари у багатопарному кабелі. Якщо виміряне значення цієї ємності суттєво перевищує її номінальне значення, то робиться висновок про високу ймовірність фізичного пошкодження кабелю: його намокнення, надмірну розтянутість або неякісне його термінування (неякісне з'єднання кінців кабелю з конекторами). Вимірювання індуктивності відрізка кабелю також іноді має практичну доцільність, зокрема якщо намагаються виявити факт його надмірної завитості, оскільки із збільшенням кількості витків кабелю збільшується його індуктивність. Однак в експлуатаційній практиці вимірювання первинних параметрів кабелів не є основними. Скоріш, вони носять допоміжний характер. Це пов'язано із труднощами із встановленням причинно-наслідкових зв'язків між результатами вимірювань первинних параметрів кабелю та характеристиками якості функціонування ТЛК-обладнання, в яке цей кабель вмонтовано. Труднощі виникають як на рівні теоретичних розрахунків, так і на рівні технічної реалізації експлуатаційних

процедур. Наприклад, важко знайти функціональну залежність між первинними параметрами кабелю та затримками у передаванні інформації через цей кабель або достовірністю інформації, отриманої на його вихідному кінці. Теоретично це є можливим, проте пов'язане із громіздкими інженерними розрахунками, котрі далеко не завжди вдається здійснити у замкненій математичній формі. Тому на практиці вимірюються, головним чином, так звані вторинні параметри кабелю, такі як хвильовий опір (або імпеданс, *impedans*) z , затухання (або згасання) A , перехідне затухання у двох його різновидах - перехідне затухання на ближньому кінці – *NEXT (Near End Crosstalk)* та перехідне затухання на дальньому кінці – *FEXT (Far End Crosstalk)*, захищеність від перехідних завад *ACR (Attenuation to Crosstalk Ratio)*, відносна швидкість розповсюдження сигналів *NVP (Nominal Velocity of Propagation)* (іноді цей параметр позначається як *VOP - Velocity of Propagation*), затримка проходження сигналів (параметр *delay*), розкид затримок проходження сигналів (параметр *Skew*), повернені втрати (рос., - возвратные потери) *RL (Return Loss)*, у т.ч. структурні повернені втрати *SRL (Structural Return Loss)*, опір зв'язку екрану кабелю R_k (*transfer impedans*), параметри затухання несиметрії - на ближньому кінці *LCL (longitudinal conversion loss)* та на дальньому кінці *LCTL (longitudinal conversion transfer loss)* і параметр додаткових втрат *ILD (Insertion Loss Deviation)*.

Вторинні параметри кабелю у контексті експлуатаційних задач мають ясну фізичну інтерпретацію. Вони можуть бути відносно легко виміряні за допомогою інструментальних засобів, що представлені на ринку вимірювальної техніки.

У рамках навчальної дисципліни „Лінії передачі” було детально розглянуто як первинні, так і вторинні параметри металевих кабелів (зокрема, дано формальні визначення цих параметрів, пояснено фізичні процеси у кабелі, що обумовили доцільність введення цих параметрів в експлуатаційну практику, проаналізовано залежності уведених параметрів від параметрів фізичних процесів у кабелі, визначено норми на припустимі значення параметрів кабелю і т.ін.). Зокрема, вищеназваний матеріал міститься у розділі 2 відомої книги Семенова А.Б., Стрижакова С.К. та Сунчеля І.Р. „Структуровані кабельні

системи” (на рос. мові). –М.:ДМК Пресс, 2002. Тому ми не будемо повторювати цей матеріал, а основну увагу приділимо методам та засобам експлуатаційних вимірювань основних параметрів електричних кабелів.

6.1.2. Оцінювання якості магістральних кабелів. Якість магістрального кабелю доцільно перевіряти як безпосередньо перед його прокладкою і монтуванням у конкретну систему зв’язку (тобто, здійснювати так званий вхідний контроль кабелю), так і на етапі його експлуатації, особливо коли є сумніви щодо його нормального функціонування.

Вхідний контроль кабелю виконується не тільки для визначення його фізичної цілісності, наприклад шляхом вимірювань первинних параметрів кабелю (як вже зазначалось, такі вимірювання можливо здійснювати за допомогою звичайного мультиметру). Інтерес представляють й інші характеристики кабелю, що суттєво впливають на якість передавання сигналів через цей кабель, незважаючи на те, що ці характеристики, як правило, вказуються у паспортних даних на кабель. Кабельна продукція, а також роботи з її монтування – найбільш високовартісні складові будь-якої територіально розгалуженої системи електрозв’язку. Тому поглиблений вхідний контроль кабелю у багатьох випадках є виправданою процедурою.

Найбільш зручно вхідний контроль кабелю виконувати за допомогою пристрою, що зветься **аналізатор ланцюгів** (в англійській мові публікаціях цей пристрій отримав не зовсім вдалу назву *Network Analyzer*). У склад цього пристрою входить генератор тестових сигналів та аналізатор сигнальних спектрів. Існують **скалярні та векторні аналізатори ланцюгів**. Зрозуміло, що скалярні аналізатори можуть вимірювати лише скалярні характеристики кабелю, зокрема ІЧХ кабелю, тобто залежність затухання сигналів в кабелі від частоти і т.ін. У той час як векторний аналізатор, окрім цього, здатний вимірювати фазові співвідношення між складовими сигналу у кабелі – ФЧХ, розкид затримок проходження складових сигналів, комплексні параметри кабелю тощо. Аналізатори ланцюгів розрізняються також своєю функціональністю. Зокрема, існують повнофункціональні аналізатори, котрі здатні вимірювати не лише частотні параметри

кабелів (комплексні та скалярні) та параметри відбиття (рос. – отражения) сигналів від усіляких неоднорідностей у кабелі, але і опір ізоляції кабелю. Такі аналізатори здатні подавати високу тестову напругу у ланцюг ізоляції, а потім вимірювати утворений цією напругою надмалий струм витоку (рос. – ток утечки). Проте існують і окремі спеціалізовані пристрої для вимірювань якості ізоляції у кабелі.

Вхідний контроль кабелю у бухтах передбачає вимірювання характеристичного імпедансу (тобто, хвильового опору) кабелю, погонного опору кабелю, опору ізоляції, рівня повернених втрат, коефіцієнта відбиття і т. ін.

У період експлуатації вже змонтованого та укладеного у ґрунт кабелю найбільш актуальна проблема - виявлення факту пошкодження та знаходження (або, як кажуть, локалізація) місця пошкодження кабелю. Процес пошуку місця пошкодження іноді називають локацією точки пошкодження кабелю. Для локації використовують кабелепошукачі або металеві рефлектометри дальньої дії.

Схема використання кабелепошукача показана на рис.6.3.

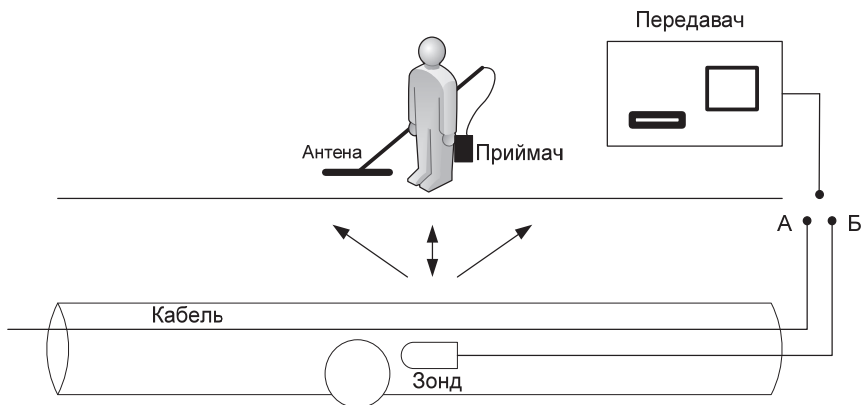


Рис.6.3. Схема використання кабелепошукача

Основними складовими елементами кабелепошукача є передавач синусоїдальних сигналів наперед визначеної частоти, що

підключається до одного із кінців визначеної пари проводів кабелю (зокрема до точки А так, як це показано на рис.6.3), та приймач-локатор із комплектом антен (індуктивних, активних, всіляких пробників і т. ін.), що вловлює та реєструє сигнали, що випромінюються кабелем через ґрунт. Антена закріплюється на кінці стержневого утримувача і під'єднується до приймача, що носить з собою працівник служби експлуатації. Під час локації працівник, утримуючи у руках стержень із антеною, просувається уздовж траси кабелю та, дивлячись на показання приймача-локатора, вирішує покладені на нього експлуатаційні завдання (на рис.6.3 варіант А підключення передавача до кабелю). В процесі роботи працівник має можливість змінювати частоту та потужність тестового сигналу, що подається на кабель, а також обирати та підключати до приймача той чи інший тип антени. Зрозуміло, що коли на кабель подається осцилюючий сигнал із наперед визначеною частотою, то впродовж нього виникає відповідне електромагнітне поле, що може бути виявлено за допомогою індуктивної антени та відфільтроване від інших радіовипромінювань засобами приймача-локатора. Енергія цього поля суттєво затухає у прошарку ґрунту, що знаходиться між антеною та кабелем. Тому для надійного виявлення сигналів, що випромінюються від кабелю більш глибокого залягання, необхідно збільшувати потужність передавача тестового сигналу.

Кабелепошукачі, що призначені для роботи із укладеними у ґрунт магістральними кабелями, виготовляються компанією *Dynatel* – модельний ряд 2210E, 2250E та 2273E. Вироби, що входять до цього модельного ряду, відрізняються один від одного своєю функціональністю. Проте усі вони здатні забезпечити вирішення наступних експлуатаційних завдань:

- 1) виявити шлях залягання кабелю уздовж траси;
- 2) визначити глибину залягання кабелю у ґрунті (до 4,5 м);
- 3) визначити характер ушкодження кабелю (коротке замикання чи розрив);
- 4) визначити ступінь неоднорідності параметрів кабелю у точках ушкоджень та його розгалуження (і, тим самим, визначити, чи є можливою подальша експлуатація кабелю);
- 5) визначити ступінь неузгодженості імпедансу навантаження із

характеристичним імпедансом кабелю;

6) виявити місця намокання кабелю;

7) виявити шлях залягання силового кабелю та інших кабелів електропостачання (у режимі відключення передавальника кабелепошукача та настроювання приймача-локатора на частоту 50Гц);

8) знаходження вузьких місць та фізичних перепон в середині труби (на рис.6.3 варіант *Б* підключення передавача до кабелю), що заважають прокладці нових кабелів у цій трубі (для цього застосовують активний зонд (міні-передавач), що просувається уздовж труби; місце знаходження перепони знаходиться там, де цей зонд не може просунути далі).

Усі вищезазвані кабелепошукачі компанії *Dynatel* мають зручний графічний інтерфейс та звукове відображення результатів локації.

Металеві рефлектометри дальньої дії. Для локації точок пошкодження кабелю широке застосування в експлуатаційній практиці знайшли **металеві рефлектометри дальньої дії** (*Time Domain Reflectometer – TDR*). Рефлектометр являє собою сукупність засинхронізованих між собою імпульсного генератора та приймача, що забезпечує вимірювання параметрів імпульсного сигналу із одного кінця кабелю. Пристрій *TDR* діє подібно радару. У кабель надсилається короткотривалий імпульс, що розповсюджується уздовж нього із швидкістю, що майже дорівнює швидкості світла. Частина енергії імпульса відбивається від усілякого роду неоднорідностей, що можуть виникнути на шляху його розповсюдження уздовж кабелю. Під неоднорідностями кабелю розуміється коротке замикання між парами проводів у кабелі, розрив кабелю, місця з'єднань кусків кабелю, відгалуження від кабелю, місця з'єднань із конекторами, місця замокання кабелю, місця деградації метеріалів, із яких зроблено цей кабель і т. ін. Відбиті від неоднорідностей сигнали розповсюджуються уздовж кабелю у зворотному напрямі і потрапляють на вхід приймача *TDR*. По величині, полярності та формі відбитого сигналу є можливим визначити характер неоднорідності, а по проміжку часу між моментами надсилання імпульсу генератором та приймання відбитого сигналу – місце знаходження неоднорідності. Під час

роботи із TDR необхідно враховувати параметр *VOP (Velocity of Propagation)*, тобто відмінність швидкості розповсюдження сигналів у кабелі від швидкості світла у вакуумі. Ця відмінність може досягати 3% і залежить від типу кабелю. Коректне користування рефлектометром неможливе без здобуття певних навичок роботи із цим приладом. Більш/менш детально прийоми роботи з *TDR* висвітлені у книзі І.Г.Бакланова „Методы измерений в системах связи» (М.: Эко-Трендз, 1999).

Металеві рефлектометри випускаються багатьма виробниками, зокрема компанією *RiserBond Instruments* (моделі 1000, 2000, 3000, 2901C та ін.).

6.2. Вимірювання параметрів волоконно-оптичних кабелів

Оптоволоконні системи передавання інформації знайшли широке розповсюдження у сучасному світі. Тому вимірювання параметрів цих систем, зокрема вимірювання параметрів оптичних кабелів, є актуальним завданням.

Розрізняють наступні категорії робіт із оптоволоконним обладнанням:

1) **Промисловий аналіз** волоконно-оптичних кабелів та вузлів оптоволоконних систем зв'язку, що, зазвичай, здійснюють під час розробки та виготовлення оптоволоконного обладнання. На цьому етапі визначають відповідність характеристик виготовленого обладнання (зокрема, оптичних кабелів у бухтах) існуючим нормам. Для цього використовують досконале системне вимірювальне обладнання, ретельно відкаліброване та повірене відповідними метрологічними службами. Виміряні значення параметрів оформлюють у вигляді паспортних даних на вироби.

Системні вимірювання оптоволоконних виробів являють окремих напрямком у телекомунікаціях, котрий у рамках навчальної дисципліни „Експлуатація ТКС” розглядатися не буде.

2) **Експлуатаційний аналіз** волоконно-оптичних кабелів та вузлів здійснюється під час або безпосередньо перед прокладкою кабеля уздовж лінії зв'язку. При цьому вимірюють, головним чином, рівні потужності оптичного випромінювання на виходах передавальних та входах приймальних оптоелектронних модулів, затухання регенераційних ділянок лінії та усієї лінії у цілому,

затухання окремих оптичних волокон, затухання на відгалуженнях кабелів, на місцях зварювання кабелів тощо. Вимірювання затухання здійснюють щодо обох напрямків передавання оптичних сигналів. За результатами цих вимірювань отримують дані щодо розподілу уздовж траси прокладки кабелю всіляких неоднорідностей в структурі кабелю, що надає змогу обрати оптимальний варіант використання волокон кабелю. Нормативні документи вимагають для кожної ділянки регенерації визначати функцію розподілу неоднорідностей уздовж лінії зв'язку, оформляти визначену функцію у вигляді графіку із доданим до нього паспортом, куди вносяться усі виміряні дані щодо параметрів ділянки регенерації. У паспорті ділянки регенерації повинно бути наведено дані щодо схеми з'єднань волокон у кожній з'єднувальній муфті, виміряні значення рівнів оптичної потужності на оптичних входах та виходах регенераторів, рівні затухання в обох напрямках передавання, а також дані щодо параметрів помилок.

3) **Експлуатаційні вимірювання** здійснюються на стадії експлуатації оптоволоконної системи зв'язку. Експлуатаційний персонал має здійснювати постійний поточний контроль апаратури волоконно-оптичних систем зв'язку (ВОЛЗ), а також регламентовані певними інструкціями процедури, що спрямовані на підтримку працездатності обладнання ВОЛЗ. Зокрема, здійснювати профілактичні, у т.ч. контрольно-вимірювальні роботи. Якщо виявлено проблему із невідповідністю параметрів обладнання встановленим нормам, необхідно, щоб персонал мав можливість швидко локалізувати точку деградації якості кабельної системи. Наприклад, у випадку розриву кабелю необхідно оперативно та з високим ступенем точності знайти точку розриву, виконати розконсервування ділянки кабелю, замінити ушкоджений шматок кабелю, здійснити зварювання та відновити кабель. Поточні вимірювання параметрів ВОЛЗ, як правило, виконуються з використанням спеціально вмонтованих у штатне обладнання контрольно-вимірювальних засобів.

На стадії експлуатації оптоволоконних систем вирішують наступні завдання:

1) вимірюють рівні оптичної потужності та затухання оптичного сигналу у кабелі;

- 2) вимірюють параметр перехідного затухання;
- 3) здійснюють пошук та усунення пошкоджень та (або) деградації якості у ВОЛЗ (зокрема, визначають місце та характер ушкодження оптоволоконного кабелю, його заміну або відновлення і т.ін.);
- 4) іноді здійснюють стресове тестування апаратури волоконно-оптичних систем передачі.

6.2.1. Вимірювання оптичної потужності та затухання оптичного сигналу у кабелі

Щоб виміряти потужність у *Вт* або рівень потужності у *дБм* оптичного сигналу в оптоволоконній лінії необхідно мати відповідним чином відградуваний прилад, що зветься **оптичним вимірювачем потужності** (*Optical Power Meter, OPM*). На ринку інструментальних засобів пропонується багато різних *OPM*, що відрізняються один від одного типом детектора оптичного сигналу (Si, Ge, InGaAs та ін.), робочою довжиною хвиль (380-1150нм, 750-1700нм, 750/850/1300/1550нм та ін.), припустимим діапазоном потужності вимірюваних сигналів (від -80дБм до $+10\text{дБм}$) та точністю вимірювань (від $|0,1| \text{дБ}$ до $|0,3| \text{дБ}$). Серед найбільш популярних *OPM* слід назвати вимірювач *OTM-1* компанії „Перспективные Технологии» (РФ), E5970A компанії *Hewlett-Packard* (США), K2401 компанії *Tektronix/Siemens* (ФРН) та багато ін. До основних параметрів *OPM* відносять: тип оптичного детектора (що визначає усі найбільш важливі характеристики цього приладу), метрологічна точність вимірювань та лінійність робочої характеристики приладу, динамічний діапазон щодо потужності вимірюваних оптичних сигналів, градуювальна шкала (необхідна для калібрування приладу) та можливість підтримки різноманітних оптичних інтерфейсів. *OPM* підключається до точки вимірювань через відповідний оптичний інтерфейс.

Для того, щоб коректно обрати необхідний тип та режим роботи *OPM* у реальних умовах використання ВОЛЗ, а також правильно виконати калібрування цього приладу необхідно мати певні знання щодо характеристик оптоволоконних кабелів та інших елементів ВОЛЗ, що не є об'єктом розгляду на цій лекції. Такі знання надаються у рамках навчальної дисципліни „Системи та лінії

передачі в електрозв’язку”.

Для вимірювань затухання оптичного сигналу у кабелі, окрім *ОПМ*, необхідно мати **стабілізоване джерело оптичного сигналу** (*Stabilized Light Source, SLS*). Оптичний сигнал *SLS* попередньо визначеної потужності на попередньо визначеній довжині світлової хвилі подається на вхід досліджуваної ділянки кабелю, а до виходу цієї ділянки під’єднується *ОПМ*, котрий має бути здатним виміряти рівень потужності вихідного оптичного сигналу. Якщо є довіра до стабільності роботи джерела оптичних сигналів, що функціонує у складі штатного обладнання ВОЛЗ, то під час вимірювань затухання застосовувати *SLS* немає потреби.

Промисловість випускає багато різних *SLS* (наприклад, K2501 компанії *Tektronix/Siemens* (ФРН), 774х компанії *Wavetek* (США), E5972А компанії *Hewlett-Packard* (США) та багато ін.), що відрізняються один від одного, головним чином, типом випромінювача світла. Існують три типи *SLS*: **лазерні джерела оптичного сигналу**, **світлодіодні джерела (*LED*)** та **джерела білого світла із вольфрамовою лампою**. Ці типи *SLS* відрізняються один від одного, в основному, шириною смуги випромінювання. Зрозуміло, що чим менша ширина смуги, тим більш якісний випромінювач (але більш дорожчий за вартістю). Лазерні випромінювачі мають найвужчу смугу випромінювання, а джерела білого світла – найширшу.

Аналізатори затухання в оптичному кабелі (*Optical Loss Test Set, OLTS*) (інша назва цих пристроїв – аналізатори втрат оптичної потужності) являють собою комбінацію *ОПМ* та *SLS*. За допомогою цих пристроїв, зазвичай, здійснюють покроковий аналіз оптичної лінії. Вони портативні, зручні у користуванні і тому широко використовуються на практиці.

Вимірювання затухання в оптичному діапазоні мають певну специфіку, яка має враховуватися під час проведення вимірювань. Перш за все, слід мати на увазі, що результат вимірювань затухання суттєво залежить від параметрів оптичного інтерфейсу між джерелом тестового оптичного сигналу та оптичною лінією. Навіть незначні відхилення у точності юстирування випромінювача, не кажучи вже про точність виготовлення елементів оптичного інтерфейсу, призводять до значних втрат

енергії сигналу під час проходження через інтерфейс. Вплив затухання оптичних інтерфейсів лінійного обладнання ВОЛЗ має враховуватися та вимірюватися. Тому на практиці виконують безпосередні вимірювання не параметра затухання в оптичному кабелі, а так званого **внесеного затухання**, котре визначається як сума параметрів затухання у лінії та втрат потужності в оптичному інтерфейсі.

По-друге, під час вимірювань має враховуватися можлива неузгодженість за спектром джерела оптичного сигналу та його приймача. Необхідно слідкувати, щоб не виникало ситуацій, коли, наприклад, спектр випромінюваного сигналу був в районі 1310нм, а смуга пропускання приймального пристрою – в районі 1300нм.

Для оцінювання величини параметрів затухання в оптичній лінії, окрім *OLTS*, може також застосовуватися **оптичний рефлектометр** (*Optical Time Domain Reflectometer, OTDR*). Принцип дії *OTDR* практично не відрізняється від принципу дії раніш розглянутого металевого рефлектометра, лише треба мати на увазі, що *OTDR* працює в оптичному діапазоні хвиль.

Апаратна структура оптичного рефлектометра зображена на рис.6.4 і особливих пояснень не потребує.

У лінію надсилається оптичний імпульс малої тривалості, котрий розповсюджується уздовж оптичного кабеля згідно законів релеєвського розсіювання та френелєвського відбиття. Від усілякого роду неоднорідностей, що можуть існувати у кабелі, відбивається частина енергії робочого сигналу і у зворотному напрямі через направляючий відгалужувач (рос. – ответвитель) потрапляє на фотоприймач. Пристрій *OTDR*, підключений до одного із кінців досліджуваної оптичної лінії, забезпечує вимірювання відбитої потужності.

На ринку інструментальних засобів представлено два класи *OTDR*: високоточні міні-рефлектометри, що покривають відстань від 100м до 50км (деякі із них – до 100км), та оптичні рефлектометри дальньої дії, що характеризуються невисокою вирішувальною здатністю, проте здатні працювати з кабельними лініями практично будь-якої довжини.

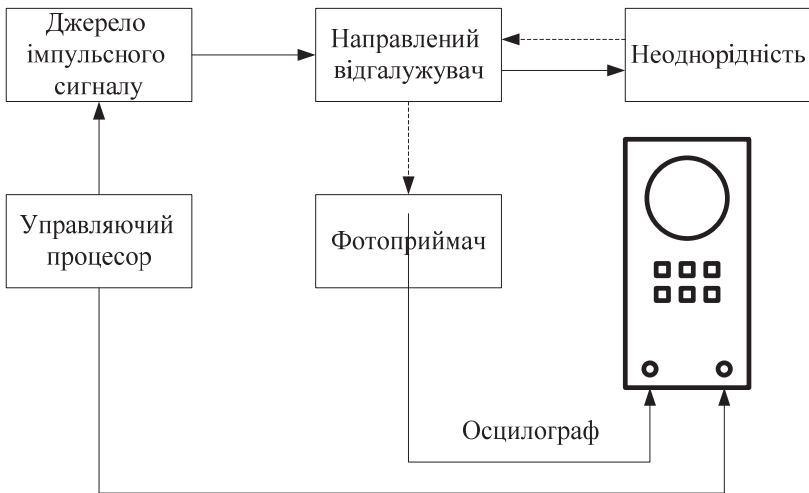


Рис.6.4. Апаратна структура оптичного рефлектометра

6.2.2. Вимірювання параметру перехідного затухання

Параметр перехідного затухання в оптоволоконних лініях вимірюється за допомогою оптичного рефлектометра (OTDR). При цьому застосовують наступну схему вимірювань. До однієї оптоволоконної лінії підключають генератор імпульсів рефлектометра, а до іншої досліджуваної лінії підключають приймач рефлектометра. Порівнюючи потужність згенерованих імпульсів із потужністю наведених імпульсів, що фіксуються приймачем, можливо оцінити величину перехідного затухання.

6.2.3. Пошук та усунення пошкоджень обладнання оптоволоконних систем

Алгоритм пошуку пошкоджень в обладнанні ВОЛЗ надано на рис.6.5. Пошук пошкоджень слід починати із спроб визначити, до якої частини обладнання – оптичної чи електричної – відноситься виявлена несправність. Для цього за допомогою оптичного вимірювача потужності (ОПМ) вимірюється рівень потужності

оптичного сигналу у різних точках ВОЛЗ, а результати вимірювань порівнюються із нормативними та (або) паспортними даними.

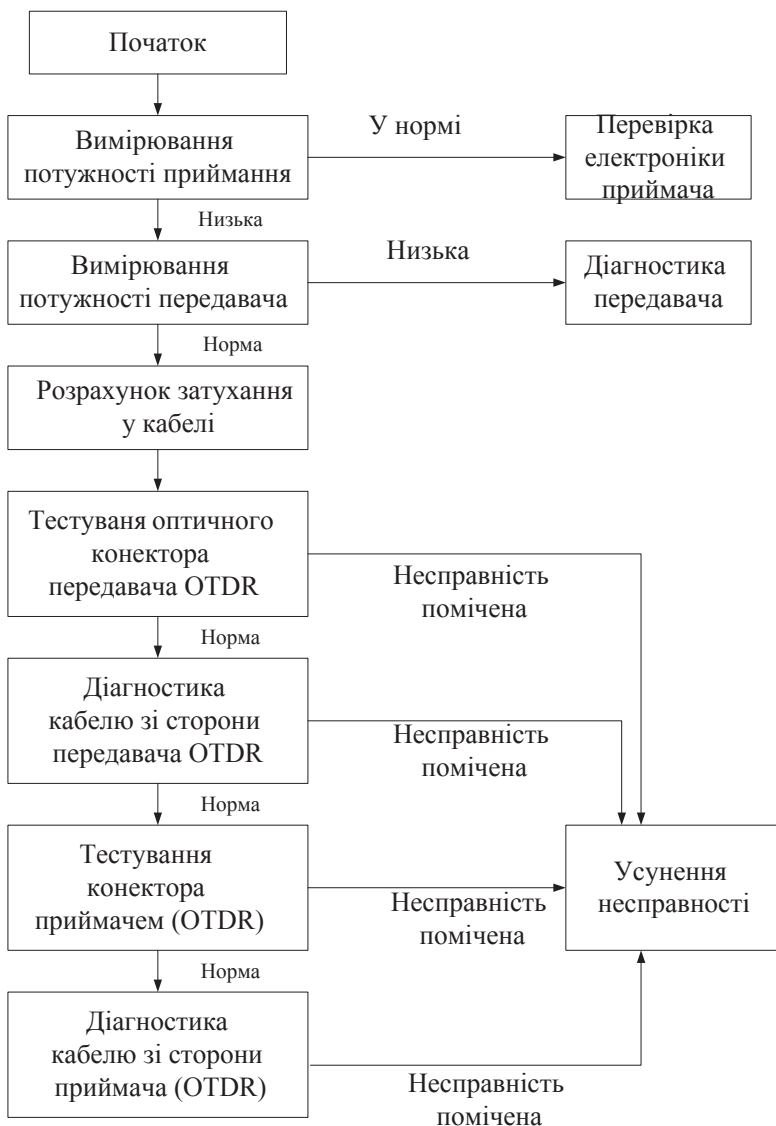


Рис.6.5. Алгоритм пошуку пошкоджень в обладнанні ВОЛЗ

Якщо виміряні рівні оптичної потужності на приймальних кінцях ділянок регенерації знаходяться у межах припустимих норм, то робиться висновок про знаходження несправності у електричній частині обладнання. Якщо виміряні рівні оптичної потужності на передавальних кінцях ділянок регенерації знаходяться у межах припустимих норм у той час, коли потужності оптичних сигналів на приймальних кінцях є меншими за нормовані значення, то робиться висновок про несправність оптоволоконного кабелю.

Пошук несправності оптичного кабелю починається із аналізу його зв'язаності, тобто необхідно упевнитись, що у кабелі відсутні точки розривів або надто великого збільшення параметру затухання. Для цього, якщо кабель невеликої довжини, використовують візуальний дефектоскоп, а на великих ділянках кабелю – оптичний рефлектометр.

Основні слабкі місця оптичного кабелю: несправні конектори, зварки поганої якості, неякісні з'єднання та розриви кабелю. Дефекти у конекторах визначають візуально за допомогою **експлуатаційного мікроскопу**.

Діагностику місць зварювання, локалізацію точок розриву, місць намокнень кабелю, місць виникнення неоднорідностей у структурі кабелю і т.ін. здійснюють за допомогою оптичних рефлектометрів (*OTDR*).

Рефлектограма *OTDR* не тільки надає змогу визначити місце пошкодження кабелю, але і характер пошкодження, оскільки місця зварених вузлів, точки розсіювання енергії від неоднорідностей оптоволоконна, з'єднання із конекторами, всілякі розгалуження кабелю відображаються на рефлектограмі як точки збільшення віддзеркалюваної потужності. Характер віддзеркалювання вказує на вид несправності.

6.2.4. Стресове тестування апаратури ВОЛЗ

Будь-яка ВОЛЗ проектується з урахуванням найбільш несприятливих умов її використання. У реальних умовах експлуатації показники роботи системи виявляються, зазвичай, дещо кращими. Тобто, існує певний запас між реально виміряними та гранично припустимими значеннями параметрів ВОЛЗ.

Наприклад, під час проектування ВОЛЗ здійснюють розрахунок так званого енергетичного бюджету оптичного сигналу у лінії при найгірших значеннях параметрів затухання та перехідних завад. Результати такого розрахунку вносять у проектну документацію на лінію. У той же час реально побудована лінія має дещо кращий енергетичний бюджет оптичного сигналу у порівнянні із запроєктованим. Під час приймально-здавальних випробувань лінії її реально виміряні параметри вносяться у паспорт ВОЛЗ. Тому неважко визначити різницю між реально існуючими (на момент пуску в експлуатацію) та запроєктованими показниками якості функціонування лінії. Ця різниця і визначає потенціальний ресурсний запас реальної лінії щодо можливостей деградації її якості. Знаючи величину цього запасу, можливо, наприклад, визначити, яке саме граничне значення затухання оптичного сигналу притаманне досліджуваній ділянці ВОЛЗ, перевищення котрого призведе до втрати її працездатності.

Для експериментального визначення реального енергетичного запасу оптоволоконної лінії здійснюють так звані **стресові випробування** шляхом імітації несприятливих умов її функціонування. Схема стресових випробувань ВОЛЗ показана на рис.6.6.

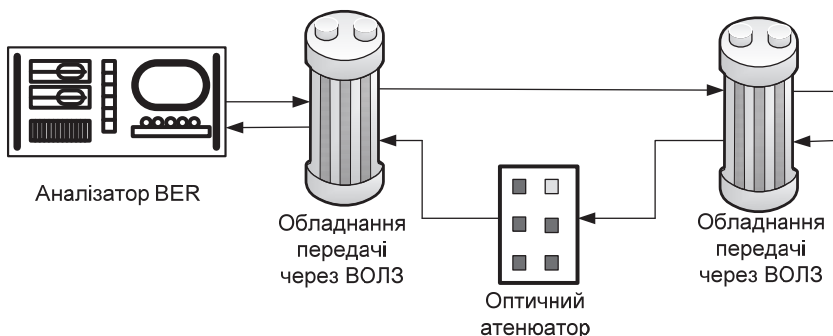


Рис.6.6. Схема стресового тестування ВОЛЗ

Як бачимо на рис.6.6, у лінію передавання оптичного сигналу включають оптичний атенюатор, що здатний вносити з певним кроком змін додаткове затухання в лінію. За допомогою

атенюатора поступово збільшуючи величину додаткового затухання, досягають ситуації, коли у лінію буде внесено гранично припустиме відповідно до технічних умов (ТУ) затухання.

Різниця між досягнутим значенням затухання та значенням затухання, вимірним у реальних умовах функціонування лінії (без атенюатора), і визначає запас лінії щодо потужності оптичного сигналу. Момент досягнення граничного значення затухання можливо визначити і по параметру бітових помилок у цифровому каналі, який неважко утворити на базі ВОЛЗ. Тобто, здійснювати оцінювання запасу потужності оптичного сигналу шляхом вимірювання параметру *BER* у цифровому каналі. На практиці широко використовуються норми на параметр *BER*. Тому за допомогою атенюатора у лінію вноситься така величина затухання, при котрій реально виміряне значення параметру *BER* буде дорівнювати нормативному значенню цього параметру.

6.3. Вимірювання параметрів абонентських ліній зв'язку

6.3.1. Вимірювання параметрів затухання сигналів в абонентській лінії. Як вже вказувалось, затуханням називається втрата потужності сигналу під час його проходження уздовж лінії зв'язку. Затухання вимірюють між якимись двома точками лінії, найчастіше – між її протилежними кінцями. Якщо потужності робочих сигналів, що циркулюють у лінії, задано у відносних одиницях (як правило, у *дБ* відносно потужності у *1мВт*), то затухання визначають як різницю у *дБ* між відносними рівнями потужності сигналів, що виміряні у цих точках. Якщо ж потужності робочих сигналів у точках вимірювань задано у абсолютних одиницях (наприклад, у *мВт*), то затухання визначають у *дБ* як $10\lg(P_1 / P_2)$, де P_1 та P_2 – потужності сигналів в абсолютних одиницях виміру у точках, між котрими вимірюється затухання.

Існують поняття власного та робочого затухання кабелю. Власне затухання сигналу у кабелі (характеризується параметром *A*) – це відношення (у децибелах) потужності вхідного сигналу до потужності сигналу на виході кабелю за умови, якщо і джерело сигналів і приймач сигналів, що підключені до кінців кабелю, узгоджені із хвилевим опором кабелю у всьому робочому діапазоні частот. Тобто, за умов, коли імпеданси (комплексні опори) джерела

та навантаження кабелю співпадають із характеристичним імпедансом цього кабелю. У цьому випадку відсутнє будь-яке відбиття енергії сигналів від кінців кабелю, що сприяє найбільш повному та якісному передаванню сигналів через кабель. Проте навіть у цьому випадку сигнал по мірі його розповсюдження через кабель поступово затухає, оскільки частина енергії сигналу розсіюється у кабелі (зокрема, перетворюється на тепло та випромінюється у зовнішнє середовище). Наприклад, якщо потужність сигналу на виході кабелю P_2 виявилась у 10 разів меншою, ніж потужність вхідного сигналу P_1 , то власне затухання A буде дорівнювати $10\lg(P_1/P_2) = 10\text{дБ}$, а якщо у 100 разів меншою, то $A = 20\text{дБ}$.

Робоче затухання сигналу у кабелі A_p – це відношення (у децибелах) потужності вхідного сигналу до потужності сигналу на виході кабелю у випадках, коли характеристичний імпеданс кабелю не співпадає із імпедансом джерела сигналів або навантаження. Саме такі випадки є характерними для експлуатаційної практики. Через неспівпадіння характеристичного імпедансу лінії із імпедансами пристроїв, що під'єднані до її кінців, виникає ефект відбиття енергії сигналів від цих пристроїв, тобто від джерела вхідних сигналів та від навантаження на лінію. Внаслідок чого на вхід навантаження із лінії потрапляють послаблені сигнали, оскільки частина енергії цих сигналів пішла на утворення сигналів відбиття (що називають луно-сигналами). Тому рівень робочого затухання завжди є більшим, ніж рівень власного затухання лінії.

Примітка 1. Від неузгодженого за імпедансом навантаження у зворотному напрямку назад у лінію поступають луно-сигналами (рос. – эхо-сигналы). Потужність луно-сигналів відносно потужності робочих сигналів у лінії характеризуються параметром, що зветься повернені втрати. Цей параметр розглянуто далі.

Як виміряти параметр затухання? Для цього спочатку вимірюють значення потужності вхідного сигналу P_1 , а потім – потужності сигналу на виході кабелю P_2 . Якщо при цьому імпеданси джерела вхідних сигналів та навантаження на кабель дорівнюють характеристичному імпедансу кабелю, то мова йде про вимірювання власного затухання кабелю A . Якщо ж імпеданси не є

повністю узгодженими, то вимірюють робоче затухання кабелю A_p . Для вимірювань потужності вхідного сигналу здійснюють наступне. Вхід приймача сигналів, що входить до складу обладнання – навантаження на лінію зв'язку, безпосередньо підключають до виходу джерела сигналів, виключивши із утвореного таким чином ланцюга вимірюваний кабель. Потім (після вимірювань потужності вхідного сигналу) відновлюють лінію зв'язку, тобто між джерелом сигналів та приймачем навантаження включають кабель, і вимірюють потужність сигналу на виході кабелю. Накінець, узявши логарифм відношення P_1/P_2 (із коефіцієнтом 10 за умов, що узято абсолютні одиниці вимірювання потужності), отримують у дБ шукане значення параметру A або A_p . Якщо ж узято відносні рівні потужності, то тоді параметр A або A_p визначається як різниця у дБ між цими рівнями сигналів.

Слід застеретти від спроб обчислити параметр A для вже прокладеного кабелю по параметру його погонного затухання (тобто, по затуханню, що приведене до одиниці довжини лінії) шляхом вимірювання довжини траси цього кабелю та помноження значення вимірної довжини на погонне затухання кабелю. Слід знати, що більш/менш точно виміряти довжину вже прокладеного кабелю (зокрема, рефлектометром) у типових умовах його експлуатації не є можливою справою (у рефлектометрів є так звана мертва зона). Окрім того, на параметр затухання впливає не тільки довжина кабелю, але і багато інших параметрів (ступень однорідності кабелю, наявність всіляких відводів та розгалуджень, параметри інтерфейсів і т.ін.).

6.3.2. Вимірювання імпедансо-частотної характеристики абонентської лінії

Затухання синусоїдальних сигналів у кабелі суттєво залежить від частоти коливаль. У загальному випадку затухання в електричних кабелях збільшується із збільшенням частоти несучого коливання. Тому якщо спектр інформаційного сигналу займає достатньо широку смугу частот, то, скоріш за все, різні синусоїдальні складові спектру сигналу будуть не однаково затухати, що спотворить форму сигналу і негативно відіб'ється на якості передавання сигналів через кабель.

Залежність величини затухання у кабелі від частоти синусоїдальних сигналів, що через нього проходять, відображає так звана **імпедансо-частотна характеристика (ІЧХ)** кабелю на відміну від **амплітудно-частотної характеристики (АЧХ)**, яка характеризує підсилюючі можливості будь-якого електричного ланцюга. Зрозуміло, що коли розглядається пасивний ланцюг, у складі якого відсутні будь-які активні підсилюючі пристрої (зокрема, абонентська лінія без регенераторів або із регенераторами, котрі підсилюють сигнал лише до його номінальних значень), більш доцільно користуватися ІЧХ, чим АЧХ.

Виміряти ІЧХ можливо різними шляхами. Один із найбільш зручних шляхів – використати будь-який **аналізатор абонентських ліній** (це - різновид аналізатора ланцюгів, *Network Analyzer*) із широкого спектру пристроїв цього типу, що існують на ринку вимірювальних засобів. Зокрема, такого роду аналізатори можуть розділятися на передавальну та приймальну частини, які під'єднуються відповідно до входу та виходу абонентської лінії. Наприклад, до входу абонентської лінії підключається генератор синусоїдальних коливань, частота котрого автоматично змінюється у наперед заданих межах (так званий, свип-генератор), а до виходу лінії підключається вимірювач рівнів прийнятих сигналів. Результати вимірювань рівнів сигналів подаються на вхід осцилографу, період розгортки котрого узгоджується із діапазоном змін частот генератора синусоїдальних коливань. Однак при цьому слід звернути увагу на робочий діапазон частот такого аналізатору. Якщо досліджується стандартний абонентський телефонний канал тональної частоти, до достатньо забезпечити розгортку ІЧХ у діапазоні від 200Гц до 4кГц. Такий діапазон розгортки може забезпечити будь-який аналізатор аналогових абонентських ліній типу *TDA-5*, *Line Scout*, *Auto-TIMS 111* і т.п. Якщо ж досліджується якість передавання цифрових сигналів уздовж аналогової абонентської лінії (наприклад, досліджується можливість використання абонентської лінії для організації *xDSL*-лінії або *ISDN*-лінії базового доступу), то у цьому разі ІЧХ має бути розгорнута до більш високих частот (в залежності від задіяної технології утворення цифрового абонентського каналу - мінімум до

200кГц, максимум до 2мГц). До аналізаторів абонентських каналів, що забезпечують діапазон розгортки ІЧХ 2мГц (і більше), належать, наприклад, аналізатори *SunSet xDSL*, *CoBRA xDSL* та ін. На екрані індикатора аналізатору, якщо його підключити до відрізка кабелю або до реальної абонентської лінії, відображаються усі суттєві неоднорідності у їхній структурі (зокрема, паралельні відводи, котушки Пупіна, неякісні з'єднання і т.ін.), що може слугувати в якості вихідних даних для вирішення багатьох експлуатаційних завдань. Накінець, якщо ставиться завдання дослідити ІЧХ широкосмугових кабелів (коаксіалів, звитих пар категорій 3, 4, 5, 6, що застосовуються для побудови структурованих кабельних систем), то діапазон розгортки аналізатора ліній в залежності від типу широкосмугового кабелю має бути від 10мГц до 100мГц. Такий широкий діапазон здатні забезпечити аналізатори *E8505*, *965DSP* та ін.

6.3.3. Вимірювання характеристики групового часу сповільнення (ГЧС) абонентської лінії

Не тільки затухання, але і швидкість розповсюдження синусоїдальних сигналів у кабелі у той чи іншій мірі залежить від частоти коливань. Тому якщо спектр інформаційного сигналу займає достатньо широку смугу частот, то різні синусоїдальні складові спектру сигналу можуть не з однаковою швидкістю передаватися через абонентську лінію. Це спотворить форму сигналу. До того ж внаслідок нерівномірності ГЧС можуть з'явитися попереду та позаду від цього сигналу так звані луно-сигнали, які, у свою чергу, можуть мати багатократний характер. Інформаційні сигнали спотвореної форми у процесі передавання „розпливаються” у часі, накладаються один на одний. Виниклі луно-сигнали накладаються на вже спотворені інформаційні сигнали. Більше того, відбиті від кінців абонентської лінії сигнали (у разі, якщо характеристичний імпеданс лінії не співпадає із імпедансами пристроїв, що підключені до її кінців) також накладаються на інформаційні сигнали. Усе це негативно впливає на якість транспортування інформації через кабель.

Примітка 2. Реальна картина сигналів в каналі – це більш складна. По-перше, окрім вищезгаданих ефектів, негативний вплив на цю картину робить

нелінійність амплітудної характеристики каналу. Через цю нелінійність виникають спотворення спектрів сигналів, зокрема зникають одні складові спектри, виникають нові інші. По-друге, на потоки вищеназаних сигналів накладаються також всілякі заважаючі наводи від зовнішніх сигналів, які, наприклад, протікають через суміжні пари проводів. По-третє, роблять суттєвий негативний вплив на сигнали в каналі і різноманітні завади, що носять ймовірнісний характер (флуктуаційні завади, імпульсні завади, широкосмугові завади, короткочасні перерви зв'язку і т. ін.). Накінець, якщо йдеться про дуплексний канал, то у ньому одночасно протікають сигнали різних напрямків передавання і, отже, існує проблема їх якісного розділення.

Залежність величини сповільнення часу передавання синусоїдальних сигналів, що проходять через абонентську лінію, від частоти цих сигналів відображає так звана **характеристика групового часу сповільнення (ГЧС)**. Ця характеристика є похідною від **фазочастотної характеристики (ФЧХ)** лінії. Проте оскільки виміряти ГЧС на практиці значно легше, ніж ФЧХ, тому саме ГЧС отримала широке застосування при вирішенні експлуатаційних завдань на абонентських лініях зв'язку. Для вимірювань ГЧС використовують векторні аналізатори ланцюгів, зокрема аналізатори абонентських ліній, які вже розглядалися у цій лекції. Для вимірювання ГЧС (а також інших частотних характеристик лінії) може бути використана схема так званого тонального тестування, коли до обох кінців двопроводової лінії під'єднуються окремі аналізатори. До складу будь-якого аналізатора ліній, як було вже сказано, входить генераторний блок, що здатний посилати у досліджувану лінію послідовності синусоїдальних сигналів з поступово наростаючою частотою, та приймальний блок, що під'єднується до лінії з іншого боку у режимі високоомного підключення без відключення навантаження. У даному випадку приймальний блок вимірює не рівні прийнятих сигналів, а час їхнього проходження через абонентську лінію. Завдяки свипуванню сигналів (тобто, завдяки пилкоподібному режиму роботи генератора синусоїдальних сигналів, коли частота генерації із певним періодом поступово наростає до певного максимального значення, а потім майже миттєво спадає до мінімального значення частоти) на індикаторі приймального блоку можливо побачити розгорнуту характеристику ГЧС, наприклад таку, що зображена на рис. 6.7. Для порівняння на цьому ж рисунку

показана ФЧХ стандартного каналу ТЧ.

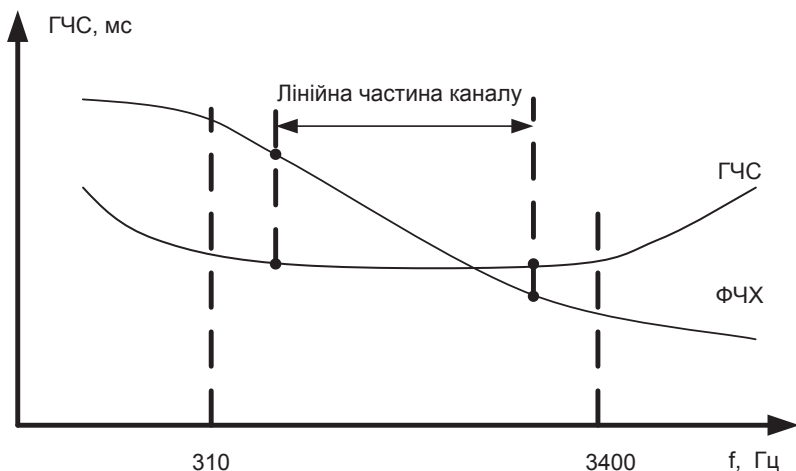


Рис.6.7. Частотні характеристики ГЧС стандартного телефонного каналу тональної частоти

Слід пам'ятати: для якісного передавання сигналів бажано, щоб ФЧХ у смузі каналу була якомога більш лінійною (нехай під певним кутом, але лінійною). Лінійній частині ФЧХ відповідає частина характеристики ГЧС, у межах котрої зберігається однаковість часу сповільнення частотних компонентів спектру сигналів, що транспортуються через канал. Тому, як бачимо на рис.6.7, у смузі пропускання стандартного каналу ТЧ (від 300Гц до 3,4кГц) ФЧХ є майже лінійною, а ГЧС – майже прямою лінією уздовж вісі абсцис. Інша картина на краях смуги пропускання каналу, а тим більш – поза смугою пропускання. Чим ближче до краю смуги, тим більше нерівномірність ГЧС (або тим більша нелінійність ФЧХ). А поза смугою пропускання вид характеристики ГЧС не має суттєвого значення.

Існують стандартизовані норми на припустиму нерівномірність характеристики ГЧС у смузі каналу та на краях цієї смуги. Перевищувати ці норми вкрай небажано, інакше спотворення сигналів в каналі досягнуть величини, коли буде неможливим забезпечити прийнятний рівень параметру помилок в каналі.

6.3.4. Вимірювання перехідного затухання на ближньому та на дальньому кінцях

У даному випадку мова йде про перехідні завади (навіди) між парами проводів у багатоканальному кабелі або між близько розташованими лініями зв'язку. В електромагнітне поле, що утворюється навколо пари провідників, через яку передаються інформаційні сигнали, можуть потрапити інші пари провідників. У цьому разі на цих провідниках виникають небажані електромагнітні навіди, які називають перехідними завадами. Перехідні завади також ще називають перехресними впливами (*crosstalk*). Інтерес представляє співвідношення потужностей: певного інформаційного сигналу, що розповсюджується уздовж одної пари провідників, та сигналу перехідної завади, що виникає на іншій, як правило, суміжній парі провідників як результат електромагнітного наводу від цього інформаційного сигналу. Перехідні завади накладаються на інформаційні сигнали в каналі, що негативно впливає на якість передавання інформації. Ще більш небажані ефекти впливу перехідних завод з'являються, коли канал має високий рівень нелінійності **амплітудної характеристики**. (Амплітудна характеристика каналу – це характеристика залежності амплітуди сигналу на виході каналу від амплітуди сигналу на його вході). У цьому разі виникає інтерференційна взаємодія між інформаційними сигналами та перехідними завадами в каналі, внаслідок чого спектри сигналів можуть кардинально змінитися.

Зрозуміло, що потужність перехідної завади майже завжди є меншою, ніж потужність сигналу, що спричинив цю заваду. Тобто, умовно кажучи, можливо вважати, що сигнал із однієї пари провідників передається на іншу суміжну пару провідників з певним затуханням. Величина цього затухання визначається у *дБ* за допомогою параметру, що називається перехідне затухання. Чим вище значення перехідного затухання, тим краще одна пара проводів ізольована від іншої пари, тим менший вплив перехідних завод на інформаційні сигнали. Величина перехідного затухання залежить від багатьох чинників – від відстані між парами провідників, від ізоляційного матеріалу, що знаходиться між провідниками та парами провідників, від геометрії розташування

провідників у просторі (наприклад, від параметру скрутки у кабелі типу „звита пара”), від неоднорідності та деградації матеріалу провідників та ізоляції у кабелі, від якості з’єднань між кабелями та конекторами тощо. Тому одна із важливих проблем, яку вимушений вирішувати експлуатаційний персонал, - боротьба із перехідними завадами.

Розрізняють перехідне затухання на ближньому кінці лінії зв’язку (*Near End Crosstalk, NEXT*) та перехідне затухання на дальньому кінці лінії (*Far End Crosstalk, FEXT*).

Як параметр *NEXT*, так і параметр *FEXT* визначають рівень затухання потужності перехідної завади, що наведена на якусь досліджувану пару проводів, відносно рівня потужності сигналу, що проходить по іншій парі проводів. Відмінність між цими параметрами обумовлюється лише місцем знаходження точок вимірювань.

Для визначення параметрів *NEXT* та *FEXT* розглянемо рис.6.8, на котрому зображений двопарний абонентський кабель, що з’єднує приймально-передавальне обладнання двох віддалених один від одного вузлів у межах якоїсь мережі абонентського доступу.

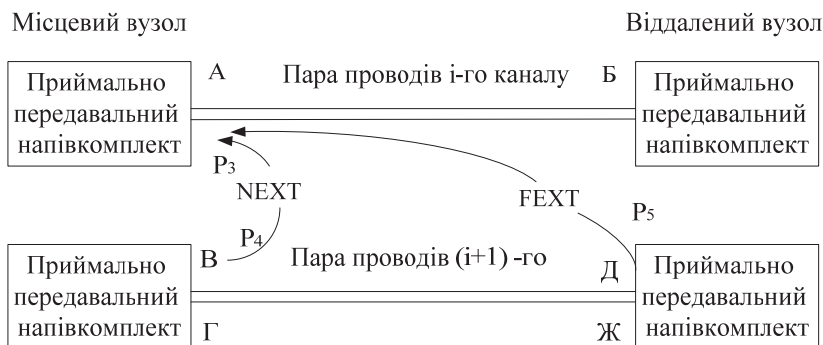


Рис.6.8. Визначення параметрів *NEXT* та *FEXT*

У випадку вимірювань параметру *NEXT* точки вимірювань беруться з одного краю кабелю, а у випадку вимірювань параметру *FEXT* – із різних країв кабелю. Спочатку розглянемо випадок, коли

досліджують перехідні завади тільки між двома парами провідників. Наприклад, вимірюється перехідна завада на парі проводів i -го каналу між точками вимірювань А та Б, що наведена від сигналу, котрий передається через іншу пару проводів, наприклад $(i+1)$ -го каналу.

Різні ділянки будь-якої пари проводів, через які передаються сигнали, у загальному випадку вносять свій окремий внесок у потужність перехідної завади, що вимірюється між точками А та Б. Тому, щоб мати можливість на кількісному рівні оцінити рівень перехідного затухання між точками А та Б, необхідно визначитися із місцем розташування точок вимірювань потужності тих сигналів, що спричинили навіди (на рис.6.8 – це точки вимірювань між В та Г або між Д та Ж). Якщо точки вимірювань джерела перехідної завади обирають з того кінця кабелю, де розташована пара точок вимірювань самої перехідної завади (на рис.6.8 - це – точки між В та Г), то здійснюють вимірювання параметру *NEXT*. Якщо точки вимірювань джерела перехідної завади обирають з протилежного кінця кабелю відносно того краю, де розташована пара точок вимірювань перехідної завади (на рис.6.8 – це точки між Д та Ж), то здійснюють вимірювання параметру *FEXT*. З урахуванням вищезазначеного параметри *NEXT* та *FEXT* визначаються наступним чином:

$$\begin{aligned} NEXT &= 10 \log (P_3 / P_4), [\text{дБ}]; \\ FEXT &= 10 \log (P_3 / P_5), [\text{дБ}], \end{aligned} \quad (6.1)$$

де P_3 - потужність перехідної завади, P_4 - потужність сигналу - джерела завади на ближньому кінці (між точками В та Г), P_5 - потужність сигналу - джерела завади на дальньому кінці (між точками Д та Ж).

Слід зазначити, що у різних системах зв'язку та за різних умов експлуатації відносний вплив параметрів *NEXT* та *FEXT* на якість передавання інформаційних сигналів може бути різним. За одних умов більш вагомий внесок у потужність перехідної завади робить параметр *FEXT*, в інших – *NEXT*. Однак на практиці здійснюють, головним чином, вимірювання параметру *NEXT*, можливо тому, що вимірювання цього параметру набагато більш легше організувати,

чим вимірювання параметру *FEXT*. Саме для параметра *NEXT* існують стандартизовані норми, що є чинними для багатьох сфер застосування кабельної продукції. Наприклад, у стандарті *TIA TSB-67* наведено стандартизовані формули та норми щодо *NEXT* для абонентських кабелів різних категорій. Зокрема, для звітої пари категорії 5 максимально припустиме значення параметру *NEXT* на частоті 1МГц визначено на рівні $60,0 \text{ дБ}$, а норма на параметр *NEXT* для цього ж кабелю на частоті 100,0 мГц – $29,3 \text{ дБ}$, оскільки із збільшенням частоти інформаційних сигналів їх негативний вплив на суміжні пари проводів суттєво збільшується.

Якщо маємо кабель, що містить у собі n пар провідників, то необхідно виконати $(n-1)$ актів вимірювань параметру *NEXT*, щоб дослідити вплив навідів від усіх цих пар на якусь визначену пару провідників у кабелі. Зрозуміло, що це – вельми трудозатратна справа. Тому на практиці використовується метод інтегральної оцінки параметра *NEXT*. У цьому випадку цей параметр позначається як *PS-NEXT* та визначається дещо по іншому. А саме, потужність сумарної перехідної завади вимірюють не відносно потужності сигналу, що цю заваду спричинив, а відносно певним чином обраного номінального рівню потужності, наприклад відносно 1мВт. Тоді параметр *PS-NEXT* визначиться як $10 \log (P_n / P_\Sigma)$, [дБ], де P_Σ - потужність перехідних завод від усіх пар провідників у кабелі (у мВт), а $P_n = 1 \text{ мВт}$.

Вищенаведені визначення та методи вимірювання параметру *NEXT* використовують у випадках, коли пред'явлено підвищені вимоги до точності вимірювань. Проте в експлуатаційній практиці у більшості випадків більш важливою є простота та швидкість вимірювань, ніж їхня точність. У цих випадках параметр *NEXT* вимірюють за допомогою **портативних рефлектометрів металевих кабелів**. При цьому застосовують наступну схему вимірювань. До одної пари провідників підключають генератор імпульсів рефлектометра, а до іншої досліджуваної пари провідників підключають приймач рефлектометра. Порівнюючи потужність згенерованих імпульсів із потужністю наведених імпульсів, що фіксуються приймачем, можливо оцінити величину перехідного затухання.

Методами рефлектометрії здійснюють також так звану **локацію**

втрат *NEXT*, тобто пошук локальних точок (місць розташування) на лінії, де виявились ознаки джерела втрат енергії сигналу під час його проходження через цю лінію. Рефлектометр здатний визначити відстань між кінцем лінії та точками на лінії, де виміряні значення параметру *NEXT* будуть перевищувати максимально припустиме значення цього параметру.

6.3.5. Вимірювання параметру захищеності лінії від перехідних завад

Захищеність лінії зв'язку від перехідних завад визначається тим, наскільки перехідне затухання є більшим за власне затухання цієї лінії. Рівень захищеності конкретної лінії зв'язку із конкретним значенням рівня її затухання - власного A або робочого A_p - від перехідного затухання (рівень котрого, у свою чергу, визначається параметром *PS-NEXT* або в окремих випадках - параметром *NEXT*) характеризує параметр *ACR* (*Attenuation to Crosstalk Ratio*). *ACR* – це різниця в δB між параметром *PS-NEXT*, що характеризує сумарний рівень перехідних завад в лінії, та параметром затухання цієї лінії (параметра A або параметра A_p - в залежності від того, чи є узгодженим характеристичний імпеданс лінії із імпедансом навантаження на лінію). **Захищеність лінії щодо перехідних завад** обчислюється за наступною формулою:

$$ACR [\delta B] = PS-NEXT [\delta B] - A_p[\delta B]. \quad (6.2)$$

Практичний інтерес являє залежність параметра *ACR* від частоти. Для визначення цієї залежності побудуємо два графіки частотних залежностей – параметра *PS-NEXT* та параметра A_p (див. рис. 6.9). Як бачимо на рис.6.9, власне (або робоче) затухання самої лінії з ростом частоти збільшується, в той час як перехідне затухання зменшується. У точці перетину графіків значення A_p буде дорівнювати значенню *PS-NEXT*, тобто захищеність лінії у цій точці (значення параметру *ACR*) має нульове значення. Зліва від точки перетину захищеність є позитивною величиною. Чим менше значення частоти, тим краще захищеність. Справа від точки перетину маємо незахищену лінію, оскільки значення параметру *ACR* в цьому випадку завжди буде негативною величиною. 3

ростом частоти ситуація тільки погіршується.

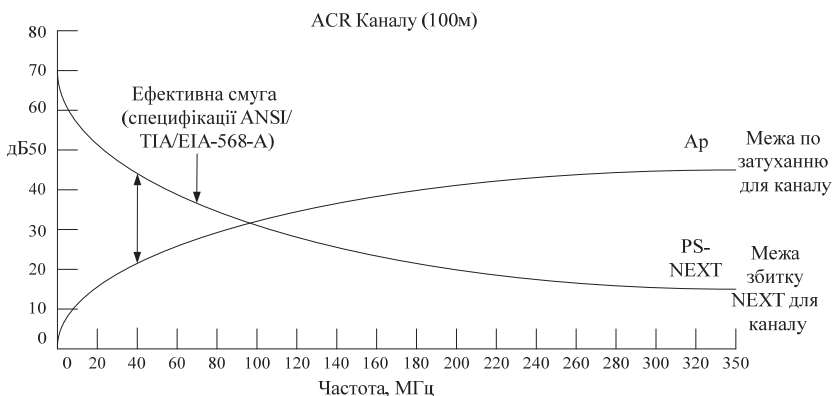


Рис.6.9. Визначення ширини робочої смуги частот лінії зв'язку по частотним залежностям параметрів $PS-NEXT$ та A_p

Параметр ACR має суттєве практичне значення і широко застосовується на практиці для визначення реальної ширини смуги пропускання частот лінії зв'язку з урахуванням конкретних умов її використання. Треба завжди мати на увазі, що якщо у паспортних даних на кабельну продукцію вказується якась конкретна величина смуги пропускання кабелю, припустимо на рівні 400МГц , то це зовсім не означає, що лінія зв'язку, яка побудована на основі цього кабелю, буде також мати смугу пропускання 400МГц . Реальна робоча смуга частот лінії зв'язку буде набагато меншою. Шляхом оцінювання реального значення параметру ACR і визначають реальну ширину смуги пропускання частот системи зв'язку. Оцінка здійснюється наступним чином.

Припустимо, що у межах робочої смуги захищеність лінії від перехідних завод (тобто, значення параметру ACR), повинна бути не гірше за 10дБ. Іншими словами, той діапазон частот, в межах котрого значення параметру ACR не перевищують 10дБ, і є робочою смугою реальної лінії зв'язку.

На рис. 6.9, як було вже сказано, показано дві частотні залежності. Перша - залежність від частоти параметра робочого затухання лінії зв'язку A_p . Друга – частотна залежність параметру

перехідного затухання *PS-NEXT*. Якщо відступати наліво від точки перетину цих залежностей рівно настільки, щоб відстань по вертикалі у дБ між кривими, що відображають ці залежності, дорівнювала 10дБ , то ми знайдемо на вісі частот **верхнє значення робочої смуги пропускання лінії**.

На рис.6.9 бачимо, що точка перетину залежностей знаходиться десь на рівні 138МГц . Починаємо рухатись від цієї точки наліво до тих пір, поки різниця по вертикалі між двома графічними залежностями, тобто параметр *ACR*, досягне значення 10дБ . Маємо різницю на вісі ординат між робочим затуханням A_p та параметром втрат *PS-NEXT*, що дорівнює $(35 - 25) = 10 [\text{дБ}]$. Ця різниця знаходиться на рівні 100МГц . От же, верхній край робочої смуги лінії дорівнює 100МГц .

6.3.6. Вимірювання параметру повернених втрат. Як вже вказувалось, через неспівпадіння характеристичного імпедансу лінії із імпедансами пристроїв, що приєднані до її кінців, виникає ефект відбиття енергії сигналів від точок підключення цієї лінії до джерела вхідних сигналів та до навантаження на лінію. У цьому разі в лінії виникають луно-сигнали (рос., – эхо-сигнали). Відбиття енергії сигналів відбувається не тільки від кінців неузгодженої лінії, але також і від будь-яких неоднорідностей, що можуть виникати уздовж лінії. Зрозуміло, що луно-сигнали накладаються на робочі сигнали і, таким чином, заважають нормальному прийому робочих сигналів. Щоб оцінити рівень потужності сигналу, відбитого від якогось конкретного місця неоднорідності у лінії у реальних умовах її експлуатації, вимірюють **параметр** так званих **структурних повернених втрат** (рос., - структурных возвратных потерь) *SRL* (*Structural Return Loss*).

Якщо рівні основного та відбитого сигналів задано у дБ , то оцінюють різницю між рівнем потужності основного робочого сигналу та рівнем потужності сигналу, відбитого від конкретного місця виниклої неоднорідності. Так, наприклад, якщо рівень основного робочого сигналу у лінії дорівнює 0дБ (завжди відносно потужності 1мВт), а рівень відбитого сигналу дорівнює мінус 10дБ , то різниця між ними, тобто значення параметру *SRL* у цьому випадку буде дорівнювати плюс 10дБ .

Якщо ж потужності основного та відбитого сигналу задано в

абсолютних одиницях виміру, зокрема у mBm , то параметр SRL буде визначатися як відношення потужності основного сигналу до потужності відбитого сигналу, котре представляється у dB . Тобто, візьмемо попередній приклад, якщо потужність основного сигналу – (плюс) $1mBm$, а потужність відбитого сигналу – (плюс) $0,1mBm$, то $SRL = 10 \lg (1/0,1) = 10 \lg (10) =$ (плюс) $10 dB$.

Найбільш часто параметр SRL вимірюють у місці з'єднання навантаження із вивідним кінцем лінії, оскільки у цьому випадку параметр SRL характеризує ступінь неузгодженості імпедансів лінії та навантаження. Зрозуміло, що чим більша неузгодженість імпедансів, тим більша потужність відбитого луно-сигналу і тим менші виміряні значення параметру SRL .

Якщо ставиться завдання оцінити рівень сумарної потужності луно-сигналів, що утворилися внаслідок відбиття енергії основного сигналу від усіх існуючих у лінії неоднорідностей, то тоді мова йде про вимірювання **параметру звичайних повернених втрат** (рос., -возвратных потерь) RL (*Return Loss*). Параметр RL визначається таким же чином, як і параметр SRL , тільки у знаменнику визначальної формули береться сума потужностей усіх луно-сигналів, що утворились у лінії.

Слід зазначити, що параметри RL та SRL суттєво залежать від частоти робочого сигналу. Існуючі норми на параметри RL та SRL для різних типів та категорій кабелів (зокрема, норми TIA/EIA-568-A та ISO/IEC 1181) враховують цю частотну залежність.

Для оцінювання величини повернених втрат доцільно використати металевий рефлектометр (точніше сказати, - рефлектометр для металевих провідників).

6.3.7. Вимірювання параметрів швидкості розповсюдження сигналів

До групи параметрів, що пов'язані із вимірюваннями швидкості розповсюдження сигналів уздовж ліній зв'язку, відносять **відносну швидкість розповсюдження сигналів** NVP (*Nominal Velocity of Propagation*) (іноді цей параметр позначається як VOP - *Velocity of Propagation*) (мається на увазі відношення реальної швидкості розповсюдження сигналів в каналі відносно швидкості світла у вакуумі), **затримку** у появі сигналів на виводі із лінії відносно

моменту їхнього надходження на увід лінії (параметр *delay*), **розкид затримок** проходження сигналів по різних парам провідників багатопарного кабелю (параметр *Skew*). Усі ці параметри практично не пов'язані із прийнятими технологіями використання обладнання ліній зв'язку на стадії їхньої експлуатації. Існуючі способи вимірювання параметрів розповсюдження потребують достатньо унікальної інструментальної бази. Конкретні величини цих параметрів, як правило наведені у паспортних даних на відповідну кабельну продукцію і практично не змінюються в процесі експлуатації. Усе це обумовило незначний інтерес до експлуатаційних вимірювань цих параметрів. Тим не менш, враховувати паспортні дані на ці параметри при побудові конкретних телекомунікаційних систем (ТКС), а також під час оцінювання величин інших параметрів лінії безумовно необхідно. Наприклад, слід пам'ятати, що американський стандарт *TIA/EIA-568-A* встановлює обмеження на максимально припустиму величину затримки *delay* для звитих пар провідників. Зокрема, для будь-якої пари на частоті 10МГц параметр *delay* повинен не перевищувати $5,7\text{нс/м}$. Інакше можуть виникнути проблеми у передаванні даних з використанням технології *Fast Ethernet* навіть при відносно невеликих відстанях передачі. Крім того, слід пам'ятати, що значення параметру *NVP* змінюється приблизно у діапазоні 3% в залежності від температури зовнішнього середовища та від стану ізоляції жил кабелю і являється функцією частоти робочого сигналу в лінії. Значення параметра *NVP* враховується під час калібрування рефлектометрів.

6.3.8. Флуктуаційні та імпульсні завади у лініях зв'язку

Флуктуаційні та імпульсні завади суттєвим чином впливають на якість функціонування систем зв'язку. У межах навчальної дисципліни „Теорія електричного зв'язку” виявлена статистична природа виникнення цих завад, надана їхня класифікація, розглянуто причини та негативні наслідки їхньої появи, методи та засоби боротьби з ними і т.ін. Щодо вимірювань параметрів цих завад, то на стадії експлуатації ТЛК-обладнання вони, здебільшого, не виконуються. Визначення впливу параметрів завад ймовірного характеру на якість роботи каналів зв'язку

здійснюється опосередковано шляхом вимірювання параметрів помилок, які виникають внаслідок дії завод. Виняток складають флюктуаційні шуми абонентських телефонних ліній, шумові параметри котрих нормуються та вимірюються (маються на увазі психофотричні шуми, середньо зважені шуми і т.ін.).

6.3.9. Організація вимірювань на абонентських мережах зв'язку

Наразі проводові мережі абонентського доступу будуються у вигляді структурованих кабельних систем (СКС), головним чином, на основі використання кабелів типу „звита пара” категорії 5. Такий кабель є відносно недорогим та має широку смугу пропускання частот (до 100МГц), щоб задовольнити будь-які потреби у доступі до будь-яких глобальних транспортних мереж, у т.ч. потреби користувачів телефонних мереж, інтернет-сервісів та широкомовного телебачення.

СКС мають широке застосування. Тому експлуатаційні вимірювання їхніх параметрів являються актуальними. СКС намагаються проектувати та будувати відповідно до певних стандартів, наприклад згідно специфікаціям стандарту *TIA TSB-67*, тому що дотримання стандартизованих норм дозволяє об'єктивно на кількісному рівні оцінити якість функціонування цієї системи.

У рамках цієї лекції ми не будемо розглядати специфікації стандарту *TSB-67*. Проте зазначимо, що цей стандарт визначає стандартні моделі побудови СКС та надає стандартизовані норми на окремі елементи цих моделей. Зокрема, надаються норми на схеми розвіду кабелів, на максимально припустиму довжину цих кабелів, на параметри затухання та на параметр перехідного затухання *NEXT*. Технології експлуатаційних вимірювань СКС (у т.ч., методи тестування, інтерпретація результатів тестування, вимоги до характеристик інструментальних засобів тестування тощо) також висвітлені у стандарті *TIA TSB-67*.

У сучасній практиці знайшли застосування два основних підходи до вимірювань параметрів абонентських ліній зв'язку – тональне або імпульсне тестування. Перший, найбільш функціонально повний та точний спосіб – це вимірювання за схемою тонального тестування із використанням двох аналізаторів абонентських ліній, що приєднуються до обох кінців

двопроводової лінії. За цією схемою аналізуються АЧХ, ІЧХ, ГЧС та практично усі інші вторинні параметри лінії. До складу будь-якого аналізатора ліній входить генераторний блок, що здатний посылати у досліджувану лінію синусоїдальний свип-сигнал, та приймальний блок, що приєднується до лінії з іншого боку. Завдяки свип-сигналу на індикаторі приймального блоку можливо побачити розгорнуті частотні характеристики лінії. Проте вимірювання за цим способом потребують достатньо значних часових витрат та недешевих інструментальних ресурсів. Тому існують більш прості, але менш функціональні варіанти реалізації способу тонального тестування. Зокрема, замість одного із аналізаторів використовують більш простий та дешевий пристрій із неповними можливостями аналізатора, що називається респондером. Наприклад, респондер *TX-ID* являє собою широкопasmовий генераторний модуль, що підключається з одного боку лінії, а управляється аналізатором, що підключений до цієї лінії з іншого боку.

Другий, менш функціональний та менш точний спосіб – це аналіз та вимірювання параметрів лінії за допомогою металевих рефлектометрів, що був розглянутий вище.

6.3.10. Трасування кабелю з використанням активної антени

Роботи із прокладання, заміни або перекросування абонентських кабельних мереж часто зустрічаються в експлуатаційній практиці. Вони характеризуються великими трудовитратами. І тому технології їхнього економного виконання являють практичний інтерес. Зокрема інтерес представляють **методи трасування та кросування кабелів**. Під трасуванням розуміється комплекс вимірювальних робіт, що спрямований на визначення траси пролягання кабелю, а під кросуванням – організація здійснення безпомилкових з'єднань кабелів у кросах.

Розглянемо деякі найбільше розповсюджені методи трасування та кросування абонентських кабелів.

Для трасування кабелю, тобто визначення траси його проходження, часто застосовують в якості інструменту вимірювань вимірювальний комплекс, що складається із передавального та приймального пристроїв з активною антеною. Схема визначення

траси кабелю за допомогою такої пари пристроїв відображена на рис.6.10. Як бачимо, передавач підключається до одного із кінців досліджуваного кабелю (на рис.6.10 - до досліджуваної пари проводів на крос-панелі, що розташована зліва). Цей передавач (*transmitter, T*) генерує сигнал у кабель, а приймач (*receiver, R*) з активною антеною використовується для виявлення цього сигналу шляхом переміщення антени уздовж кабелю. Зрозуміло, у разі відхилення від траси кабелю сигнал, що сприймається антеною, буде послаблюватися. Тому по величині прийнятого сигналу завжди є можливим визначити трасу кабелю, а також його протилежний кінець на правій крос-панелі рис.6.10.

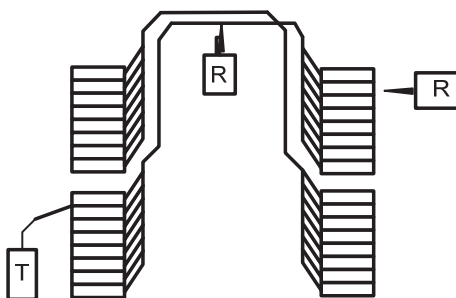


Рис. 6.10. Трасування кабелю за допомогою передавача та приймача з активною антеною

У багатьох випадках втручання у працюючий канал є неприпустимим. Тому перед початком трасування досліджуваний кабель (або пара проводів) звільняється від робочого сигналу, перевіряється відсутність робочого сигналу у цьому кабелі і лише потім до нього підключається передавач. Зрозуміло, що сигнал передавача має суттєво відрізнитися від будь-яких інших сигналів, що можуть транспортуватися через суміжні кабелі (або пари проводів), інакше його неможливо буде відрізнити від інших сигналів.

Аналогічний принцип вимірювань використовується під час визначення місцеположення кінців кабелю (або пари проводів) у шафі кросу. Наприклад, у випадках, коли загублена документація на абонентське кабельне господарство. У цьому разі передавач *T*

підключається до досліджуваної розетки (див. рис.6.11), а приймач *R* забезпечує пошук місця пари у шафі (зрозуміло, що для цього антена не потрібна). Якщо дослідити підключення усіх розеток згідно схеми рис.6.11, то можливо поновити чи перевірити усю кросову документацію.

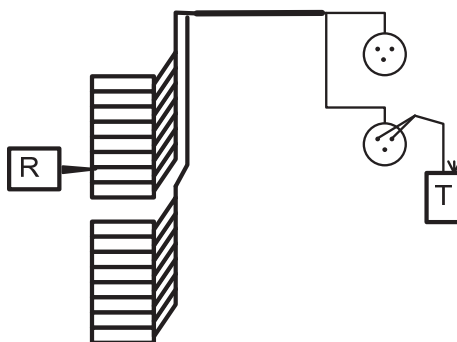


Рис.6.11. Схема пошуку кінців кабелів у кросовому шафу

Якщо трасування кабелю необхідно здійснювати від розетки (а не від кросового шафа, як це показано на рис.6.10), то для цього використовують індуктивний давальник, що підключається до приймача *R* замість антени (див. рис.6.12). Клеми досліджуваної розетки перемикають (тобто, організують шлейф від розетки), а передавальник *T* послідовно по черзі підключають до кінців кабелів (пар проводів), що приєднані до роз'ємів крос-панелі або кросової шафи. При цьому послідовне підключення здійснюють до того часу, поки індуктивний датчик не буде ідентифікувати сигнал.

На практиці часто виникає необхідність розшукати кінець кабелю (або пари проводів) у з'єднувальній муфті чи розподільчій коробці (наприклад, для підключення додаткових телефонних розеток). У цьому разі застосовують схему вимірювань, що представлена на рис.6.13.

Для трасування кабелю з робочим сигналом використовується неінтерферуючий метод трасування, відображений на рис.6.14, відповідно до якого використовується подача сигналу у пару

земля-кабель.

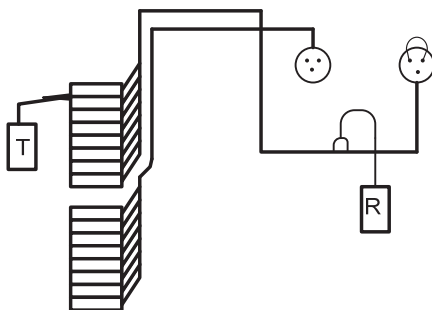


Рис.6.12. Шлейфова схема трасування кабелю за допомогою індуктивного задавальника

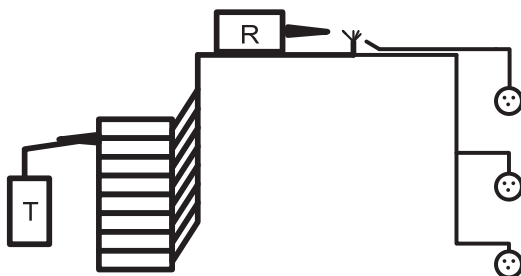


Рис.6.13. Схема пошуку кінця кабелю у розподільчій коробці з використанням активної антени

Вимірювання, що пов'язані з кросуванням кабелів. Для ефективного (тобто, найбільш оперативного та якісного) кросування кабелів між двома віддаленими кросовими шафами використовується спеціалізоване устаткування, яке включає в себе два двоканальні прилади, що працюють сумісно у парі. Точніше, у парі працюють два кросувальники, кожний із котрих користується приладом, що входить до складу цього спеціалізованого обладнання. Один із кросувальників працює з боку першої шафи, а інший – з боку другої шафи. Один із двох каналів обладнання

використовується для організації телефонного зв'язку між кросувальниками (тобто, організується зв'язок через так звану „холодну пару”), а другий канал використовується для кросування методом гальванічного тестування (тобто, «продзвонювання»). Перевагою такого методу у порівнянні з простим «продзвонюванням» є наявність зв'язку у процесі кросування.

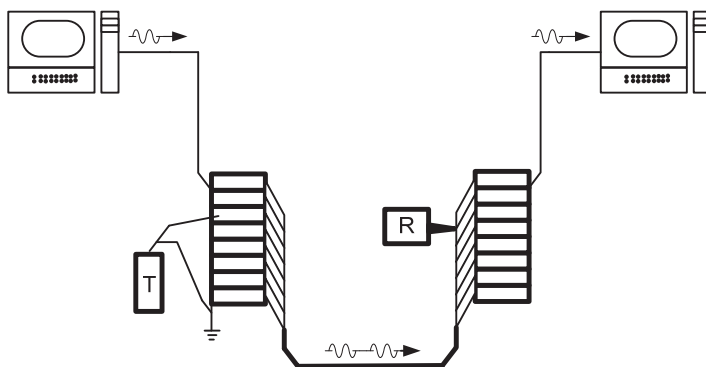


Рис.6.14. Трасування кабелю з використанням неінтерферуючого методу

На рис.6.15 відображені основні схеми вимірювань під час кросування кабелів між кросовими шафами. Навушники на рис.6.15 показують наявність аудіосигналу та мовного зв'язку через гарнітуру, а сам тестовий комплект використовується для аудіо та світлової сигналізації про виявлення кабелю. Існує декілька методів організації кросування. Перший метод (рис. 6.15а) полягає у шлейфовому попарному кросуванні. При цьому один кросувальник забезпечує шлейф (тобто, перемикає пари), а другий відшукує пошкоджені зашлейфовані пари у кросовій шафі. Другий метод (рис. 6.15б) припускає покроковий аналіз кожного із проводів. У цьому випадку один кросувальник (на рис.6.15 той, що з правого боку) заземлює досліджуваний провід, а другий кросувальник (той, що зліва) заземлює один із контактів вимірювача і використовує другий для пошуку заземленого

проводу. Недолік такого методу полягає у тому, що заземлений провід помилково може бути прийнятий за пошуковий. У процесі кросування може також здійснюватися заземлення кабелів (рис. 6.15в), а також аналіз опору лінії чи прикінцевих пристроїв (рис. 6.15г).

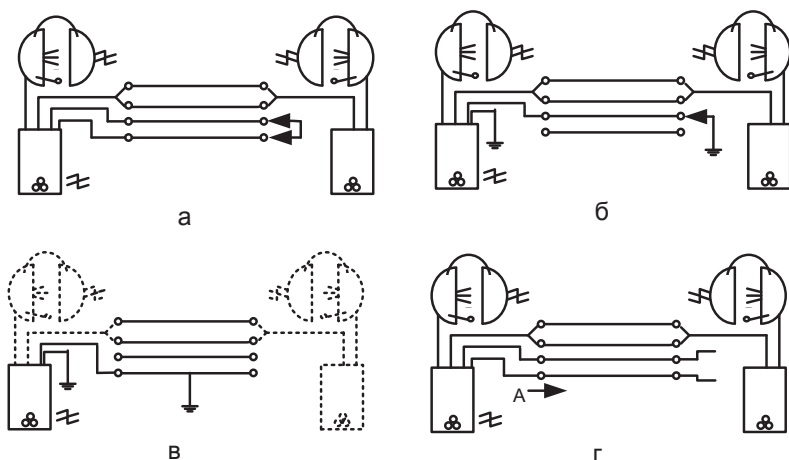


Рис.6.15. Основні схеми кросування кабелів між кросовими шафами

6.3.11. Кабельні імітатори

Імітатори кабелів застосовуються для проведення повномасштабних випробувань:

- вперше розробленого обладнання абонентських ліній;
- на етапі впровадження в експлуатацію нового обладнання абонентських ліній на існуючій структурованій кабельній системі (СКС) з конкретно визначеними характеристиками, якщо є сумніви, що це обладнання здатне нормально функціонувати на цій СКС. Імітатори надають можливість оцінити придатність обладнання до роботи у СКС із заданими параметрами, і, отже, визначити коло потенційних постачальників такого обладнання.

Параметри реальної або еталонної СКС являються параметрами імітації, що мають бути реалізовані імітатором.

Принцип імітації абонентської кабельної лінії зводиться до конструювання фізичної моделі цієї лінії із певного набору фізичних моделей стандартних відрізків (ділянок) абонентської лінії. Ці фізичні моделі (котрі ще називають тестовими шлейфами абонентського кабелю) будуються на основі пасивних компонентів електричних ланцюгів (зокрема, високоточних резисторів, конденсаторів, котушок індуктивності) та імітують ділянки дуплексних ліній із ізотропними (тобто, однорідними) характеристиками. Зрозуміло, що тестові шлейфи мають якомога точніше відображати параметри ділянок реальної абонентської лінії. Тому параметри цих шлейфів специфікуються стандартами, зокрема стандартом *ANSI T1.601/ETSI*.

На ринку інструментальних засобів існують прилади (точніше, комп'ютеризовані інструментальні комплекси), що забезпечують фізичну імітацію будь-яких ділянок абонентських ліній, у т.ч. еталонних тестових шлейфів згідно із стандартом *ANSI T1.601/ETSI*. Ці інструментальні засоби називаються імітаторами кабелів. З використанням імітаторів кабелів існує можливість протестувати роботу обладнання абонентських ліній, такого як обладнання *ISDN, HDSL, ADSL*, аналогових модемів і т.ін.

Конкретна інформація щодо технології користування імітаторами кабелів міститься у відповідних стандартах *ETSI* та *ANSI*. Щоб скласти більш/менш детальне уявлення про імітацію абонентських ліній, слід звернутися до книги І.Г. Бакланова „Методы измерений в системах связи” (М.: ЭКО-ТРЕНДЗ, 1999).

6.4 Вимірювання параметрів аналогових комутованих телефонних каналів

6.4.1. Норми на параметри комутованих телефонних каналів

В експлуатаційній практиці виникає необхідність у вимірюваннях параметрів комутованих телефонних ліній, зокрема з метою визначення їх відповідності певним нормованим значенням. Тому інтерес являють норми на параметри комутованих каналів зв'язку ТМЗК (телефонних мереж загального користування), основні з котрих (але не усі) представлені у табл.6.1. Ці норми слугують для оцінки якості телефонних каналів під час

періодичних експлуатаційних вимірювань. У разі виявлення невідповідності виміряних значень параметрів цим нормам експлуатаційний персонал повинен здійснити заходи щодо пошуку несправної ділянки каналу та усунути причини невідповідності.

Таблиця 6.1

Експлуатаційні норми на електричні параметри каналів комутованих ТМЗК

Найменування електричного параметру	Норма	Примітка
<p>1. Граничне значення залишкового затухання між абонентами мережі на частоті 1000(1020)Гц повинно не перевищувати:</p> <ul style="list-style-type: none"> - для каналів місцевих (тобто, міських та сільських) і зонавих мереж; - для каналів міжміського зв'язку. 	<p>30,0 дБ</p> <p>31,0 дБ</p>	<p>Затухання між кінцевими АТС мережі, куди підключені абоненти, нормуються значенням на 10дБ меншими, тобто відповідно 20,0дБ або 21,0дБ.</p>
<p>2. Імпедансо-частотна характеристика (ІЧХ) каналу нормується на частотах 1800Гц та 2400Гц. Граничне значення затухання на частотах 1800/2400Гц між абонентами повинно не перевищувати:</p> <ul style="list-style-type: none"> - для каналів місцевих (тобто, міських та сільських) і зонавих мереж; - для каналів міжміського зв'язку. 	<p>37,0/41,0дБ</p> <p>38,0/42,0дБ</p>	<p>Затухання між кінцевими АТС мережі, куди підключені абоненти, нормуються значенням на 13,0/15,0 дБ менше.</p>
<p>3. Співвідношення сигнал/шум на виході комутованого каналу на стороні абонента або на АТС повинно не бути менше, ніж наступні значення (дБ):</p> <ul style="list-style-type: none"> - для каналів місцевих (тобто, міських та сільських) і зонавих мереж; 	<p>25,0 дБ</p>	<p>При вимірюваннях за схемою „абонент-абонент” рівень сигналу вимірювального генератора на частоті 1020Гц повинен бути мінус 5 дБм.</p>

<p>- для каналів міжміського зв'язку довжиною < 2500 км та довжиною > 2500 км.</p>	<p>25,0 дБ 20,0 дБ</p>	<p>При вимірюваннях за схемою „АТС- АТС” рівень сигналу вимірювального генератора на частоті 1020Гц повинен бути мінус 10 дБм.</p>
<p>4. Розмах тремтіння фази сигналу (джитер) на частоті 20-300 Гц, виміряний на стороні абонента або на АТС, повинен не перевищувати (у градусах).</p>	<p>15 градусів</p>	<p>Те ж саме, що і у попередньому пункті</p>
<p>5.Сумарний вплив короткочасних переривань сигналу (глибиною затухання сигналу більш, ніж 13,0 дБ, та тривалістю менше 300мс) та імпульсних завад (з амплітудою завади більше рівня сигналу) повинен не перевищувати (у відсотках кількості секундних інтервалів, що вражені цими перериваннями або імпульсними завадами, відносно загальної кількості секунд інтервала вимірювань).</p>	<p>30%</p>	
<p>6.Затухання луно-сигнала відносно основного повинно бути не менше нижчевказаних значень (у дБ):</p>		
<p>6.1.Відлуння від сигналу розмовляючого суб'єкта (в залежності від місця розташування дифсистеми на абонентській мережі цього суб'єкту): - на міжміській АТС; - на транзитному комутаційному вузлі; - на районній АТС.</p>	<p>23,0 дБ 20,0 дБ 15,0 дБ</p>	
<p>6.2.Відлуння від сигналу</p>		

слухаючого суб'єкта (в залежності від місця розташування дифсистеми на абонентській мережі цього суб'єкту):		
- на міжміській АТС;	23,0 дБ	
- на транзитному комунаційному вузлі;	20,0 дБ	
- на районній АТС .	15,0 дБ	

Ймовірність виконання вказаних норм повинна бути не гірше 0,9. Тобто, у середньому, на кожні десять актів вимірювань припустимо мати лише один акт, коли результат вимірювань не відповідає нормі. Якщо мова йде про контроль відповідності параметрів транка (тобто, певної множини каналів одного напрямку), то інтерес являє ймовірність відповідності параметрів каналів, що входять до транку, певним нормам. Ця ймовірність повинна бути не гірше 0,9. Тобто, ця норма має виконуватися, у середньому, для кожних дев'яти каналів із десяти.

6.4.2. Методика вимірювань параметрів каналів ТМЗК

Для вимірювань параметрів каналів комутованої ТМЗК можуть бути застосовані прилади будь-якого типу, що придатні для вимірювань параметрів двопроводової аналогової лінії зв'язку. Якщо є можливість, то краще за все використати спеціальний автоматизований програмно-апаратний вимірювальний комплекс (ПАВК), котрий згідно із заданою програмою автоматично встановлює з'єднання, здійснює вимірювання нормованих параметрів у необхідній кількості каналів, виконує статистичну обробку отриманих результатів та обчислює ймовірність відповідності нормам вимірюваного транка каналів. Проте вимірювання можуть здійснюватися за допомогою й інших вимірювальних приладів. Важливо лише, щоб характеристики цих приладів відповідали рекомендаціям МСЕ-Т серії „О”. Зокрема, рекомендується застосовувати універсальні вимірювальні прилади, що розраховані на вимірювання параметрів двопроводових каналів комутованої телефонної мережі. Наприклад, прилади типу: *DLM-9*, *DLM-20* фірми *W.G.*, *K.3301* фірми *Siemens* або *ТДА-3* фірми

"Аналітик-ТС".

Процедура вимірювань передбачає, що з обох кінців вимірюваного каналу знаходяться спеціалісти-зв'язківці, котрі мають безпосередній телефонний зв'язок між собою. Набір номеру та перемови здійснюються за допомогою телефонних апаратів, потім канал переключається на один із вимірювальних приладів. Після вимірювань одного параметру ці спеціалісти домовляються щодо наступних вимірювань і т.д.

Вимірювання здійснюються, як це видно із табл.6.1, або між парами абонентів одного наскрізного (рос. – сквозного) телефонного каналу, або між парами АТС з підключенням до кінців з'єднувальної міжстанційної (тобто, не абонентської) лінії зв'язку. Після вимірювань параметрів у кожних п'ятнадцяти каналів досліджуваного транку має виконуватися статистична обробка отриманих результатів вимірювань з метою визначення ймовірності дотримання норм.

Вимірювання залишкового затухання здійснюється наступним чином. З одного кінця каналу підключається генератор синусоїдальних сигналів з вихідним опором 600 Ом , частотою 1020 Гц та рівнем передавання сигналів по потужності мінус 10 дБм (на АТС) або мінус 5 дБм (у абонента). Припускається використовувати для вимірювань також і частоту 1000 Гц , але за умов відсутності у вимірювальному тракті систем ІКМ. На іншому кінці вимірювального каналу має застосовуватися вимірювач рівнів потужності прийнятих сигналів із вхідним опором 600 Ом . Тривалість часу одного акту вимірювань – 10 с . На протязі цього часу реєструється усереднене значення рівня потужності прийнятого сигналу та обчислюється залишкове затухання сигналу в каналі.

Вимірювання АЧХ, як вже зазначалося (треба згадати, чим визначення АЧХ каналу відрізняється від визначення ІЧХ), здійснюється аналогічно вище вказаному.

Вимірювання відношення сигнал/завада щодо адитивних та мультиплікативних завад здійснюється наступним чином. З одного кінця вимірюваного каналу підключається генератор синусоїдальних сигналів з вихідним опором 600 Ом , частотою 1020 Гц та рівнем передавання сигналів по потужності мінус 10 дБм (на

АТС) або мінус 5 дБм (у абонента). Генератор повинен мати коефіцієнт нелінійності не більше 0,5% та рівень захищеності від продуктів паразитної модуляції по ланцюгам електроживлення не менше 60дБ. На виході каналу підключається вимірювач рівнів потужності прийнятих сигналів із входним опором 600 Ом, що має у своєму складі режекторний фільтр на частоті 1020 Гц та смуговий фільтр 300 – 3400 Гц. Вимірювання виконуються у смузі стандартного телефонного каналу на протязі 20 – 30 с. Спочатку вимірюється рівень корисного сигналу на частоті 1020 Гц без включення у ланцюг вимірювань режекторного фільтру. Потім включається режекторний фільтр та реєструється усереднене значення сумарних завад у смузі каналу. Шукане відношення сигнал/завада, що характеризує рівень завадозахищеності каналу, обчислюється за формулою

$$P_{c/ш} = P_c - P_{ш}, \quad (6.3)$$

де P_c – рівень потужності корисного сигналу на частоті 1020 Гц, що віднесений до точки приймання на виході вимірюваного каналу, дБм;

$P_{ш}$ - сумарний рівень потужності адитивних та мультиплікативних завад у смузі каналу, дБм.

Примітка. Існують вимірювальні прилади, що одразу фіксують вимірне значення відношення сигнал/завада.

Вимірювання тремтіння фази (джитера). Вимірювання джитеру, як правило, здійснюється за допомогою прилада, що відповідає вимогам рекомендації МСЕ-Т О.91, наступним чином. На вхід каналу підключається генератор синусоїдальних сигналів з вихідним опором 600 Ом, частотою 1020 Гц та рівнем передавання сигналів по потужності мінус 10 дБм (на АТС) або мінус 5 дБм (у абонента). На вихід каналу підключається прилад, що здатний вимірювати джитер у смузі 20-300 Гц. Реєструється розмах тремтіння фази у кутових градусах. Тривалість акту вимірювань – 20 с.

Вимірювання імпульсних завад здійснюється за допомогою прилада, що відповідає вимогам рекомендації МСЕ-Т О.71, наступним чином. На вхід каналу підключається генератор синусоїдальних сигналів з вихідним опором 600 Ом, частотою 1020

Гц та рівнем передавання сигналів по потужності мінус 10 дБм (на АТС) або мінус 5 дБм (у абонента). На вихід каналу підключається прилад із входним опором 600 Ом, що здатний фіксувати імпульсні завади, котрі накладаються на прийнятий синусоїдальний сигнал. Поріг фіксації завад встановлюється на рівні приймання синусоїдального сигналу. Встановлюється інтервал вимірювань – 1 хвилина. Реєструється кількість секунд, на протязі тривалості котрих прилад зафіксував імпульсні завади (при цьому не є важливим, скільки саме імпульсних завад було виявлено на протязі тієї чи іншої секунди). Результатом вимірювань є доля (у відсотках) секунд відносно усіх секунд інтервалу вимірювань, що були вражені імпульсними завадами.

Вимірювання короточасних переривань здійснюється за допомогою прилада, що відповідає вимогам рекомендації МСЕ-Т О.62, наступним чином. На вхід каналу підключається генератор синусоїдальних сигналів з вихідним опором 600 Ом, частотою 1020 Гц та рівнем передавання сигналів по потужності мінус 10 дБм (на АТС) або мінус 5 дБм (у абонента). На вихід каналу підключається прилад із входним опором 600 Ом, що здатний фіксувати рівні, що на 13 дБ нижче, ніж приймальний рівень синусоїдального сигналу. Тобто, поріг фіксації переривань встановлюється на 13 дБ нижче рівня приймання синусоїдального сигналу. Встановлюється інтервал вимірювань – 1 хвилина. Реєструється кількість секунд, на протязі тривалості котрих прилад зафіксував короточасні переривання сигналу (при цьому не є важливим, скільки саме переривань було виявлено на протязі тієї чи іншої секунди). Результатом вимірювань є доля (у відсотках) секунд відносно усіх секунд інтервалу вимірювань, що були вражені короточасними перериваннями сигналу.

Вимірювання луно-сигналів на ближньому кінці. На вхід каналу подаються зондуючі радіоімпульси тривалістю 4 мс з періодичністю від 100 до 3000 мс. Частота заповнення радіоімпульсів – 2000 Гц, а рівень потужності – мінус 5 дБм. До виходу вимірюваного каналу підключається узгоджувальний опір величиною 600 Ом. Зрозуміло, що від дальнього кінця каналу внаслідок неповної узгодженості навантаження на канал відбивається частина енергії корисного сигналу, що

розповсюджується у зворотному напрямі через канал і може бути зафіксована на ближньому кінці каналу у вигляді так званих луно-сигналів. Тому вимірювач луно-сигналів розташовують на ближньому кінці поряд з генератором зонduючих імпульсів. Цей вимірювач спочатку приймає зонduючий радіоімпульс, що використовується, перш за все, для розгортки луно-діаграми у координатах: по вісі абсцис – затримка луно-сигналів у мс; по вісі ординат – затухання луно-сигналів відносно зонduючого імпульсу. Період розгортки вимірювача встановлюється на рівні періоду генерації зонduючих імпульсів. На луно-діаграмі відображається серія луно-сигналів (якщо вони мали місце під час вимірювань), що дозволяє визначити як затримки луно-сигналів, так і їхні рівні відносно зонduючого імпульсу. Вимірювач зазвичай автоматично усереднює отримані значення параметрів луно-сигналів на протязі декількох періодів розгортки. Рекомендований інтервал усереднення – 20 – 25 с.

Вимірювання параметрів луно-сигналів у чотирьох провідній частині каналу (тобто, між АТС) виконується згідно рекомендації G 122 МСЕ-Т.

Вимірювання луно-сигналів на дальньому кінці. Вимірювання луно-сигналів на дальньому кінці каналу подібні вимірюванням на ближньому кінці. Одна відмінність: вимірювач луно-сигналів встановлюється на дальньому кінці. Оскільки луно-сигнали, що приходять на дальній кінець, багатократно відбиваються від двох дифсистем, то періодичність циклу вимірювань вибирається на рівні 9 с, а загальний інтервал усереднення – 30 с.

Загальна потужність луно-сигналів на дальньому кінці підраховується як сума потужностей окремих луно-сигналів. Луно-сигналами, потужність котрих на 10 дБ менше за потужність першого луно-сигналу, як правило, нехтують.

Контрольні питання до шостої лекції

1. Наведіть еквівалентну схему відрізка електричного кабелю.
2. Якими первинними параметрами визначається відрізок електричного кабелю?
3. Який вигляд мають частотні залежності первинних параметрів відрізка електричного кабелю?

4. Як визначити фізичну цілісність кабелю за допомогою звичайного тестера?

5. Чому на практиці вимірюють, головним чином, вторинні параметри кабелю?

6. Яким чином здійснюється вхідний контроль кабелю?

7. Надайте характеристику аналізаторам ланцюгів (*Network Analyzer*).

8. Яким чином здійснюється локалізація місця пошкодження кабелю?

9. Який принцип дії кабелепошукача?

10. Які експлуатаційні завдання доцільно вирішувати за допомогою кабелепошукача?

11. Який принцип дії та функціональні можливості металевого рефлектометра дальньої дії?

12. Які категорії робіт із оптоволоконним обладнанням розрізняють на практиці?

13. Яким чином здійснюється вимірювання оптичної потужності та затухання оптичного сигналу у кабелі?

14. Який принцип дії аналізатора втрат оптичної потужності (*Optical Loss Test Set, OLTS*)?

15. Яким чином оцінюється величина параметрів затухання в оптичній лінії?

16. Який принцип дії оптичного рефлектометра (*Optical Time Domain Reflectometer, OTDR*)?

17. Яким чином вимірюється перехідне затухання в оптоволоконних лініях?

18. Наведіть алгоритм пошуку пошкоджень в обладнанні ВОЛЗ.

19. Яким чином здійснюється стресове тестування апаратури ВОЛЗ?

20. Що таке власне та робоче затухання кабелю?

21. Як вимірюються параметри затухання сигналів в абонентській лінії?

22. Як вимірюються імпедансо-частотні характеристики абонентської лінії?

23. Які функціональні можливості аналізаторів абонентських ліній?

24. Як виміряти характеристики групового часу сповільнення

(ГЧС) абонентської лінії?

25. Як виміряти перехідне затухання на ближньому та на дальньому кінцях?

26. Як виміряти параметр *NEXT* за допомогою портативного рефлектометра металевих кабелів?

27. Як виміряти параметр захищеності лінії від перехідних завад?

28. Як визначити робочу смугу частот лінії через визначення параметру *ACR*?

29. Як виміряти параметр повернених втрат *SRL (Structural Return Loss)*?

30. Як виміряти швидкість розповсюдження сигналів?

31. Що таке тональне або імпульсне тестування параметрів абонентських ліній?

32. Як здійснюється трасування кабелю з використанням активної антени?

33. Як здійснюється пошук кінців кабелів у кросовому шкафу?

34. Які сфери застосування кабельних імітаторів?

35. Які параметри комутованих телефонних каналів нормуються?

36. У чому сутність методики вимірювань параметрів каналів ТМЗК?

Література до шостої лекції

1) И.Г. Бакланов. Технологии измерений в современных телекоммуникациях. –М.: ЭКО-ТРЕНДЗ, 1998. Розділи 4, 5 та 10.2.

2) И.Г. Бакланов. Методы измерений в системах связи. -М.: Эко-Трендз, 1999.

3) А.Б. Семёнов, С.Н. Стрижаков, И.Р. Сунчелей. Структурированные кабельные системы. –М.: ДМК Пресс, 2002. Розділ 2.

САМОСТІЙНЕ ЗАНЯТТЯ ЗА МАТЕРІАЛАМИ ЛЕКЦІЇ №6

6.5. Вимірювання параметрів обладнання цифрових систем передачі (ЦСП), що побудовані за технологіями *PDH/SDH*

Розглянемо особливості вимірювання параметрів бінарних цифрових потоків (зокрема, бінарного потоку типу *E1*), що циркулюють каналами систем передавання із часовим ущільненням стандартних цифрових каналів.

6.5.1. Загальні відомості щодо вимірювань параметрів ЦСП

На стадії експлуатації обладнання ЦСП вимірюються як власне параметри цифрових систем передавання (такі, наприклад, як параметри готовності та деградації цифрового каналу, параметри бітових та блокових помилок, параметри розсинхронізації тощо), так і характеристики циклової структури інформації, що передається первинними каналами (зокрема, здійснюється аналіз протоколів передавання блоків ЦСП).

У цифрових системах передачі, як відомо, застосовуються різноманітні типи модуляції та багаторівневого лінійного кодування сигналів, проте прикінцеве обладнання цих систем використовує бінарний цифровий канал (див. рис. 6.16).

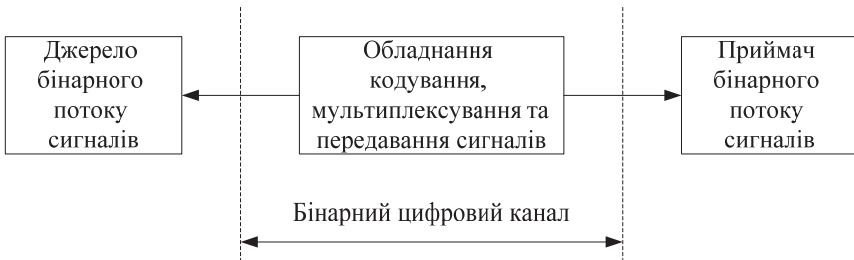


Рис.6.16. До визначення бінарного цифрового каналу

Основне призначення **бінарного цифрового каналу** – це передавання цифрової інформації у двійковій формі, тобто у вигляді потоку бітів. Тому визначальні параметри якості такого

каналу мають бути пов'язані із параметром помилки за бітами *BER* (*Bit Error Rate*) та його похідними. Параметр *BER* вважається одним із основних визначальних параметрів каналного рівню у будь-якій системі передавання цифрових даних. Дійсно, із теорії електрозв'язку звісно, що вичерпною (тобто, найбільш повною) характеристикою якості будь-якого бінарного цифрового каналу є функція розподілу ймовірності виникнення помилок у часі $p(t)$, що є характерною для цього каналу. Проте функція $p(t)$ – це теоретична абстракція, яку неможливо точно виміряти. Більш реально здійснити оцінку математичного очікування від цієї характеристики, тобто оцінку

$$M(p(t)) = \int_0^{+\infty} p(t)dt, \text{ яка асимптотично сходиться до}$$

$$M(p(\bar{t})) = \int_0^t p(t)dt. \quad (6.4)$$

Якщо задатися конкретним достатньо великим значенням часового інтервалу $[t_1, t_2]$, то стане можливим більш/менш точно визначити оцінку математичного чекання $M(p(t))$ і, отже, від теоретичних абстракцій перейти до конкретних вимірювань параметрів якості бінарного цифрового каналу. Параметр *BER*, вимірюваний на інтервалі $[t_1, t_2]$, представляє середню кількість помилок, що виникли в каналі на протязі цього інтервалу вимірювань. Отже, він і є оцінкою математичного чекання функції $p(t)$, тобто

$$BER = M(p(t)) = BITS_{err} / BITS_{\Sigma}, \quad (6.5)$$

де $BITS_{err}$ - кількість бітів, вражених помилками на інтервалі $[t_1, t_2]$;
 $BITS_{\Sigma}$ - загальна кількість переданих бітів на цьому інтервалі.

Таким чином, найбільш суттєвою характеристикою якості бінарного цифрового каналу, яку реально можливо визначити під час його експлуатації, є параметр *BER*. Методики вимірювань цього параметру широко застосовуються на практиці, а сам параметр, окрім вищенаведеної, має й інші назви, зокрема такі як коефіцієнт помилок за бітами, частота (частість) бітових помилок, швидкість бітових помилок або іншу англійську назву *RATE*.

Параметр BER – це відношення кількості виниклих бітових помилок до загальної кількості бітів, що були передані через досліджуваний цифровий канал на протязі наперед визначеного інтервалу часу i за умов, що цей канал був у стані готовності. Підкреслимо, що ті помилкові біти, що були виявлені у стані неготовності каналу, мають не враховуватися. Визначення прийнятної величини інтервалу часу вимірювань, а також умов, за яких цифровий канал можливо вважати, що він знаходиться у стані готовності, є відповідальним завданням, оскільки від цих визначень залежить точність i , навіть, сам сенс вимірювань.

Аналіз виразу (6.5) показує, що чим більший інтервал часу вимірювань, тим більше параметр BER наближається до істинного значення теоретичної величини математичного чекання функції $p(t)$. На результат оцінки середнього значення випадкової функції $p(t)$ також впливають особливості тонкої структури потоку бітів, що просувається через цифровий канал, зокрема тривалість та розмах пульсацій бітового трафіку. При різних значеннях параметрів, що характеризують внутрішню структуру бітових потоків в каналі, за інших рівних умов можуть бути отримані неоднакові значення параметру BER . Тому значну увагу слід приділити коректному вибору тестових бітових послідовностей, що мають використовуватися під час вимірювань. Ці послідовності повинні більш/менш точно відображати характер реальних бітових потоків, що притаманні для досліджуваного цифрового каналу.

6.5.2. Вимірювання із відключенням та без відключення бінарного каналу від корисного навантаження

Розрізняють два основних методологічних підходи до вимірювань бінарного каналу – з відключенням та без відключення цього каналу від корисного навантаження.

Вимірювання з відключенням каналу передбачають, що на період вимірювань реальний клієнтський трафік від каналу відключається, а на його вхід подається певним чином сформована тестова послідовність бінарних сигналів. Передбачається, що в процесі проходження цієї тестової послідовності через досліджуваний канал вона піддається певній деформації через вплив всілякого роду негативних факторів. На приймальному боці

за допомогою спеціалізованих інструментальних засобів ці деформації виявляються, а параметри деформацій, зокрема параметри виниклих помилок, вимірюються. Саме за цією методологією вимірюється параметр *BER*. Зрозуміло, що коректність вимірювань може бути досягнена лише за умов синхронізації між собою переданих та прийнятих тестових послідовностей.

Вимірювання без відключення каналу не передбачають необхідність відключення реального трафіку від вимірюваного каналу. У цьому випадку параметри деформацій бітового потоку визначаються шляхом аналізу реального трафіку, що просувається через вимірюваний канал, за допомогою спеціальних алгоритмів аналізу. Вимірювання без відключення каналу часто називають пасивним моніторингом каналу, що здійснюється певним інструментальним засобом, наприклад аналізатором цифрового каналу, котрий приєднується до виходу бінарного каналу паралельно із приймальним засобом цифрової системи передачі у режимі так званого високоомного підключення. За схемою без відключення корисного навантаження на канал виміряти параметр *BER* не є можливим, оскільки на приймальній стороні точно невідомо, яка саме бітова послідовність була спрямована на вхід вимірюваного каналу. Тому у цьому випадку замість параметру помилки за бітами доцільно узяти параметр помилки за так званим кодом *CRC*, тобто узяти параметр *CRC ERR*, що може бути вимірний без відключення каналу та без передавання тестової послідовності бітів. Визначення цього параметру надано далі.

Якщо порівнювати між собою дві вищезазначені методології вимірювань (з відключенням або без відключення каналу), то на стадії експлуатації обладнання з економічної точки зору бажано його не відключувати від корисного навантаження, тобто здійснювати вимірювання без відключення бінарного цифрового каналу. Однак у цьому випадку не існує можливостей безпосереднього порівняння на приймальній стороні переданої послідовності бітів із прийнятою, тому що для реальних умов передавання інформації не існує способів точного визначення на приймальній стороні того, що саме було передано. За цих умов доводиться використовувати опосередковані способи вимірювань

якості бінарного каналу, зокрема параметрів помилок, яким, на жаль, притаманне широке поле невизначеності щодо гарантованості отриманих оцінок точності вимірювань. Інша справа із вимірюваннями, коли існує можливість відключити корисний трафік від робочого бінарного каналу. У цьому випадку можливе безпосереднє порівняння на приймальній стороні переданої тестової послідовності із прийнятою послідовністю, що дозволяє гарантовано визначити параметр *BER* з точністю до однієї бітової помилки.

6.5.3. Основні параметри бінарного цифрового каналу

Усю множину параметрів бінарного цифрового каналу умовно розподіляють на дев'ять груп, визначення котрих надано нижче:

1) чотири параметри готовності/неготовності каналу – *AS*, *AS(%)*, *UAS*, *UAS(%)*;

2) два параметри кількості бітових помилок - *BIT ERR* (або скорочено *BIT*), *BER* (або інша назва цього параметру *RATE*);

3) вісім параметрів тривалості бітових помилок – *ES*, *EFS*, *ES(%)*, *EFS(%)*, *ESR*, *SES*, *SES(%)*, *SESR*;

4) чотири параметри кількості блокових помилок – *EB*, *BLER*, *BBE*, *BBER*;

5) два параметри помилок *CRC* - *CRC ERR*, *CRC RATE*;

6) два параметри розсинхронізації - *CLKSLIP* (або скорочено *SLIP*), *CLKSLIPS* (або скорочено *SLIPS*);

7) два параметри деградації якості робочого каналу – *DGRM*, *DGRM(%)*;

8) один параметр пов'язаності каналу - *LOSS*;

9) два параметри якості передавання тестової послідовності – *PATL*, *PATLS*.

Усі параметри визначаються згідно з рекомендаціями MCE-T (*ITU-T*) *G.821*, *G.826*, *M.2100* та *M.2101*.

В експлуатаційній практиці прийнята англійська аббревіатура назв цих параметрів.

Усі вищеназвані параметри бінарного каналу широко застосовуються на практиці. Тому детально пояснемо сенс кожного з них.

6.5.4. Параметри готовності/неготовності каналу

1) **AS (availability seconds)** – секунди готовності каналу [с]. Це проміжок часу, впродовж котрого спостерігаються зовнішні ознаки нормального функціонування цього каналу, зокрема коли існує кон'юнкція наступних трьох подій: по-перше, на приймальній стороні фіксується наявність несучої сигналу; по-друге, спостерігається нормальна робота системи циклової синхронізації; по-третє, кількість суміжних секунд, вражених помилками (тобто, послідовно розташованих у часі секунд, на протязі кожної із котрих виявлялись помилки), не перевищує наперед визначеного порогового значення. Наприклад, згідно із рекомендацією G.821 канал переходить у стан неготовності, якщо виявлено десять і більше суміжних секунд, на протязі котрих спостерігались помилки у прийманні бітів. Зрозуміло, якщо із загального часу сеансу зв'язку (зокрема, із загального часу проходження тестової послідовності) відняти проміжки часу неготовності каналу, то отримаємо значення параметру AS.

2) **AS(%) (availability seconds, percents)** – відсоток часу готовності каналу [%]. Це – кількість секунд готовності каналу, що виміряна відносно тривалості сеансу зв'язку (або тривалості проходження всієї тестової послідовності). Цей параметр у значній мірі характеризує рівень якості цифрового бінарного каналу, оскільки надає уявлення про тривалість проміжку часу, коли канал здатний нормально функціонувати, у порівнянні із загальною тривалістю сеансу зв'язку.

3) **UAS (unavailability seconds)** – секунди неготовності каналу [с]. Це - проміжок часу, впродовж котрого спостерігаються зовнішні ознаки ненормального функціонування цього каналу, зокрема спостерігається хоча б одна із наступних трьох подій: або на приймальній стороні фіксується втрата несучої сигналу; або спостерігається порушення нормальної роботи системи циклової синхронізації; або кількість суміжних секунд, вражених помилками (тобто, послідовно розташованих у часі секунд, на протязі кожної із котрих виявлялись помилки), перевищує наперед визначене порогове значення. Наприклад, згідно із рекомендацією G.821 канал переходить у стан неготовності, якщо виявлено десять і більше суміжних секунд, на протязі котрих спостерігались

помилки у прийманні бітів, або з моменту втрати несучої, або з моменти втрати синхронізації. Зрозуміло, якщо із загального часу сеансу зв'язку (зокрема, із загального часу проходження тестової послідовності) відняти проміжки часу неготовності каналу UAS , то отримаємо значення параметру AS , тобто має місце наступне співвідношення:

$$T_{сеанс} = AS + UAS, \quad (6.6)$$

де $T_{сеанс}$ – тривалість сеансу зв'язку (сеансу вимірювань).

4) **$UAS(\%)$ (*unavailability seconds, percents*) - відсоток часу неготовності каналу [%]**. Це – кількість секунд неготовності каналу, що виміряна відносно тривалості сеансу зв'язку (або тривалості проходження всієї тестової послідовності). Цей параметр, як і параметр $AS(\%)$, характеризує рівень якості цифрового бінарного каналу. Справедливе наступне співвідношення:

$$AS(\%) + UAS(\%) = 100\%.. \quad (6.7)$$

6.5.5. Параметри кількості бітових помилок

1) **$BIT\ ERR$ (*bit errors*)** або скорочено **BIT** – **кількість бітових помилок [безрозмірна величина]**. Це – кількість помилково прийнятих бітів, що були виявлені на протязі сеансу зв'язку (на протязі проходження тестової послідовності). Бітові помилки підраховуються тільки під час перебування цифрового каналу у стані готовності AS . BIT – це чисельник у виразі, що визначає величину параметра BER .

2) **BER (*bit error rate*)** або скорочено **$RATE$** – **коефіцієнт бітових помилок (частота бітових помилок, параметр помилок за бітами) [безрозмірна величина]**. Це – основний параметр якості цифрового бітового каналу. Визначається як відношення кількості бітових помилок до загальної кількості бітів, що були передані через канал на протязі одного сеансу зв'язку (або на протязі проходження однієї тестової послідовності). При цьому канал має бути у стані готовності. При виявленні десяти послідовних секунд з помилками, підрахунок параметра BIT припиняється, а аналізатор

переключається на підрахунок параметру *UAS* (тобто, на підрахунок проміжку часу неготовності каналу). Як тільки працездатність каналу буде відновлена (тобто, як тільки канал знову повернеться до стану готовності) підрахунок кількості помилково прийнятих бітів буде продовжений. І так – до кінця сеансу зв'язку.

6.5.6. Параметри тривалості бітових помилок

1) ***ES (errors seconds)*** – секунди з помилками [*c*]. Це - проміжок часу (вимірний у секундах), впродовж котрого спостерігаються помилки усіх видів у каналі, котрий знаходиться у стані готовності. Тобто, *ES* – це кількість секунд з помилками, що виявлені серед усіх секунд готовності каналу *AS*. Секунди з помилками, що виявлені у стані неготовності каналу *UAS*, не враховуються.

2) ***EFS (error free seconds)*** – секунди роботи каналу без помилок [*c*]. Це - проміжок часу (вимірний у секундах), впродовж котрого спостерігалась безпомилкова робота каналу, котрий знаходився у стані готовності. Тобто, *EFS* – це загальна кількість секунд перебування каналу у стані безпомилкової роботи. Секунди без помилок, що виявлені у стані неготовності каналу *UAS*, не враховуються. Справедливе наступне співвідношення:

$$AS = ES + EFS. \quad (6.8)$$

3) ***ES(%) (errors seconds, percents)*** – відсоток секунд з помилками [*c*]. Це – кількість секунд з помилками *ES*, що виміряна відносно тривалості сеансу зв'язку (або тривалості проходження всієї тестової послідовності). Секунди неготовності каналу не враховуються.

4) ***EFS(%) (error free seconds, percents)*** – відсоток секунд роботи каналу без помилок [*c*]. Це - загальна кількість секунд перебування каналу у стані безпомилкової роботи, що виміряна відносно тривалості сеансу зв'язку (або тривалості проходження всієї тестової послідовності). Секунди неготовності каналу не враховуються. Справедливе наступне співвідношення:

$$AS[\%] = ES[\%] + EFS[\%]. \quad (6.9)$$

5) ***ESR (errors seconds rate)*** – коефіцієнт помилок щодо секунд з помилками [безрозмірна величина]. Це – відносна кількість секунд з помилками *ES* щодо загальної кількості секунд у *AS*. Тобто, параметр *ESR* є ідентичним параметру *ES[%]*, але вимірний не у відсотках.

6) ***SES (severally errors seconds)*** - секунди з багатократними помилками [с]. Це - це кількість секунд з багатократними помилками, що виявлені серед усіх секунд готовності каналу *AS*. Тобто, *SES* – це проміжок часу, вимірний у секундах, впродовж тривалості кожної із цих секунд спостерігалась не одна, а кілька помилок. Секунди з багатократними помилками, що виявлені у стані неготовності каналу *UAS*, не враховуються.

Згідно рекомендації *G.821* параметр *SES* вимірюється за умови, що *BER* > 10^{-3} .

Існує й інша інтерпретація правила підрахунку кількості секунд, що уражені багатократними помилками, а саме, враховуються тільки ті секунди, на протязі тривалості котрих було виявлено більше 30% блоків із помилками.

7) ***SES(%) (severally errors seconds, percents)*** – відсоток секунд з багатократними помилками [с]. Це – кількість секунд з багатократними помилками *SES*, що виміряна відносно тривалості сеансу зв'язку (або тривалості проходження всієї тестової послідовності). Секунди неготовності каналу не враховуються.

8) ***SESR (severally errors seconds rate)*** - коефіцієнт помилок щодо секунд з багатократними помилками [безрозмірна величина]. Це – відносна кількість секунд з багатократними помилками *SES* щодо загальної кількості секунд у *AS*. Тобто, параметр *SESR* є ідентичним параметру *SES[%]*, але вимірний не у відсотках.

6.5.7. Параметри кількості блокових помилок

1) ***EB (error block)*** – кількість помилкових блоків [безрозмірна величина]. Це – кількість помилково прийнятих блоків з бітовими послідовностями, що були виявлені на протязі сеансу зв'язку (або на протязі проходження тестової послідовності)

блоків, якщо вимірювання проводилися у режимі тестування із відключенням каналу від корисного навантаження). Помилковим вважається блок, що містить у собі хоча б один помилковий біт. Помилкові блоки підраховуються тільки під час перебування цифрового каналу у стані готовності *AS*. *EB* – це чисельник у виразі, що визначає величину *BLER*.

2) ***BLER (block error rate)*** – коефіцієнт блокових помилок (частота або частість блокових помилок) [безрозмірна величина]. Це – відношення кількості помилково прийнятих блоків до загальної кількості блоків, що були транспортовані через канал на протязі одного сеансу зв'язку. Цей параметр доцільно вимірювати у мережах передачі даних за умов, коли передаються блоки фіксованої довжини.

3) ***BBE (background block error)*** – блок із фоновою помилкою. Це – блок з помилками, але такий, що не може бути віднесений до секунд із багатократними помилками (до *SES*). Тобто, такий блок був виявлений, коли значення параметру *BER* було менше, ніж 10^{-3} , або був виявлений на односекундних інтервалах, що містять менше 30% блоків із помилками.

4) ***BBER (background block error rate)*** – коефіцієнт фонових блокових помилок [безрозмірна величина]. Це – відношення кількості прийнятих блоків із фоновими помилками до загальної кількості блоків, що були транспортовані через канал на протязі одного сеансу зв'язку. При цьому канал має бути у стані готовності, а блоки із багатократними помилками, що включені до проміжків часу *SES*, не враховуються.

6.5.8. Параметри помилок CRC

1) ***CRC ERR (cyclic redundancy code error)*** – кількість помилок *CRC*. Це – кількість помилок, що були виявлені на протязі одного сеансу зв'язку у реально працюючому каналі без його відключення завдяки використанню циклового надлишкового коду (*CRC*). Необхідна умова вимірювань параметру *CRC ERR* – наявність механізму формування коду *CRC* на передавальній стороні та механізму аналізу коду *CRC* на приймальній стороні.

Слід підкреслити, що параметр *CRC ERR* дає менш точне уявлення, ніж параметр *BER*, про рівень помилок у цифровому

бінарному каналі. Будь-яка виявлена помилка *CRC* не обов'язково пов'язана із однією бітовою помилкою, оскільки при передаванні одного блоку можуть виникнути декілька бітових помилок, однак *CRC*-механізм у цьому випадку зафіксує лише одну помилку *CRC*. Окрім цього, кілька бітових помилок можуть компенсувати одна одну і не увійти у сумарну оцінку *CRC ERR*. Усе це негативно впливає на точність оцінки рівня помилок в каналі. Проте застосування механізму *CRC* надає можливість контролювати рівень помилок в каналі без його відключення від корисного навантаження.

2) ***CRC RATE (CRC errors rate)*** – частота помилок *CRC* в каналі [безрозмірна величина]. Це – відношення кількості помилок *CRC* до загальної кількості бітів, що були транспортовані через канал на протязі одного сеансу зв'язку. Тобто, параметр *CRC RATE* характеризує середню частоту помилок *CRC* в каналі.

6.5.9. Параметри розсинхронізації

1) ***CLKSLIP (clock slips)*** або скорочено ***SLIP*** – кількість тактових прослизань (рос. – проскальзываний) [безрозмірна величина]. Параметр, що характеризує кількість синхронних керованих прослизань, що виявились з моменту початку тестування. Прослизання – це небажаний повтор або втрата групи суміжних бітів у синхронній або плезіохронній бітовій послідовності внаслідок виникнення неспівпадіння між швидкостями читання та запису у буферній пам'яті. Прослизання є однією із основних причин втрати циклової синхронізації. На практиці в обладнанні *SDH/PDH* знайшли застосування так звані еластичні керовані буфери, які здатні керувати прослизаннями. У цьому випадку мова йде про керовані прослизання. Інтерес до вимірювань параметру *SLIP* пов'язаний, перш за все, із спробами виявити причини переходу каналу у стан неготовності (якщо таке мало місце). Якщо, наприклад, спостерігається одночасне підвищення значень параметрів *SLIP* та *UAS*, то з великою ймовірністю можливо стверджувати, що причиною переходу каналу у стан неготовності є підвищений рівень кількості тактових прослизань.

2) ***CLKSLIPS (clock slips seconds)*** або скорочено ***SLIPS*** –

тривалість тактових прослизань[s]. Це – сумарний час у секундах спостереження синхронних керованих тактових прослизань, що мали місце на протязі усього періоду тестування.

6.5.10. Параметри деградації якості робочого каналу

1) ***DGRM (degraded minutes)*** – **кількість хвилин деградації якості [xв].** Це - кількість однохвилинних інтервалів на протязі одного сеансу тестування, що були уражені кількома помилками кожний, однак при цьому канал був у стані готовності, а середня кількість бітових помилок (тобто, значення параметра *BER*) не перевищувала 10^{-6} . Іншими словами, йдеться про ситуацію, коли канал загалом знаходиться у працездатному стані (з невисоким рівнем бітових помилок, оскільки значення параметру *BER* є не гірше за 10^{-6}), однак іноді виникають більш/менш тривалі періоди виникнення помилок, що не порушують стан готовності каналу, але призводять до тимчасової деградації якості каналу. Сумарну тривалість часових проміжків такої деградації визначає параметр *DGRM*.

2) ***DGRM(%) (degraded minutes, percents)*** - **відсоток хвилин деградації якості [%].** Це – кількість хвилин деградації якості, що представлена у відсотках відносно загальної кількості хвилин, що зайняв процес тестування.

6.5.11. Параметри пов'язаності каналу

1) ***LOSS (loss of signal seconds)*** – **тривалість втрати сигналу [с].** Цей параметр характеризує тривалість часу, на протязі котрого сигнал було втрачено. Якщо сигнал на приймальній стороні не виявляється, вважається, що у цьому разі порушується пов'язаність (рос. – *связность*) робочого каналу. Слід зауважити, що пов'язаність може втрачатися на різних рівнях взаємодії інформаційних систем. Якщо втрачається несуча сигналу або втрачаються бінарні сигнали, що утворюють бітовий потік у ЦСП, то мова йде про порушення пов'язаності каналу на фізичному рівні. Якщо ж не приходять повідомлення із підтвердженням факту приймання переданого блоку (або блоків) даних, то порушується пов'язаність каналу на більш вищих рівнях згідно із семирівневою моделлю взаємодії відкритих систем.

6.5.12. Параметри якості передавання тестової послідовності

1) **PATL (pattern loss)** – кількість втрат тестової послідовності. Визначається на протязі одного сеансу тестування.

2) **PATLS (pattern loss seconds)** – тривалість часу втрат тестової послідовності [с]. Цей параметр характеризує сумарну тривалість проміжків часу, на протязі котрих було втрачено тестову послідовність.

6.5.13. Тестові послідовності для вимірювань параметрів бінарних цифрових каналів

Для визначення параметрів бінарного цифрового каналу за схемами, що передбачають можливість відключення від цього каналу корисного навантаження, широке застосування отримали різного роду тестові послідовності сигналів, представлених у двійковій формі. У цих випадках використовується кореспондована (тобто, пов'язана між собою) пара – генератор та аналізатор тестових послідовностей. Між генератором та аналізатором має існувати синхронізація щодо тестових послідовностей, інакше порівняння цих послідовностей на приймальній стороні буде неможливим.

Для різних експлуатаційних та інсталяційних задач потрібні різні види тестових послідовностей. Наприклад, якщо вирішується завдання із первісної інсталяції системи синхронізації, то доцільно використати фіксовану періодичну послідовність типу 1010.....10, оскільки із цієї послідовності на приймальній стороні достатньо просто виділити сигнали тактової синхронізації. Якщо ж необхідно визначити проміжок часу, на якому система синхронізації спроможна підтримувати синхронізм без її підстройки коригувальними сигналами, то використовують фіксовану бітову послідовність, що складається цілком тільки із нулів або тільки із одиниць. За таких тестових послідовностей на приймальній стороні коригувальні сигнали формуватися взагалі не будуть. Якщо мова йде про моделювання реального трафіка, то використовуються псевдовипадкові бінарні послідовності (ПВП, *PRBS – pseudorandom sequence*). Істинні (або майже істинні) випадкові послідовності на практиці майже не використовуються, оскільки їхнє формування являє складну технічну задачу.

6.5.14. Фіксовані тестові послідовності

Розглянемо наступні фіксовані тестові послідовності:

1) послідовність типу **1111 ... 1111** (тільки одиниці) – використовується, головним чином, для так званого стресового тестування, коли моделюються нештатні ситуації роботи каналу. Наприклад, у неструктурованому потоці типу *EI* ця послідовність сприймається як сигнал несправності (*AIS*);

2) послідовність типу **0000 ... 0000** (тільки нулі) – також використовується, головним чином, для стресового тестування. У багатьох випадках послідовне передавання нулів означає відсутність сигналу у каналі;

3) альтеративна послідовність типу **1010 ... 1010** – використовується для налагодження обладнання каналу, зокрема пристроїв синхронізації;

4) послідовності типу „одна одиниця на три біти”, „одна одиниця на чотири біти”, «одна одиниця на вісім бітів», „три одиниці на двадцять чотири біти” – це промислові стандарти, що використовуються для дослідження проблем працездатності каналного обладнання за різних умов його функціонування;

5) послідовність типу **FOX** ідентифікує речення „*Quick brown fox*”. Якщо це речення закодувати у двійковому коді *ASCII*, то отримаємо майже унікальну бітову послідовність, яку зручно використати для виявлення факту синхронізації обладнання. Якщо кожен бітову тетраду цієї послідовності закодувати 16-ти річним кодом, то отримаємо наступну послідовність:

2A, 12, A2, 04, 8A, AA, 92, C2, D2, 04, 42, 4A, F2, EA, 72, 04, 62, F2, 1A, 04, 52, AA, B2, 0A, CA, 04, F2, 6A, A2, 4A, 04, 2A, 12, A2, 04, 32, 82, 5A, 9A, 04, 22, F2, E2, 04, 8C, 4C, CC, 2C, AC, 6C, EC, 1C, 9C, 0C, B0, 50.

Можуть застосовуватися й інші нестандартизовані фіксовані послідовності в залежності від специфіки завдань, що вирішує експлуатаційний персонал.

Фіксовані тестові послідовності можуть передаватися із вказівкою на початок циклу, що задається спеціальним бітом (котрий, зазвичай, називають бітом *f*) або спеціальною послідовністю бітів.

6.5.15. Псевдовипадкові тестові послідовності

Псевдовипадкові послідовності (ПВП) також широко використовують на практиці для вимірювань параметрів каналного рівня. Слід підкреслити, що існує широкий спектр застосувань, де використовують генератори ПВП, що побудовані за різними принципами, функціонують у різних цілях і, тому, мають різні функціональні характеристики. Наприклад, генератор ПВП, що використовується для вирішення криптографічних задач, оцінюється за зовсім іншими критеріями, ніж генератор ПВП, що входить до складу вимірювального обладнання у телекомунікаціях, де фактор випадковості при формуванні бітових послідовностей не є вирішальним. Для вирішення телекомунікаційних завдань у більшості випадків застосовують стандартизовані типи ПВП, що генеруються на передавальній стороні та аналізуються на приймальній стороні за допомогою відносно простих та недорогих інструментальних засобів, побудованих на основі регістрів зсуву. До основних характеристик ПВП, що генеруються цими інструментальними засобами, слід віднести довжину ПВП у бітах (нагадаємо, що N -регістровий зсувний регістр виробляє ПВП довжиною L , де L визначається як $2^N - 1$) та вигляд поліному, що реалізується інструментальним засобом (наприклад, $D^{15} + D^{14} + 1 = 0$). Вибір конкретних значень цих характеристик здійснюється виходячи із міркувань, що наведені нижче.

У сучасній практиці для тестування обладнання цифрових каналів знайшли застосування наступні види стандартизованих МСЕ-Т псевдовипадкових послідовностей:

ПВП виду „63”. Формується 6-фазним регістром зсуву. Використовується для аналізу параметрів низькошвидкісних каналів передачі даних;

ПВП виду „127”. Формується 7-фазним регістром зсуву. Використовується також для аналізу параметрів низькошвидкісних каналів передачі даних;

ПВП виду „511”. Формується 9-фазним регістром зсуву. Використовується для аналізу параметрів вторинних мереж передачі даних, зокрема тих, що побудовані згідно стандарту *ITU-T V.52*;

ПВП виду „2047”. Формується 11-фазним регістром зсуву.

Використовується для аналізу параметрів вторинних мереж передачі даних, а також обладнання *ISDN*;

ПВП виду „2e15”. Формується 15-фазним регістром зсуву. Ця ПВП може містити до 14 нулів підряд, що дає можливість дослідити якість роботи системи синхронізації. Використовується для аналізу параметрів систем *PDH*, що працюють на невеликих швидкостях передавання даних;

ПВП виду „2e20”. Формується 20-фазним регістром зсуву. Використовуються при вимірюваннях за стандартом *ITU-T O.151*. Ця ПВП може містити до 14 нулів підряд.

ПВП виду „20ITU”. Також формується 20-фазним регістром зсуву. Ця ПВП відрізняється від ПВП „2e20” та може містити до 18 нулів підряд.

ПВП виду „2e23”. Формується 23-фазним регістром зсуву. Використовуються при вимірюваннях за стандартом *ITU-T O.151*. Ця ПВП знайшла широке застосування для аналізу параметрів систем *SDH*, що працюють на великих швидкостях передавання даних.

6.5.16. Типова схема вимірювань параметру BER

Типова схема вимірювань параметру *BER* (та похідних параметрів від нього) за умов відключення від цифрового бінарного каналу (ЦБК) корисного навантаження та підключення до нього (замість навантаження) генератора та аналізатора ПВП показана на рис. 6.17.

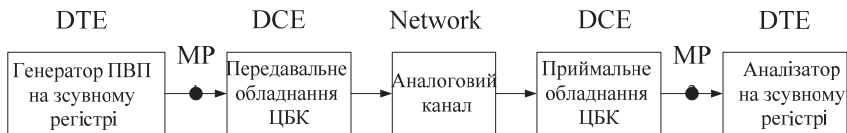


Рис.6.17. Типова схема вимірювань параметру BER, де MP_1 та MP_2 - точки вимірювань

Основна умова здійснення вимірювань за цією схемою полягає у необхідності досягнення синхронізму між переданими та прийнятими ПВП. Проте якщо аналізатор ПВП побудовано на

зсувних регістрах із замкненим ланцюгом зворотного зв'язку, то визначення факту втрати синхронізму не є проблемою: в момент втрати синхронізму на виході аналізатору з'являється інтенсивний потік бітових помилок, котрий за інтенсивністю приблизно лише у два рази менший за інтенсивність потоку сигналів тактової синхронізації, що відносно легко виявити на практиці. У момент відновлення синхронізму цей інтенсивний потік помилок зникає, а на виході аналізатора реєструються лише ті бітові помилки, що обумовлені недосконалістю цифрового каналу, тобто помилки, які враховуються під час вимірювань параметру *BER*. От же, процес вимірювань за схемою, що базується на використанні аналізатору ПВП на зсувних регістрах із зворотним зв'язком, нескладно і зручно здійснювати та контролювати. Тому саме ця схема рекомендована МСЕ-Т (див. рекомендації *ITU-T O.151* та *ITU-T O.153*) та широко застосовується в експлуатаційній практиці.

Специфіка вимірювань за цією схемою полягає у необхідності узгодженого вибору довжини L тестової ПВП в залежності від номіальної швидкості передавання даних, на яку розраховано обладнання досліджуваного каналу. При невдалому виборі L може виникнути так званий джитер (тремтіння) регістрів зсуву, що входять до складу вимірювального засобу. Це, у свою чергу, призведе до суттєвого спотворення результату вимірювань. Слід відрізнити джитер регістрів зсуву від джитеру та вандеру параметрів цифрового сигналу в каналі (зокрема від джитеру та вандеру частоти або фази сигналу в каналі). Джитер сигналу в каналі є характеристикою якості каналу, оскільки величина цього джитеру впливає на якість передавання даних через канал. У той час як джитер регістрів зсуву не має відношення до каналу, а є наслідком некоректного вибору довжини тестової ПВП.

Для запобігання виникненню джитеру регістрів зсуву слід дотримуватися рекомендованих у *ITU-T O.151* довжин ПВП, що наведені у табл. 6.2. Як бачимо із табл.6.2, для вимірювань параметрів високошвидкісного обладнання (із номіальною швидкістю функціонування 34 Мбіт/с і вище) слід вибирати вимірювальний засіб, що здатний генерувати більш довгі ПВП. Тоді спектр сигналу ПВП уміститься у відносно вузьку смугу пропускання приймальної частини системи синхронізації ЦСП.

Таблиця 6.2

Рекомендації ITU-T O.151 щодо вибору довжини ПВП

Номінальна швидкість передачі, <i>кбіт/с</i>	Довжина ПВП, <i>біт</i>	Поліном, що реалізується вимірювальним засобом	Спектральна відстань між субгармоніками сигналу ПВП Δf , Гц
64	$2^{15} - 1$	$D^{15} + D^{14} + 1 = 0$	1,95
2048	$2^{15} - 1$	$D^{15} + D^{14} + 1 = 0$	62,5
8448	$2^{15} - 1$	$D^{15} + D^{14} + 1 = 0$	257,8
34368	$2^{23} - 1$	$D^{23} + D^{18} + 1 = 0$	4,1
139264	$2^{23} - 1$	$D^{23} + D^{18} + 1 = 0$	16,6

А ширина спектру сигналу ПВП, у свою чергу, залежить від спектральної відстані Δf між субгармоніками цього сигналу. Із збільшенням швидкості передавання бітового потоку спектральна відстань Δf збільшується і, отже, може виникнути ситуація, коли спектр сигналу ПВП не уміститься у смугу пропускання системи синхронізації, що призведе до виникнення джитеру реєстрів зсуву. Щоб запобігти цієї ситуації, у вимірювальному обладнанні слід використати поліном більш високого ступеню. Тоді довжина тестової ПВП збільшиться, а спектральна відстань між субгармоніками спектру сигналу ПВП зменшиться.

6.5.17. Способи розрахунку параметру BER за результатами вимірювань кількості бітових помилок у цифровому бінарному каналі

Існує два основних способи розрахунку параметру **BER**. Вибір одного із них залежить від того, що є більш важливим під час вирішення конкретного завдання – тривалість процесу вимірювань чи точність отриманого результату вимірювань.

Якщо є важливішою точність вимірювання, то безпосередньо перед початком вимірювань задаються бажаним значенням точності результату вимірювань. Наприклад, задамося значенням відносної похибки вимірювань η на рівні 1%. За умов нормального розподілу виникнення бітових помилок буде дійсним вираз: $\eta = 1/\sqrt{N}$, де N – кількість підрахованих бітових помилок. Якщо ми хочемо виміряти параметр **BER** з відносною похибкою, не більшою

за 1%, ми маємо вести в процесі вимірювань підрахунок бітових помилок до тих пір, поки не буде виявлено 10^4 помилок, оскільки $1/\sqrt{10^4} = 10^{-2}$, тобто 1%. Якщо ж нас задовольнить похибка у 10%, то маємо вести підрахунок бітових помилок набагато менш тривалий час, а саме до тих пір, поки не буде виявлено 10^2 помилок, оскільки $1/\sqrt{10^2} = 10^{-1}$, тобто 10%. Із вищенаведеного витікає основний недолік розглянутого способу вимірювання параметру *BER* – апріорна невизначеність часу вимірювань. Якщо помилки трапляються дуже рідко, то тривалість вимірювань із заданою точністю буде дуже великою. Тобто, необхідно буде здійснювати довготривале тестування, що, як правило, не є реальним на стадії експлуатації каналу.

Згідно іншого способу розрахунку параметру *BER* перед початком вимірювань задаються не точністю, а тривалістю одного сеансу вимірювань. Як варіант, можливо задатися не тривалістю вимірювань, а загальною кількістю бітів, котрі мають бути передані через канал на протязі одного сеансу вимірювань. Наприклад, обумовлюється, що за один сеанс вимірювань має бути передано 10^6 бітів. У кінці сеансу вимірювань фіксується кількість виниклих бітових помилок та розраховується параметр *BER*. Проте похибка вимірювань за цим способом, на жаль, не є відомою. Можлива, наприклад, ситуація, коли під час передавання 10^6 бітів бітові помилки не виявились взагалі. От же, основним недоліком другого способу розрахунку параметру *BER* є невизначеність похибки вимірювань за умов, коли на протязі сеансу вимірювань була виявлена недостатня кількість помилок. На практиці зазвичай припускають, що точність вимірювань за другим способом приблизно у десять разів гірша, ніж зворотна кількість переданих через канал бітів, тобто якщо передано 10^6 бітів, то точність вимірювань складає приблизно 10^{-5} . Проте повної довіри (із статистичної точки зору) до достовірності отриманого результату вимірювань немає. Якщо ж, виходячи із реальних умов функціонування бінарного каналу, можливо припустити, що процес утворення помилок в каналі є випадковим із нормальним законом розподілу, то існує можливість зробити оцінку вимірюваного значення параметру *BER* із бажаним ступенем статистичної достовірності такого вимірювання. Для цього слід скористатися

даними, що внесені до табл. 6.3.

Наприклад, вимірювання параметру *BER* виконувались на каналі *E1* (тобто, на швидкості бітового потоку, що дорівнював 2,048Мбіт/с) на протязі 120 с. У результаті вимірювань було зафіксовано 200 бітових помилок. Тоді первісна (попередня) оцінка цього параметра буде визначена як

$$200/(2048000 \times 120) = 0,815 \times 10^{-6}.$$

Таблиця 6.3

Оцінка достовірності результатів вимірювань параметру *BER*

Кількість підрахованих бітових помилок за увесь період тестових вимірювань	Поправочний коефіцієнт на виміряне значення параметру <i>BER</i> для наведених нижче значень (у відсотках) коефіцієнту статистичної достовірності результату вимірювань:		
	70%	90%	95%
	1,8	2,6	3,2
2	1,4	1,85	2,1
5	1,25	1,55	1,7
10	1,16	1,35	1,45
20	1,09	1,2	1,26
50	1,06	1,15	1,18
100	-	1,1	1,12
200	-	1,06	1,08
500			

Однак ми бажаємо уточнити цю оцінку і отримати результат оцінки із статистичною достовірністю 95%. Тоді із табл.6.3 із рядка, що починається значенням кількості помилок „200”, та із стовпця „95%” беремо поправочний коефіцієнт „1,12” та множимо його на виміряну первісну оцінку параметру *BER*, що дорівнює $0,815 \times 10^{-6}$. Таким чином, отримаємо уточнену оцінку параметру $BER = 0,915 \times 10^{-6}$ з достовірністю 95%.

*6.5.18. Способи розрахунку параметру *ES* за результатами вимірювань кількості секунд з помилками*

Параметр *ES*, як вже було вказано, дозволяє оцінити долю часу від загального часу знаходження каналу у стані готовності, коли канал був вражений бітовими помилками. Характеристики каналу, коли він знаходився у стані неготовності, при цьому не враховуються. Знаючи долю часу від загального часу

функціонування каналу, коли канал перебував у стані готовності (параметр AS), та знаючи оцінку параметру ES , оператор електрозв'язку може оцінити реальний рівень якості каналу, зокрема визначити час роботи каналу без помилок (оцінити значення параметру EFS) за формулою $EFS = AS - ES$, що є важливим при плануванні навантаження на канал.

Існує два способи розрахунку параметру ES – синхронний та асинхронний - в залежності від того, яким чином визначені поняття „односекундний інтервал, вражений помилками” та „односекундний інтервал без помилок”.

МСЕ-Т визначило поняття „односекундний інтервал без помилок” як односекундний інтервал в роботі каналу, на протязі котрого не було виявлено будь-якої помилки. На верхньому рядку рис.6.18 відображено вісім односекундних інтервалів бітового потоку, що просувається через цифровий канал.

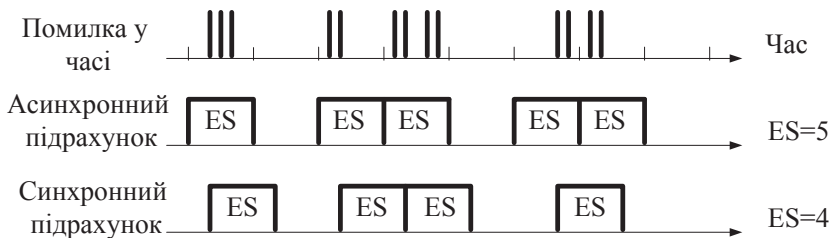


Рис.6.18. Способи визначення параметру ES

Видно, що другий, п'ятий та восьмий інтервали є вільними від помилок. Тому якщо безпосередньо дотримуватися вищенаведеного визначення „односекундного інтервала без помилок”, то і підрахунок односекундних інтервалів має здійснюватися таким чином, щоб саме другий, п'ятий та восьмий інтервали визначались як інтервали без помилок. У цьому разі має бути використаний наступний так званий асинхронний спосіб розрахунку параметру ES (він пояснюється на середньому рядку рис.6.18).

Увесь інтервал вимірювання розбивається на однакові проміжки односекундних інтервалів та здійснюється підрахунок кількості інтервалів, на протязі кожного із котрих виявлялась будь-яка

кількість помилок (зрозуміло, за умов непорушення стану готовності каналу). За асинхронним способом розрахунку (див. середній рядок рис.6.18) часові проміжки між односекундними інтервалами, на яких були виявлені помилки, є однаковими.

Зовсім інша картина спостерігається, якщо використати так званий синхронний спосіб підрахунку кількості односекундних інтервалів, що вражені помилками. Цей спосіб (що пояснюється на нижньому рядку рис.6.18) визначає „односекундний інтервал, вражений помилками” як односекундний інтервал, що безпосередньо йде услід за виявленою помилкою. Тобто, потік вимірних односекундних інтервалів, вражених помилками, синхронізується із часом появи помилок. Тому відповідно до синхронного способу розрахунку параметру ES часові проміжки між односекундними інтервалами, на яких були виявлені помилки, не є однаковими та зовсім по-іншому розташовані на часовій вісі.

Асинхронний спосіб знайшов застосування в Європі (саме цей спосіб рекомендований МСЕ-T), в той час як синхронний спосіб розрахунку поширений у США.

У принципі, як це видно із рис.6.18, ці способи на однаковому потоку помилок дають різні результати. У діапазоні малих значень параметру ES (тобто, на високоякісних каналах) та за умов нормального розподілу ймовірності появи помилок різниця у результатах застосування цих способів підрахунку не є суттєвою. Однак коли канал вражений великою кількістю помилок та ще коли ці помилки мають схильність до групування, то різниця у результатах підрахунку параметру ES за різними способами може досягати 20%.

Кожен із способів має свої переваги та недоліки. Асинхронний спосіб – простий з точки зору технічної реалізації, в той час як синхронний метод є інваріантний щодо вибору часу початку вимірювань.

6.5.19. Схема вимірювань параметрів каналного рівню без відключення цифрового каналу від корисного навантаження

Для здійснення вимірювань параметрів цифрового каналу без відключення від нього корисного навантаження використовується схема аналізу надлишкового циклового коду (CRC). Один із

варіантів такої схеми надано на рис.6.19.

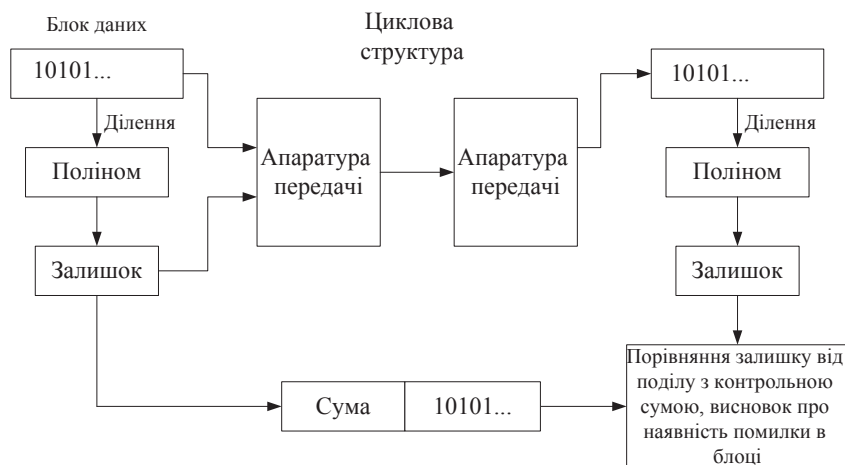


Рис.6.19. Схема вимірювань параметрів цифрового каналу без відключення від нього корисного навантаження

Перед тим, як корисний трафік подати на передавальне обладнання ЦСП, його кодують, так званим, завадостійким кодом, використання котрого забезпечує можливість на приймальній стороні цифрового каналу шляхом декодування виявляти (і, навіть, усувати) можливі помилки передавання цього трафіку. Існує широкий спектр різних завадостійких кодів, характеристики котрих вивчаються у рамках курсу „Теорія електров’язку”. Усім цим кодам за різних умов притаманна різна ступень ефективності виявлення помилок. Однак більшість кодів, що реалізуються обладнанням ЦСП, відноситься до класу *CRC*-кодів. Алгоритм функціонування будь-якого коду *CRC* полягає у наступному. На передавальній стороні бітовий потік, що переносить корисний робочий трафік, розбивається на блоки бітів однакового наперед визначеного розміру, наприклад по 16 бітів кожний блок. І над кожним блоком послідовно по черзі здійснюється операція ділення вмісту цих блоків на певним чином обраний алгебраїчний поліном, наприклад на поліном виду $X^4 + X^1 + 1$ (що у двійковій формі представляється як 10011) або на поліном виду $X^{16} + X^{12} + X^5 + 1$

(що у двійковій формі представляється як 10001000000100001) і т. ін.. Ділення виконується у двійковій формі. Тому і залишки від ділення отримуються у двійковій формі. Розрядність двійкового числа, що представляє залишок, на одну одиницю менше розрядності двійкового числа, що представляє поліном. Ці залишки (що іноді називаються контрольними сумами або ідентитентами) упаковуються в окремі бітові блоки. Блоки із залишками разом із блоками бітів робочого трафіку передаються послідовно один за одним через цифровий канал. Таким чином, на приймальній стороні каналу маємо два пов'язаних між собою потоки бітових блоків, так що кожному блоку робочого трафіку відповідає кореспондований з ним блок із залишком. Над кожним блоком робочого трафіку на приймальній стороні здійснюється операція ділення на той же поліном і таким же чином, як і на передавальній стороні. Утворений залишок порівнюється із прийнятою інформацією про залишок, що був утворений на передавальній стороні. Якщо процес передавання блоку із робочим трафіком та відповідного йому блоку із залишком не супроводжувався виникненням помилок, то порівнювальні залишки мають співпадати. Інакше (тобто, коли порівнювальні залишки не співпадають) робиться висновок про наявність помилок у прийнятих блоках.

Розглянутий вище методологічний підхід до виявлення помилок часто називають методом *CRC*, з використанням котрого вимірюють параметри *CRC ERR* та *BLER*. Основна перевага цього методу – можливість вимірювань на реально працюючому каналі без відключення робочого трафіку. Однак, на жаль, цей метод не забезпечує тієї точності вимірювань, що притаманний методам тестування каналу із відключенням від нього корисного трафіку. Зокрема, тому, що він не забезпечує можливість локалізації та підрахунку виниклих помилок в межах прийнятого блоку із робочим трафіком. За його допомогою можливо лише визначити, чи є у складі прийнятого блоку помилкові біти. А скільки таких помилкових бітів, тим більш, де конкретно вони розташовані в межах бітової послідовності – визначити не є можливим. Можлива ситуація, коли робочий блок був прийнятий без помилок, а у блоці із відповідним залишком були помилкові біти. У цьому випадку

порівнювальні залишки будуть не співпадати. Більше того, можливі ситуації, коли в каналі утворюються пари помилок, котрі на приймальній стороні під час операції ділення взаємно компенсуються. І, як результат, порівнювальні залишки у цих випадках будуть співпадати. Тобто, помилки в робочому блоці будуть не виявлені, хоч у дійсності вони мали місце. Отримаємо спотворення результатів вимірювань. Таким чином, метод *CRC* не дає повної гарантії щодо об'єктивності отриманих результатів вимірювань, а точність цих результатів суттєво нижча за точність результатів тестових вимірювань з відключенням навантаження. Якщо точність вимірювань параметру *BER* залежить від кількості переданих бітів, то точність вимірювань параметру *CRC ERR* (а також *BLER*) залежить від кількості переданих блоків.

Ефективність застосування методу *CRC* залежить від формату транспортних блоків із робочим трафіком (зокрема, їх розміру та структури) та типу реалізованого в обладнанні поліному (зокрема, ступеню цього поліному). Напрямки використання вимірювального обладнання, що реалізує метод *CRC*, та відповідні характеристики цього обладнання надані у табл. 6.4.

Таблиця 6.4

Основні характеристики обладнання, що реалізує метод *CRC*

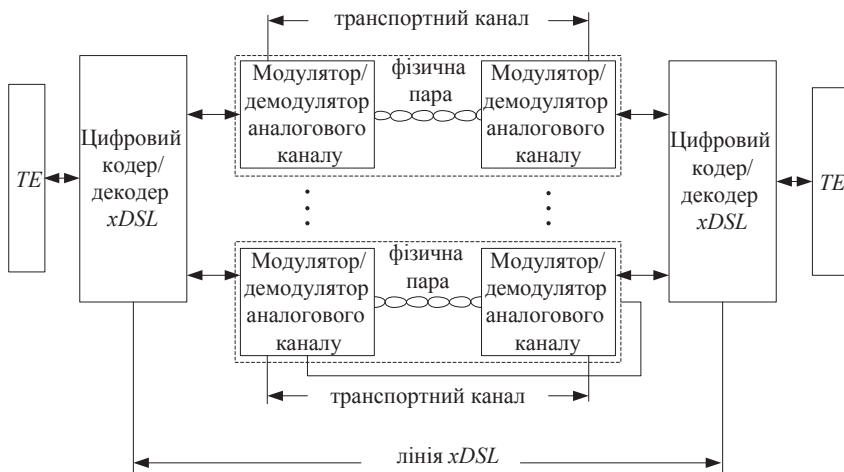
Тип коду	Реалізований поліном	Розрядність ідентитенту	Основні сфери використання
<i>CRC-4</i>	$X^4 + X + 1$	4	Канали типу <i>E1</i>
<i>CRC-6</i>	$X^6 + X + 1$	6	Канали типу <i>DS1</i>
<i>CRC-16</i> <i>FCS</i>	$X^{16} + X^{12} + X^5 + 1$	16	Обладнання, що реалізує протоколи: <i>HDLC</i> , <i>V.41</i> , <i>ISDN</i> , <i>Frame Relay</i>
<i>CRC-32</i>	$X^{32} + X^{26} + X^{23} + X^{22} + X^{16} + X^{12} + X^{11} + X^{10} + X^8 + X^7 + X^5 + X^4 + X^2 + X + 1$	32	Обладнання, що реалізує протоколи: <i>SMDS</i> , <i>LAN</i>

6.6. Особливості вимірювання параметрів цифрових каналів, що утворені на базі аналогових ліній телефонних мереж абонентського доступу (канали ISDN та xDSL)

6.6.1. Вимірювання параметрів обладнання xDSL

6.6.1.1. Структурна схема включення обладнання xDSL. Структурна схема включення обладнання xDSL, параметри котрого мають бути охоплені контролем під час транспортування даних у форматах PDU обладнання xDSL, відображена на рис.6.20.

Лінія xDSL створюється на базі фізичних абонентських пар телефонних проводів. Параметри таких електричних ланцюгів щодо передавання мовних сигналів та низькошвидкісних даних визначені у відповідних нормативних документах (зокрема, у ГСТУ 45.005-98, ГСТУ 45.008-98, КНД 45-033-96, КНД 45-055-97). У цих же документах надані норми на діапазони значень фізичних параметрів телефонних каналів абонентського доступу та відповідні методики їхнього визначення. Усі вищевказані норми мають виконуватися щодо телефонних пар, на базі котрих створюються лінії xDSL.



Позначки: *TE* (*Terminal Equipment*) - термінальний вузол

Рис.6.20. Структурна схема обладнання при транспортуванні даних у форматах PDU xDSL

Однак у фонових процедурах поточного контролю відповідності обладнання *xDSL* перевірки щодо цих норм, як правило, не виконуються, оскільки таке потребує довготривалих випробувань в режимі відключення корисного навантаження на лінію. Тому контроль параметрів фізичних каналів здійснюється лише під час планових процедур технічного обслуговування абонентських телефонних каналів та після виникнення невідповідностей в роботі *xDSL*-обладнання, що не були усунуті під час вирішення проблем у передаванні бітових потоків або проблем канального, мережного (і вище) рівнів.

Лінію *xDSL* розглядають як цифрову систему передачі, що у змозі за певних умов забезпечити швидкість у діапазоні 2 Мбіт/с і більше. Тому під час вимірювань параметрів фізичного рівня використовують рекомендацію MCE-T G.703, яка регламентує вимірювання параметрів фізичного інтерфейсу каналу *E1*, зокрема таких параметрів як швидкість та частота передавання бітів, припустима форма цифрового сигналу, тип та алгоритм лінійного кодування, припустимий рівень фазового тремтіння сигналу (джитер та вандер).

6.6.1.2. *Вимірювані параметри обладнання xDSL.* Параметри обладнання *xDSL* оцінюються окремо щодо кожного із напрямків передачі, а також окремо щодо кожного абонентського транспортного каналу, які у сукупності можуть утворювати за допомогою засобів *xDSL* абонентську лінію *xDSL*. Якщо абонентська лінія утворена на основі використання однієї телефонної пари (тобто, одного транспортного каналу), то значення параметрів каналу та лінії *xDSL* співпадають.

1) *Параметри функціональності щодо трафіка xDSL.*

Це бітова швидкість передавання даних:

- у дуплексній лінії *xDSL* - ***RL (Rate line)***;
- у дуплексному транспортному каналі, який утворений на основі однієї із фізичних пар телефонних проводів, що прокладена між споживачем мережних послуг і вузлом електрозв'язку – ***RC (Rate channel)***.

Примітка 6.3. Якщо для організації однієї *xDSL*-лінії передбачається використання двох або трьох фізичних пар проводів, то слід відрізнити параметри швидкості для лінії *xDSL* від параметрів швидкості для транспортного каналу,

утвореного на базі однієї із телефонних пар.

Примітка 6.4. Контроль інших показників швидкості передавання даних засобами xDSL, зокрема символна швидкість, швидкість модуляції або ширина смуги пропускання, в експлуатаційній практиці не знайшов широкого застосування.

RL_{AD} - швидкість передавання даних у прямому напрямку передачі через абонентську лінію xDSL (тобто, від вузла зв'язку до покупця послуги), що вимірюється у біт/с (*bps – bits per second*).

RC_{AD} – швидкість передавання даних у прямому напрямку передачі через транспортний канал xDSL, що вимірюється у біт/с.

RL_{AR} - швидкість передавання даних у зворотному напрямку передачі через абонентську лінію xDSL (тобто, від покупця послуги до вузла зв'язку), що вимірюється у біт/с.

RC_{AR} – швидкість передавання даних у зворотному напрямку передачі через транспортний канал xDSL, що вимірюється у біт/с.

2) Параметри секунд, уражених помилками.

$ES-L$ (*Errored second – line*) – кількість виявлених на ближньому кінці лінії xDSL впродовж одного сеансу вимірювань односекундних інтервалів, на протязі кожного з котрих були виявлені, але не виправлені по одній або більше помилок. Рахується, що вияв помилок здійснюється шляхом обчислення значення CRC (*Cyclic redundancy check*) під час циклічного декодування фреймів на приймальній стороні лінії xDSL. Помилка фіксується, якщо CRC не дорівнює *FOB816*. Виявлені помилки підсумовуються за усіма приймальними транспортними каналами, що складають лінію xDSL. Крім того, враховуються як *ES* секунди з дефектами типу *LOS* (*Loss of signal*, втрата сигналу) та (або) *SEF* (*Severely errored frame*, кілька помилкових фреймів) та (або) *LPR* (*Loss of power*, втрата потужності).

Примітка 6.5. Показники *LOS*, *SEF* та *LPR* визначені в *ITU-T Rec. G.997.1*.

$ESR-L$ (*Errored second ratio – line*) – коефіцієнт помилок щодо секунд з помилками, виявлених на ближньому кінці лінії xDSL впродовж одного сеансу вимірювань.

$FECS-L$ (*Forward error correction second – line*) – кількість виправлених на ближньому кінці лінії xDSL впродовж одного сеансу вимірювань односекундних інтервалів, на протязі кожного з котрих були виявлені та виправлені по одній або більше помилок.

Рахується, що кількість виправлених помилок дорівнює кількості виправлених кодових слів за результатами циклічного декодування прийнятих фреймів та аналізу FCS (Frame check sequence) і CRC. FCS формується на передавальній стороні лінії згідно з ISO/IEC 3309. Використовується поліном для перевірки виду $x^{16} + x^{12} + x^5 + 1$. Виправлені помилки підсумовуються за усіма приймальними транспортними каналами, що складають лінію xDSL.

Примітка 6.6. Показник *FECS* характеризує інтенсивність завад в лінії xDSL.

SES-L (Severely errored second – line) – кількість виявлених на ближньому кінці лінії xDSL впродовж одного сеансу вимірювань одно секундних інтервалів, на протязі кожного з котрих були виявлені, але не виправлені не менш ніж вісімнадцять помилок. Механізм вияву помилок – аналогічний визначенню *ES*. Виявлені блоки по 18 або більше помилок підсумовуються за усіма приймальними транспортними каналами, що складають лінію xDSL. Крім того, враховуються як *SES* групи по 10 і більше секунд з дефектами типу *LOS* (*Loss of signal*, втрата сигналу) та (або) *SEF* (*Severely errored frame*, кілька помилкових фреймів) та (або) *LPR* (*Loss of power*, втрата потужності).

SESRL (Severely errored second ratio – line) - коефіцієнт помилок щодо секунд з 18 і більше помилками, виявлених на ближньому кінці лінії xDSL впродовж одного сеансу вимірювань.

ES-LFE (Errored second – line far end) - кількість виявлених на віддаленому кінці лінії xDSL впродовж одного сеансу вимірювань одно секундних інтервалів, на протязі кожного з котрих були виявлені, але не виправлені по одній або більше помилок. Механізм виявлення та правило підрахунку помилок – аналогічні визначенню *ES-L*.

ESR-LFE (Errored second ratio – line far end) - коефіцієнт помилок щодо секунд з помилками, виявлених на віддаленому кінці лінії xDSL впродовж одного сеансу вимірювань.

FECS-LFE (Forward error correction second – line far end)- кількість виправлених на віддаленому кінці лінії xDSL впродовж одного сеансу вимірювань односекундних інтервалів, на протязі кожного з котрих були виявлені та виправлені по одній або більше

помилко. Механізм виявлення та правило підрахунку виправлених помилок – аналогічні визначенню *FECS-L*.

SES-LFE (Several error second – line far end) - кількість виявлених на віддаленому кінці лінії *xDSL* впродовж одного сеансу вимірювань одно секундних інтервалів, на протязі кожного з котрих були виявлені, але не виправлені не менш ніж вісімнадцять помилок. Механізм виявлення та правило підрахунку помилок – аналогічні визначенню *SES-L*.

SES-LFE (Several error second ratio – line far end) - коефіцієнт помилок щодо секунд з 18 і більше помилками, виявлених на віддаленому кінці лінії *xDSL* впродовж одного сеансу вимірювань.

3) *Параметри секунд неготовності каналу.*

LOSS-L (Loss of signal second - line) – кількість виявлених на ближньому кінці лінії *xDSL* впродовж одного сеансу вимірювань одно секундних інтервалів, на протязі кожного з котрих було виявлено одна або більше подій, що ідентифікувались як втрата сигналу.

Примітка 6.7. Початок події втрати сигналу фіксується через $2,5 \pm 0,5$ с після виявлення ознак втрати сигналу. Закінчення події втрати сигналу фіксується через $10 \pm 0,5$ с після зникнення ознак втрати сигналу.

UAS-L (Unavailable second – line) - кількість виявлених на ближньому кінці лінії *xDSL* впродовж одного сеансу вимірювань односекундних інтервалів, на протязі кожного з котрих лінія *xDSL* рахувалась як непридатна для користування.

Примітка 6.8. Лінія *xDSL* рахується непридатною для користування з моменту, коли виявлено 10 суміжних секунд з помилками типу *ES* або *SES*. Ці 10 помилкових секунд враховуються при визначенні *UAS*. Лінія *xDSL* рахується знов придатною для користування з моменту, коли виявлено 10 суміжних секунд без помилок після помилкових секунд *ES* або *SES*. Ці 10 с виключаються із підрахунку *UAS*.

LOSS-LFE (Loss of signal second - line far end) - кількість виявлених на віддаленому кінці лінії *xDSL* впродовж одного сеансу вимірювань одно секундних інтервалів, на протязі кожного з котрих було виявлено одна або більше подій, що ідентифікувались як втрата сигналу.

UAS-LFE (Unavailable second – line far end) – кількість виявлених на віддаленому кінці лінії *xDSL* впродовж одного сеансу

вимірювань одно секундних інтервалів, на протязі кожного з котрих лінія *xDSL* була непридатною для користування.

4) *Параметри блокових помилок.*

CV-C (Code violation– channel) – кількість виявлених на ближньому кінці транспортного каналу (одного з тих, що утворює лінію *xDSL*) на протязі одного сеансу вимірювань помилкових результатів циклічного декодування прийнятих фреймів, тобто кількість виявлених помилкових значень *CRC*.

FEC-C (Forward error correction –channel) - кількість виправлених на протязі одного сеансу вимірювань кодових слів (за результатами циклічного декодування прийнятих фреймів) на ближньому кінці транспортного каналу.

CV-CFE (Code violation – channel far end) - кількість виявлених на протязі одного сеансу вимірювань помилкових *CRC* на віддаленому кінці транспортного каналу.

FEC-CFE (Forward error correction – channel far end) - кількість виправлених на протязі одного сеансу вимірювань кодових слів (за результатами циклічного декодування прийнятих фреймів) на віддаленому кінці транспортного каналу.

5) *Параметри деградації якості каналу.*

DGRM (Degradion minuts) - відсоток хвилин деградації якості. Визначається як відсоток хвилин, на протязі котрих лінія *xDSL* була непридатною для користування, відносно загальної кількості хвилин в періоді функціонування обладнання, який визначається умовами *SLA*.

MTTR_{max} - верхня межа середнього часу відновлення працездатності обладнання *xDSL*. Вимірюється у хвилинах.

6.6.1.3. *Нормативи на параметри обладнання xDSL*

Слід розрізняти нормативи на параметри обладнання *xDSL* як цифрової системи передачі даних і нормативи якості на параметри фізичного середовища транспортування сигналів даних, тобто на параметри абонентських телефонних пар проводів, які, як правило, входять до складу багатопарних телефонних кабелів, на базі котрих побудовані канали мереж абонентського доступу до телефонної мережі загального користування (*PSTN*).

Використання абонентських телефонних пар в *xDSL*-лініях має

специфічні особливості, які потрібно враховувати під час досліджень проблем невідповідності на фізичному рівні.

Примітка 6.9. Специфіка пов'язана із високою швидкістю передавання сигналів через телефонну абонентську лінію, що потребує вирішення ряду проблем (зокрема, проблем електромагнітної сумісності через значний рівень міжканальних завад у багатоканальному телефонному кабелі, проблем забезпечення однорідності лінії – її симетрування, пошуку та нейтралізації незамкнених відводів від абонентської лінії, котушок Пупіна тощо), які у цьому розділі не розглядаються.

Вважається, що існуючі норми на фізичний інтерфейс каналу $E1$ припустимо використовувати під час аналізу фізичних інтерфейсів обладнання $xDSL$.

Суміщення ланцюгів дискретної та аналогової інформації, що має місце у разі використання обладнання $xDSL$, у кабельних лініях місцевого зв'язку є можливим лише за умов виконання вимог щодо електромагнітної сумісності. Перехідні завади у низькочастотних телефонних парах повинні бути нижчими, ніж нормовані значення, щоб гарантувати припустимий рівень достовірності транспортованої інформації. Тому мають бути виконаними вимоги ОСТ Р.45-81-97 «Совместимость электромагнитная цепей передачи дискретных и аналоговых сигналов местных сетей электросвязи», що регламентує електромагнітну сумісність обладнання $xDSL$ з іншими засобами електрозв'язку, які використовуються в телефонних мережах абонентського доступу.

Дані щодо нормування параметрів електромагнітного впливу між ланцюгами $xDSL$ на каналах мереж абонентського доступу з урахуванням видів модуляційних кодів ($HDB3$, $2B1Q$ та CAP) наведено, наприклад у книзі Г.Ф. Конаховича та В.М. Чуприна „Мережі передавання пакетних даних”. – К.: „МК-Прес”, 2006.

Нормування параметрів обладнання $xDSL$ здійснюється відносно параметрів ESR та $SESR$, оскільки визначення цих параметрів не потребує відключення корисного навантаження від лінії. За основу для визначення норм вибрані рекомендації МСЕ-T G.821 з урахуванням специфіки використання обладнання $xDSL$.

Розрізняють довгострокові та оперативні норми на параметри ESR та $SESR$ для обладнання $xDSL$. Перевірка на відповідність оперативним нормам може здійснюватися на протязі 15 хвилин, що

обумовило її використання в процесах поточного контролю відповідності. Перевірка на відповідність довгостроковим нормам потребує тривалих вимірювань. Зокрема, загальний час вимірювань в цьому випадку рекомендується вибирати на рівні 1 місяця.

Експлуатаційні норми на показники помилок для обладнання *xDSL* наведені у табл. 6.5.

Таблиця 6.5

Експлуатаційні норми на параметри обладнання *xDSL*

Довгострокові норми		Оперативні норми	
<i>ESR</i>	<i>SESR</i>	<i>ESR</i>	<i>SESR</i>
0,018	0,0003	0,009	0,00015

Щодо наведених норм слід зазначити наступне. Підрахунок *ES* та *SES* під час визначення параметрів *ESR* та *SESR* здійснюється тільки на інтервалах придатності лінії *xDSL* до користування, тобто секунди *UAS* не враховуються.

У рекомендації G.821 надані норми для $ESR < 0,08$, а для $SESR < 0,002$ щодо повного міжнародного *ISDN*-з'єднання. Надано також розподіл цих норм між трьома визначеними ділянками такого з'єднання. Для ділянки абонентського доступу визначені такі норми: $ESR < 0,012$, $SESR < 0,0002$. Для ділянки від місцевого вузлу до вузлу магістральної мережі: $ESR < 0,006$, $SESR < 0,0001$. Для лінії *xDSL* у якості нормованих значень *ESR* та *SESR* доцільно вибрати суми вищезазначених величин, тобто $ESR < 0,018$, $SESR < 0,0003$.

Значення нормованих показників *ESR* та *SESR* для оперативних норм відповідно до рекомендації G.821 удвічі менші значень цих показників для довгострокових норм.

6.6.1.4. *Схеми, умови, точки та порядок вимірювань параметрів обладнання xDSL*

В експлуатаційній практиці для вимірювання параметрів обладнання *xDSL*, норми на котрі зафіксовані у табл.6.5, використовують дві схеми організації вимірювань: “точка-точка” та вимірювання через шлейф. Поточний контроль стану обладнання *xDSL* здійснюється за схемою “точка – точка” у фоновому режимі без відключення корисного навантаження. Під

час планового контролю та пошуку шляхів вирішення проблем невідповідності застосовуються як тестові вимірювання за схемою “точка – точка”, так і шлейфова схема вимірювань, що потребує відключення корисного навантаження від досліджуваного обладнання.

Примітка 6.10. Для тестових вимірювань за схемою “точка-точка” потрібно два синхронізованих між собою аналізатори: один використовують в якості генератора тестуючої цифрової послідовності, що імітує роботу термінального обладнання, а інший виконує функції приймача цифрової послідовності. Шлейфова схема потребує лише одного інструмента вимірювань (але необхідності задіяння каналів обох напрямків передавання) і реалізується у двох варіантах: локального або віддаленого шлейфу.

У фоновому режимі поточного контролю вимірюються параметри *ESR* та *SESR*. У якості інструменту вимірювань використовуються штатні механізми обладнання *xDSL*. Під час цих вимірювань фіксуються також параметри *LOS*, *SEF* та *LPR*, оскільки поточні значення цих параметрів враховуються в процедурах обчислення *ESR* та *SESR*. Період одного сеансу оперативних вимірювань параметрів *ESR* та *SESR* під час поточного контролю – 15 хвилин. Отримані оцінки оперативних вимірювань усереднюються на місячній вибірці та порівнюються з довгостроковими нормами (див. табл. 6.5).

Примітка 6.11. Дозволяється для усереднення використовувати дані оперативних вимірювань, що отримані в години найбільшого добового завантаження обладнання *xDSL*, наприклад з 12 до 14 години у кожній добі.

Плановий контроль та аналіз проблем невідповідності передбачає необхідність вимірювання параметрів за умов, що наведені у табл. 6.6.

Таблиця 6.6

Параметр	Точка вимірювань (ближній/віддалений кінець каналу)	Необхідність контролю на вузлі зв'язку	Необхідність контролю на термінальному у вузлі
<i>FECS-L</i>	<i>N</i>	М	М
<i>FECS-LFE</i>	<i>F</i>	М	О
<i>ES-L</i>	<i>N</i>	М	М

<i>ES-LFE</i>	<i>F</i>	М	О
<i>SES-L</i>	<i>N</i>	М	М
<i>SES-LFE</i>	<i>F</i>	М	О
<i>LOSS-L</i>	<i>N</i>	О	О
<i>LOSS-LFE</i>	<i>F</i>	О	О
<i>UAS-L</i>	<i>N</i>	М	М
<i>UAS-LFE</i>	<i>F</i>	М	О
<i>CV-C</i>	<i>N</i>	М	М
<i>CV-CFE</i>	<i>F</i>	М	О
<i>EC-C</i>	<i>N</i>	М	М
<i>EC-CFE</i>	<i>F</i>	М	О

Примітка 6.12. М – означає обов’язковість моніторингу параметра. О – означає бажаність (але не обов’язковість) моніторингу параметра. *N* - ближній кінець лінії *xDSL*. *F* – віддалений кінець лінії *xDSL*.

В процесі контролю відповідності вимірювання здійснюються на обох кінцях лінії *xDSL*.

Вимірювання вищенаведених параметрів можуть здійснюватися шляхом генерування на передавальній стороні та аналізу на приймальній стороні відповідних тестових цифрових послідовностей за схемою “точка – точка” . В цьому випадку необхідно застосовувати два синхронізованих між собою аналізатори протоколів. Дозволяється здійснювати вимірювання параметрів із табл. 6.6 за шлейфовою схемою. У будь-якому випадку періодичність тестування (тобто, тривалість одного сеансу вимірювань) під час контролю відповідності – 900с.

Схема організації вимірювань параметрів обладнання *xDSL* за шлейфовим методом, а також відповідні точки доступу до послуги та відповідні пари точок вимірювань, відображені на рис. 6.21. Якщо мати на увазі формат фреймів *xDSL*, що має структуру відповідно до рис.6.22 (тобто, з максимальною довжиною поля даних фрейму - 510 байтів для всіх різновидів технології *xDSL*, окрім технології згідно з рекомендацією МСЕ-Т *G.992.3*; для технології *G.992.3* максимальна довжина поля даних фрейму має дорівнювати 1024 байтів), то контроль обладнання при наданні послуги транспортування фреймів *xDSL* доцільно здійснювати на мережному рівні за шлейфовою схемою шляхом пінгування *ICMP*-

пакетами.

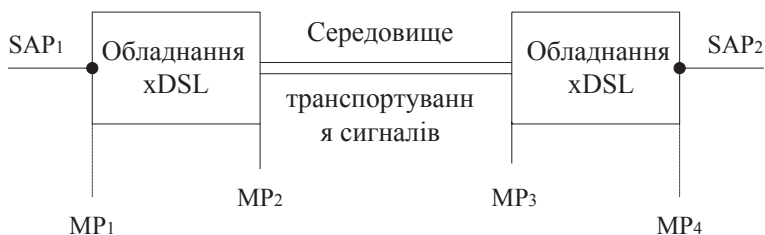


Рис. 6.21. Вимірювальна схема для визначення поточних параметрів обладнання *xDSL*, де SAP_j - j -та точка доступу до послуги; MP_i - i -та пара точок вимірювань

$7E_{16}$	Прапорець початку фрейма (<i>Opening Flag</i>)
FF_{16}	Адресне поле (<i>Address field</i>)
03_{16}	Поле ідентифікатора (<i>Control field = UI frame</i>)
Інформаційне навантаження	Максимум 510 байтів
FCS	<i>Frame Check Sequence</i> (Перший октет)
FCS	<i>Frame Check Sequence</i> (Другий октет)
$7E_{16}$	Прапорець закінчення фрейма (<i>Closing Flag</i>)

Рис. 6.22. Формат фреймів *xDSL*

В цьому випадку до точок SAP_1 та SAP_2 (див. рис.6.21) приєднуються хости і за умов, що в кожен один тестовий фрейм упаковано лише один пакет, встановлюється режим періодичного тестування послідовностями ICMP-пакетів через фіксовані інтервали часу.

Тестові пакети генеруються за допомогою штатних програмних засобів хоста – ініціатора вимірювань, потім інкапсулюються у поле даних тестових фреймів (за допомогою штатних програмно-апаратних засобів обладнання *xDSL*) із розрахунку “в один фрейм – один пакет” і далі просуваються через контрольоване з’єднання до кінцевого віддаленого вузлу цього з’єднання. На віддаленому вузлі за допомогою штатних програмних засобів хоста у точці SAP_2 здійснюється шлейфування (тобто, логічне замикання пари вимірювальних точок) згідно рис.6.21 з подальшим передаванням

тестових пакетів (що упаковані у тестові фрейми) у зворотному напрямку та обробкою цих протокольних блоків даних (у т.ч., вилучення із фреймів тестових ICMP-пакетів) за допомогою штатних програмно-апаратних засобів хоста – ініціатора вимірювань.

Вищенаведений спосіб надає можливість виконати оцінювання параметрів обладнання *xDSL* шляхом вимірювань та розрахунків параметрів мережного рівня, котрі мають відповідати нормам якості обслуговування мережного рівня.

Розрахунок звітних значень безпосередньо параметрів обладнання *xDSL* здійснюється за результатами кожного сеансу вимірювань.

6.6.2. Вимірювання параметрів базового доступу *BRI ISDN*

6.6.2.1. *Структура базового доступу.* Звісно, що існує можливість використати звичайну аналогову абонентську телефонну лінію для організації цифрового каналу доступу до вузлу комутації каналів (іноді і до вузлу комутації пакетів). Для цього найчастіше використовують так званий базовий доступ за технологією *ISDN (Basic Rate Interface, BRI)*. Апаратна структура базового доступу *BRI ISDN* (див. рис.6.23) передбачає на ділянці між термінальним обладнанням кінцевого користувача (*Terminal Equipment, TE*) та модулем лінійного закінчення (*Line Termination, LT*), що функціонує у складі обладнання вузлу комутації, можливість створення трьох логічних каналів передавання бітових потоків – двох каналів типу В (кожний із них на швидкість 64 кбіт/с) та одного каналу типу D (на швидкість 16 кбіт/с). (Логічна структура лінії *BRI ISDN* на рис.6.23 не показана). У залежності від того, де конкретно розміщується модуль мережного закінчення (*Network Termination, NT*) – на боці користувача чи у складі обладнання вузлу комутації, маємо довгу лінію зв'язку на інтерфейсі *U* та коротку лінію на інтерфейсі *S* чи навпаки. Не заглиблюючись у подробиці побудови обладнання за технологією *ISDN* (ця технологія вивчається у рамках окремої навчальної дисципліни), зазначимо, що на стадії експлуатації обладнання *BRI ISDN* проблеми можуть виникнути як на ділянці цифрового каналу між *TE* та *NT* (тобто, на інтерфейсі *S*), так і на ділянці цього каналу

між NT та LT (тобто на інтерфейсі U).

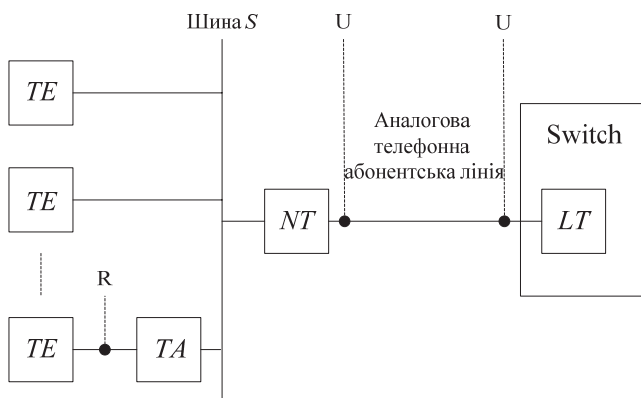


Рис.6.23. Апаратна структура цифрового базового доступу *BRI ISDN*

Інтерфейс S. Ділянку цифрової абонентської лінії між TE та NT називають шиною S . Конструктивно шина S являє собою чотирьохпроводову кабельну лінію із розетками для підключення пристроїв TE (у т.ч., і через термінальний адаптер TA), що закінчується так званим термінатором (тобто, резистором із хвилевим опором, що має дорівнювати характеристичному імпедансу шини). До шини S може бути підключено від одного до восьми пристроїв TE . Чим більша кількість TE підключена до шини, тим коротша вона має бути. Максимальна довжина шини S (із одним підключеним TE) – 1000м. Сигнали на шині S утворюються шляхом амплітудно-імпульсної маніпуляції несучої бітового потоку (точніше, - відповідно до біполярного методу АМІ, коли логічна одиниця кодується нульовим потенціалом, а логічний нуль - чередуванням потенціалів протилежної полярності). Структура цих сигналів – циклова (в деяких випадках – надциклова): як на етапі активації/деактивації лінії (на якому здійснюється обмін п'ятьма стандартними сигналами INFO 0 – INFO 4), так і на етапі передавання/приймання побітових даних у рамках встановленого з'єднання. Тривалість одного циклу передачі – 250 мкс. Розмір бітового блока даних, що відповідає одному циклу – 48 біт, із них два байти – каналу B_1 , ще два байти –

канала B_2 , чотири біта – канала C , інші 12 бітів – службові, у т.ч. і для організації циклової синхронізації.

Інтерфейс U . Ділянку цифрової абонентської лінії між LT та NT називають лінією U . Конструктивно лінія U являє собою двопроводову кабельну лінію, що створена на основі однієї із пар багатопарного кабелю, зокрема типу „звита пара”, що пролягає від абонента телефонної мережі до АТС. Специфікації лінії U не є стандартизованими. Тому і довжина цієї лінії – не регламентована. Тим не менш, максимальна довжина лінії U навіть за сприятливих умов передачі бітового потоку не може перевищувати 3–5,5 км, а у багатьох випадках не повинна перевищувати 1500м. Сигнали у лінії U утворюються шляхом лінійного кодування за методом $2B1Q$ (іноді за методом $4B3T$ або U_p0). Структура цих сигналів мало чим відрізняється від структури сигналів на шині S , тобто вона має циклічний характер як на етапі активації/деактивації лінії, так і на етапі передавання/приймання побітових даних у рамках встановленого з’єднання.

Технологія $ISDN$ передбачає необхідність використання абонентської сигналізації. Проблеми вимірювань параметрів сигналізації, у т.ч. абонентської сигналізації $ISDN$, висвітлені у матеріалах лекції №8.

6.6.2.2. Вимірювання параметрів базового доступу.

Експлуатаційні процедури та порядок їхнього здійснення щодо обладнання базового доступу на фізичному рівні взаємодії є добре апробованими і полягають у наступному (див. рис.6.24).

Як бачимо на рис.6.24, послідовний аналіз проблем із невідповідністю параметрів обладнання базового доступу їх номінальним значенням на фізичному рівні взаємодії складається із чотирьох груп експлуатаційних завдань:

- 1) передінсталяційні вимірювання існуючих абонентських кабелів (у випадках, коли для побудови базового доступу намагаються використати вже прокладені абонентські телефонні кабелі та існує проблема вибору телефонних пар, котрі мають відповідати вимогам із передавання цифрових потоків згідно специфікаціям технології $ISDN$);

- 2) тестування обладнання базового доступу за допомогою автоматичних експлуатаційних тестів з метою отримання

упевненості, що усі активізовані послуги *ISDN* надаються у повному обсязі із визначеним рівнем якості;

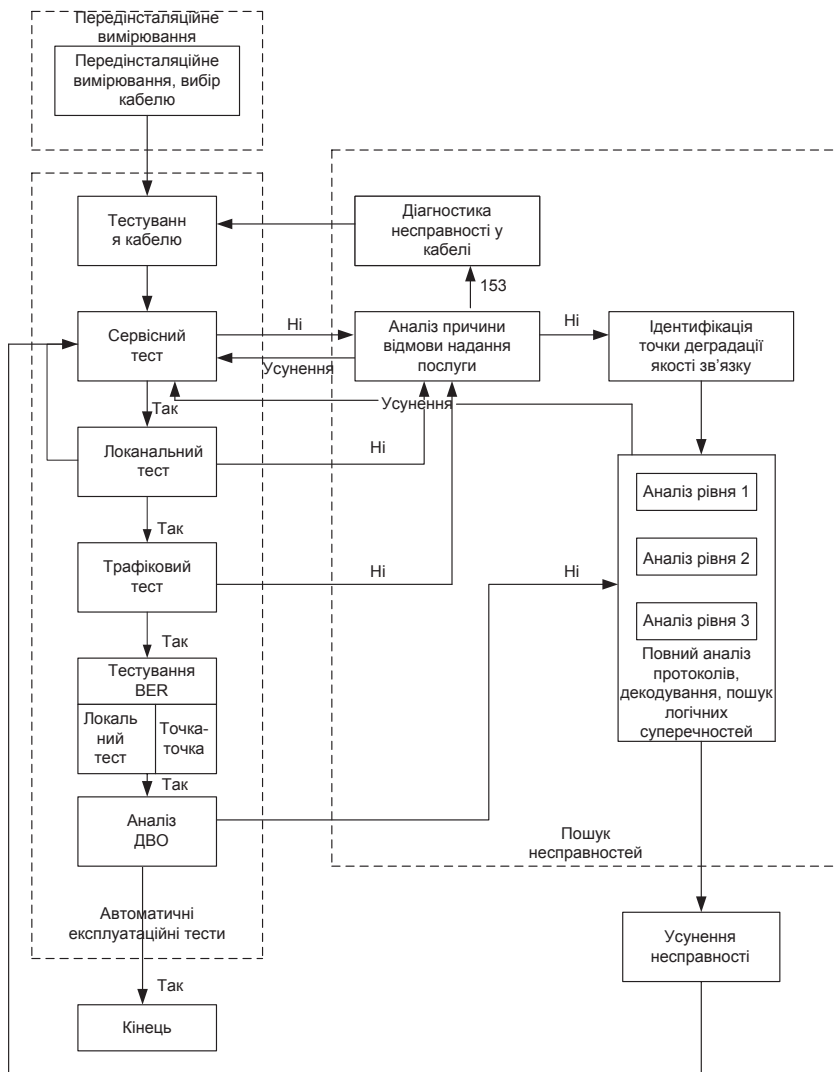


Рис.6.24. Порядок робіт з експлуатації обладнання *BRI ISDN*

- 3) пошук несправностей;
- 4) усунення несправностей.

Примітка 6.13. Пошук та усунення несправностей в роботі обладнання *BRI ISDN* пов'язаний, багато у чому, з аналізом протоколів абонентської сигналізації каналного та мережного рівнів згідно семирівневої моделі OSI. Проблеми вимірювань параметрів абонентської сигналізації для *ISDN*, висвітлені у матеріалах лекції №8.

У рамках передінсталяційних вимірювань здійснюють вимірювання наступних параметрів фізичного рівня взаємодії (як на інтерфейсі *S*, так і на інтерфейсі *U*):

Відсутність напруги електроживлення на шині *S*. Вимірюється звичайним тестером або мультиметром.

Коректність розводки жил кабелю шини *S*. Вимірюється звичайним тестером або мультиметром. Визначаються також можливі розриви та короткі замикання у кабелі.

Величина опору ізоляції у жилах кабелю як на шині *S*, так і на лінії *U*. Вимірюється мегометром. Має відповідати паспортним даним на кабель.

Довжина кабелю шини *S*. Вимірюється візуально за позначками на кабелі. Припустима довжина шини залежить від кількості та місць розташування пристроїв *TE* і має не перевищувати рекомендованих норм.

Величина опору термінатора шини *S*. Вимірюється за допомогою спеціалізованого пристрою – індикатора стану шини *S*. Зазвичай цей опір має дорівнювати 100 Ом. Індикатор стану шини (наприклад, виробництва компанії *Aurora Profi*) складається із генератора, що імітує сигнали модулю *LT* і включається у блок *NT* з боку інтерфейса *U*, та аналізатора, що включається одразу до усіх абонентських розеток шини *S*. Індикатор стану шини *S* здатний вимірювати усі зазначені вище фізичні параметри кабелю.

Величина затухання у кабелі на інтерфейсі *U*. Для вимірювань параметрів затухання *A* або A_p абонентської лінії на інтерфейсі *U* є можливим застосувати звичні методи тонального або імпульсного тестування. Методи та засоби вимірювання параметра затухання розглядалися нами у підрозділах 6.3.1 та 6.3.8 цієї лекції.

Величина перехідного затухання на ближньому та на дальньому кінцях лінії на інтерфейсі *U*. Для вимірювань

параметрів *NEXT* та *FEXT* також можливо використати метод тонального тестування із застосуванням аналізаторів абонентських ліній (із діапазоном розгортки ІЧХ – 2МГц) або метод імпульсної рефлектометрії. Обидва названі методи висвітлені у підрозділі 6.3.4 цієї лекції.

Виявлення неоднорідностей в лінії на інтерфейсі U. Зокрема виявлення котушок Пупіна та (або) пасивних відводів від лінії. Для цього будують графік ІЧХ абонентської лінії будь-яким звісним способом, наприклад із застосуванням аналізаторів абонентських ліній або шляхом безпосереднього аналізу рефлектограм, що отримуються завдяки застосуванню рефлектометра. Відповідний матеріал міститься у підрозділах 6.3.2 та 6.3.8 цієї лекції.

Автоматичні експлуатаційні тести, що запускаються у рамках тестування обладнання базового доступу, складаються із (див. рис.6.18):

- **сервісного тесту**, що має визначити перелік послуг, що можуть надаватися абоненту через один із логічних каналів В у складі перевіряемого інтерфейсу базового доступу (цей тест у локальному варіанті фактично перевіряє коректність програмування параметрів модулю *LT*, а у варіанті віддаленого доступу – параметрів усього ланцюга обладнання на трасі „локальний *NT* – віддалений *TE*”);

- **поканального тесту**, що забезпечує перевірку окремо кожного із двох існуючих логічних каналів типу В у складі перевіряемого інтерфейсу *BRI*;

- **трафікового тесту**, що забезпечує перевірку здатності обладнання витримувати максимальне завантаження одночасно двох існуючих логічних каналів типу В у складі перевіряемого інтерфейсу *BRI*;

- ***BER*-тесту**, тобто тесту, за допомогою якого визначається параметр бітових помилок *BER*. Методи та засоби визначення цього параметру розглянуто у підрозділі 6.4.1 цієї лекції).

6.6.3. Вимірювання параметрів первинного доступу *ISDN*

6.6.3.1. *Структура первинного доступу.* Базовий доступ забезпечує можливість передавання цифрових інформаційних

потоків із сумарною швидкістю 144 кбіт/с, не більше. Однак у багатьох практично важливих випадках цього явно недостатньо. Наприклад, якщо ставиться завдання підключити до телефонної мережі загального користування (*PSTN*) яку-небудь корпоративну АТС (*PBX*) з ємністю 500 номерів і більше, то у цьому випадку пропускна здатність з'єднувальної лінії зв'язку має вимірятися одиницями, а то і десятками мегабіт у секунду. Такий діапазон швидкостей якраз і забезпечує обладнання первинного доступу ISDN (Primary Rate Interface, PRI).

Логічна структура PRI ISDN - тридцять каналів типу В, кожний із котрих розрахований на швидкість 64 кбіт/с, та один канал типу D на швидкість 64 кбіт/с, тобто маємо логічну структуру первинного доступу у вигляді 30В + D.

Канали типу В можуть об'єднуватися в один логічний високошвидкісний канал передачі користувацьких даних на швидкість 1920 кбіт/с, у той час як канал типу D використовується для забезпечення системи сигналізації.

Апаратна структура цифрового первинного доступу *PRI ISDN* показана на рис.6.25.

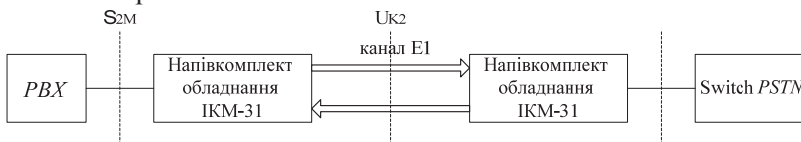


Рис.6.25. Апаратна структура цифрового первинного доступу *PRI ISDN*

Така апаратна структура *PRI* органічно вписується у структуру каналу типу *E1* із цикловою синхронізацією, якщо цей канал утворюється засобами обладнання ІКМ-31. Тобто, у цьому випадку канал первинного доступу має циклову структуру та являє собою канал *E1*, в якому шляхом часового мультиплексування (*TDM*) у тайм-слоти *TS1 – TS30* упаковано 30 каналів типу В, у тайм-слот *TS31* упаковано канал типу D, а тайм-слот *TS0* відведено для передавання сигналу циклової синхронізації *FAS (Frame Alignment Signal)*. Якщо порівнювати рис.6.17 з рис.6.25, то неважко побачити, що функції *NT* та *LT* у схемі первинного доступу виконують прикінцеві напівкомплекти обладнання ІКМ-31, між котрими на інтерфейсі *Uк2* утворюється дуплексний канал типу *E1*

(на швидкість 2048 кбіт/с) із фізичним розділенням напрямків передавання даних, тобто в якості середовища розповсюдження сигналів потоку *E1* використовується чотирьохпроводова металева лінія зв'язку (або два волокна оптоволоконної лінії). Максимально припустима довжина такої лінії – 1800м. Вид лінійного кодування (у більшості випадків) – *HDB3*. Функції *TE* на рис.6.25 виконує, зокрема, корпоративна АТС (*PBX*).

Інтерфейс S_{2M} згідно специфікації *PRI* може бути тільки „точка – точка”, а само обладнання ІКМ-31 розміщується, як правило, біля обладнання *PBX*. Тому вимірювання параметрів інтерфейсу S_{2M} не мають суттєвого експлуатаційного значення.

Обладнання каналу *PRI* відповідно до специфікацій *ISDN* має бути завжди в активному стані, тому відпадає необхідність вимірювань параметрів процесів активації/деактивації лінії (як це необхідно робити під час аналізу *BRI*).

Технологія *PRI ISDN* передбачає необхідність використання певним чином обраних систем сигналізації. Проблеми вимірювань параметрів обладнання сигналізації, у т.ч. сигналізації для *ISDN*, висвітлені у матеріалах лекції №8.

Пошук несправностей в обладнанні первинного доступу виконується, головним чином, шляхом аналізу задіяних у ньому сигналізаційних протоколів. Засоби та процедури здійснення такого аналізу також висвітлені у матеріалах лекції №8.

6.6.3.2. Вимірювання параметрів первинного доступу

Обладнання первинного доступу фактично складається із відрізків кабелів (металевих або оптичних), що слугують середовищем розповсюдження сигналів, та каналоутворюючого обладнання на обох кінцях лінії зв'язку. Вимірювання параметрів задіяних кабелів являють інтерес, головним чином, на передексплуатаційних стадіях життєвого циклу обладнання. Методи та засоби таких вимірювань детально розглянуто нами у підрозділах 6.1 та 6.2 цієї лекції. Щодо каналоутворюючого обладнання, то у даному випадку розгляду мають підлягати параметри обладнання ІКМ-31. Засобами цього обладнання утворюються потоки бітових даних типу *E1*. Методи та засоби вимірювання параметрів такого потоку розглянуто нами у

підрозділі 6.4. Більш детально проблематика вимірювань параметрів каналу *E1* висвітлена у [5].

6.7. Особливості вимірювання параметрів кабельних систем із частотним ущільненням аналогових телефонних каналів

Вимірювання параметрів первинних аналогових мереж із частотним ущільненням абонентських телефонних каналів (системи типу К-60, К-120, К-1920 і т.ін.) розглядати не будемо через їхню моральну та фізичну застарілість. Проте не усе це обладнання знято із експлуатації. Тому у разі необхідності інформацію щодо вимірювань параметрів обладнання із частотним ущільненням аналогових каналів слід шукати у багато чисельних публікаціях початку 80-х років, що присвячені системам багатоканального зв'язку, зокрема у [6].

Контрольні питання до самостійного заняття шостої лекції

1. Надайте визначення параметру *BER*.
2. Чим розрізняються два основних методологічних підходи до вимірювань бінарного каналу – з відключенням та без відключення цього каналу від корисного навантаження?
3. Дайте визначення параметрам готовності/неготовності каналу.
4. Дайте визначення параметрам тривалості бітових помилок.
5. Дайте визначення параметрам кількості блокових помилок.
6. Дайте визначення параметрам помилок CRC.
7. Дайте визначення параметрам розсинхронізації.
8. Дайте визначення параметрам деградації якості робочого каналу.
9. Дайте визначення параметру пов'язаності каналу.
10. Дайте визначення параметрам якості передавання тестової послідовності.
11. Надайте характеристику різним видам тестових послідовностей для вимірювань параметрів бінарних цифрових каналів.
12. Надайте типову схему вимірювань параметру *BER* (та похідних параметрів від нього).
13. Як запобігти виникненню джитеру реєстрів зсуву під час

формування псевдовипадкових тестових послідовностей.

14. Надайте характеристику основним способам розрахунку параметра *BER*.

15. Як оцінити достовірність результатів вимірювань параметра *BER*.

16. Надайте характеристику основним способам розрахунку параметра *ES*.

17. Надайте типову схему вимірювань параметрів каналного рівню без відключення цифрового каналу від корисного навантаження.

18. Надайте основні характеристики обладнання, що реалізує метод *CRC*.

19. Надайте структурну схему включення обладнання *xDSL*.

20. Назвіть параметри обладнання *xDSL*, що підлягають оцінці.

21. Які нормативи на параметри обладнання *xDSL* як цифрової системи передачі даних?

22. Надайте схеми, назвіть умови, укажіть точки та порядок вимірювань параметрів обладнання *xDSL*.

23. Надайте апаратну структуру цифрового базового доступу *BRI ISDN*.

24. Укажіть порядок робіт з експлуатації обладнання *BRI ISDN*.

25. Які параметри обладнання *BRI ISDN* підлягають вимірюванням?

26. Надайте апаратну структуру цифрового первинного доступу *PRI ISDN*.

Література до самостійного заняття шостої лекції

1) И.Г. Бакланов. Технологии измерений в современных телекоммуникациях. –М.: ЭКО- ТРЕНДЗ, 1998. Розділи 4, 5 та 10.2.

2) А.Б. Семёнов, С.Н. Стрижаков, И.Р. Сунчелей. Структурированные кабельные системы. –М.: ДМК Пресс, 2002. Розділ 2.

3) Ю.А. Парфёнов, Д.Г. Мирошников. «Последняя миля» на медных кабелях. –М.:Эко-Трендз, 2001. Глава 3.

4) Г.Ф. Конахович, В.М. Чуприна. Мережі передавання пакетних даних. – К.: „МК-Прес”, 2006.

- 5) И.Г. Бакланов. Технологии измерений первичной сети. Часть 1. Системы E1, PDH, SDH.–М.:ЭКО-ТРЕНДЗ, 2000. Разделы 2, 3, 4.
- 6) А.М. Зингеренко, Н.Н. Баева, М.С. Тверецкий. Системы многоканальной связи. –М.:Связь, 1980.

ЛЕКЦІЯ №7 ВИМІРЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ОБЛАДНАННЯ НА КАНАЛЬНОМУ РІВНІ ВЗАЄМОДІЇ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ

Розглядаються наступні питання:

Лекційне заняття

- 7.1. Основні схеми вимірювань параметрів каналного рівню
- 7.2. Параметри каналного рівню, що підлягають вимірюванням
- 7.3. Вимірювання параметрів каналного рівню обладнання пакетних мереж
- 7.4. Вимірювання параметрів функціональності послуг
- 7.5. Вимірювання параметрів якості передавання протокольних блоків даних

Самостійне заняття. Вимірювання параметрів обладнання *Frame Relay* та *xDSL*

- 7.6. Вимірювання параметрів обладнання систем передавання фреймів на транспортній мережі *Frame Relay*
- 7.7. Вимірювання параметрів абонентського доступу до транспортної мережі з використанням обладнання *Frame Relay* та *xDSL*

7.1. Основні схеми вимірювань параметрів каналного рівню

Узагальнена схема вимірювань параметрів каналного рівню, незалежно від того, яке саме телекомунікаційне обладнання мереж передавання даних (МПД) є об'єктом вимірювань, показана на рис.7.1.

На практиці для позначення складових елементів цієї схеми прийнято використовувати англійську аббревіатуру скорочень:

DTE (Digital Terminal Equipment) – цифрове термінальне обладнання;

DCE (Digital Canal Equipment) – цифрове каналне обладнання;

MP (measurement point) – точка вимірювань.

DTE, як правило, розташоване у точці присутності користувача мережних ресурсів, належить цьому користувачеві і включено до складу його інформаційної системи, на якій він вирішує свої прикладні задачі. Наприклад, під *DTE* розуміють мережний адаптер у складі комп'ютеру користувача із відповідним програмним драйвером.

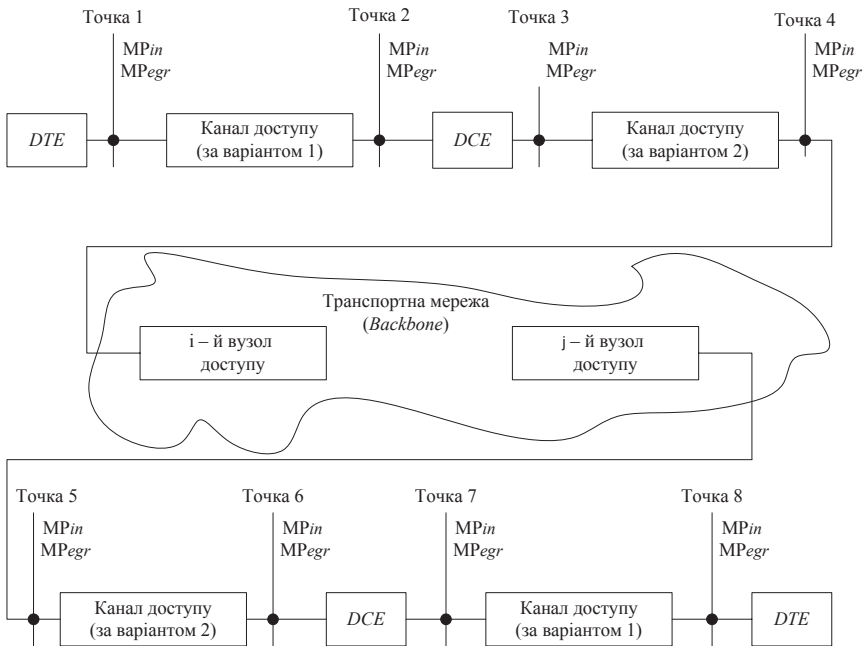


Рис.7.1. Узагальнена схема вимірювань параметрів каналного рівню, де MP_{in} – точка вимірювань увідного потоку інформації; MP_{egr} – точка вимірювань вивідного потоку інформації

DCE – це обладнання каналного закінчення, яке призначено, головним чином, для узгодження (рос., – сопряжения) характеристик термінального обладнання користувача із характеристиками каналу передавання даних. Наприклад, під *DCE* розуміють всілякого роду модемне обладнання або блок *NT* в обладнанні *ISDN* або пристрій доступу *FRAD* (*Frame Relay Eccess Device*) до ресурсів мережі *Frame Relay* тощо. *DCE* в залежності від конкретних умов користування може бути розташоване як на мережному вузлі оператора електрозв'язку (тобто, в зоні його контролю), так і знаходитись у безпосередній близькості від *DTE* на площах користувача мережних ресурсів. Зрозуміло, що вибір місця розташування каналного закінчення (*DCE*) залежить від того, що більш доцільно організувати – абонентський цифровий

канал доступу між термінальним обладнанням користувача (*DTE*) та обладнанням каналного закінчення *DCE* (варіант 1) або канал абонентського доступу між *DCE* та вузловим обладнанням мережі, що використовуються для транспортування цифрових даних (варіант 2). На практиці у більшості випадків знайшов застосування варіант 2, оскільки в цьому випадку характеристики елементів ТЛК-обладнання, що утворюють канал, будуть узгодженими з характеристиками середовища транспортування інформації, що забезпечує можливість передавання інформації на великі відстані. Варіант 1 такого узгодження не забезпечує, тому канал у цьому випадку не може бути довшим, ніж кілька десятків метрів (в особливих випадках, не більше кілька сотень метрів).

Зустрічаються дві основні схеми організації вимірювань параметрів каналного рівня – **вимірювання типу „точка – точка”** (без утворення зворотного каналу) та **вимірювання „за шлейфом”** (з утворенням зворотного каналу). В телекомунікаціях існує таке поняття як **точка вимірювань** (*measurement point, MP*). Визначити точку вимірювань – це, по-перше, визначити її місце розташування на схемі організації вимірювань (наприклад, на інтерфейсі між *DTE* та *DCE* або на інтерфейсі між закінченням каналу доступу та комутатором мережі тощо), а по-друге, визначитися з напрямом передавання потоку інформації, характеристики котрого мають бути виміряні. Зокрема, позначимо як MP_{in} точку, де організується спостереження за параметрами увідного потоку протокольних блоків даних (*PDU, Protocol Data Unit*), і як MP_{egr} точку, де вимірюються параметри вивідного потоку.

У випадку застосування схеми організації вимірювань типу „точка – точка” треба мати два напівкомплекти вимірювального обладнання, що розташовані у віддалених одна від одної точках MP_{in} та MP_{egr} , що не завжди зручно, оскільки виникає необхідність вирішення відносно непростієї задачі синхронізації роботи цих напівкомплектів. Задача синхронізації вимірювального обладнання, що підключено до віддалених одна від одної точок вимірювань, суттєво спрощується, якщо обидва його напівкомплекти розташувати поруч в одному місці, тобто організувати вимірювання за шлейфом, коли вимірювальні засоби зосереджені в

одному місці.

У залежності від того, параметри якого саме елементу обладнання каналу підлягають вимірюванням, можуть бути організовані різноманітні види шлейфів. Зокрема, наприклад, якщо існує необхідність аналізу параметрів мережного адаптеру (або його драйверу), що входить до складу комп'ютеру користувача (тобто, до *DTE*), то вивідний порт адаптеру замикають на його увідний порт та утворюють локальний шлейф на *DTE*, коли логічні точки вимірювань забезпечуються інструментальним програмним засобом, інсталюваним на *DTE*. Схема організації такого шлейфу показана на рис.7.2.

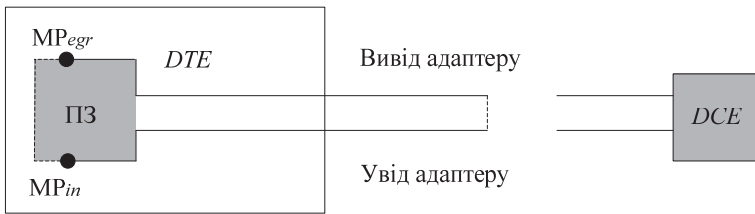


Рис.7.2. Схема організації локального шлейфу на *DTE*

Якщо існує необхідність аналізу параметрів не тільки *DTE*, а і каналу передавання між *DTE* та *DCE* (але не самого *DCE*), то на стороні *DCE* вивідний порт цього каналу з боку свого *DTE* (логічний або фізичний - в залежності від конкретної схеми зв'язку) замикають на його увідний порт та утворюють локальний шлейф на *DCE* згідно рис. 7.3.

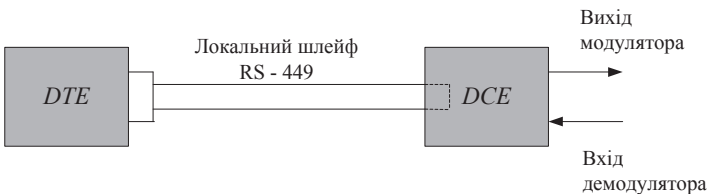


Рис.7.3. Схема утворення локального шлейфу на *DCE* (з боку свого *DTE*)

Якщо існує необхідність аналізу параметрів усього комплекту

обладнання доступу до мережних ресурсів (тобто, *DTE* + *DCE* + канал між ними) за умов, що це обладнання розташовано локально (тобто, в одному місці або майже в одному місці, коли відстань між *DTE* та *DCE* не перевищує кілька сотень метрів), то локальне *DCE* відключається від каналу, що йде у напрямку транспортної мережі (тобто, у напрямку вузлу доступу до мережі), а відповідні порти локального *DCE* замикаються один на одній, як це показано на рис. 7.4.

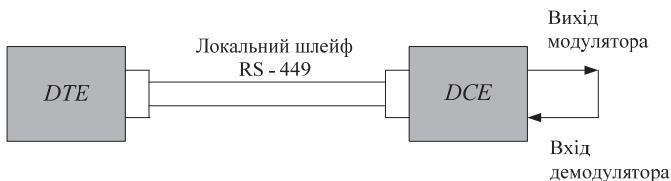


Рис.7.4. Схема утворення локального шлейфу на *DCE* (з боку мережі доступу)

Якщо потрібно дослідити параметри не тільки прикінцевого обладнання, що розташоване локально на термінальному вузлі користувача мережних ресурсів, але ще і обладнання каналу доступу до вузлу мережі, але без включення вузлових обладнання мережі, то замикають кінці каналу доступу на інтерфейсі з вузловим обладнанням так, як це показано на рис.7.5.



Рис.7.5. Схема утворення віддаленого шлейфу

Як результат, утворюється, так званий, віддалений шлейф. Наявність, якщо існує необхідність визначити параметри усього обладнання, що утворює цифровий канал або канал передачі даних, що проходить через певним чином визначені вузли транспортної мережі, то замикають шлейф на дальньому кінці віддаленого *DCE*

так, як це показано на рис. 7.6.

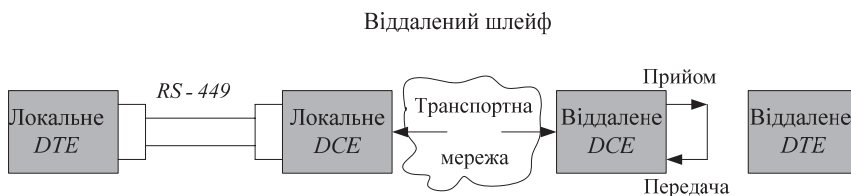


Рис.7.6. Схема утворення віддаленого шлейфу для вимірювань параметрів обладнання усього цифрового каналу

Однак у цьому випадку обов'язковою умовою є використання двонаправленого (дуплексного) каналу передавання між *DTE* та *DCE*. Це не завжди є можливим. Окрім того, щодо шлейфової схеми, то завжди існує невизначеність вимірювань, оскільки неможливо точно розділити вклад у загальний результат вимірювань, що вноситься прямим та зворотним каналами передавання.

7.2. Параметри канального рівню, що підлягають вимірюванням

Вимірювання параметрів канального рівню здійснюють, головним чином, з метою визначення рівня якості передавання протокольних блоків даних (*PDU*). Позначення та визначення цих параметрів доцільно обрати таким чином, щоб вони були інваріантні від специфіки конкретних технологій та обладнання, щодо котрих здійснюються вимірювання. Тому у складі позначення будь-якого параметру канального рівню (якщо мова йде не про конкретну технологію транспортування протокольних блоків даних, а про параметр, що є характерним для будь-якої технології канального рівня) присутня аббревіатура *PDU*. Заміна сполучення літер „*PDU*” у позначеннях параметрів на сполучення літер, що ідентифікують конкретну технологію (наприклад, на „*FR*”), означає, що мова йде про параметр конкретної технології транспортування *PDU* (у даному прикладі про технологію *Frame Relay*).

Нижче розглянуто параметри (показники) канального рівня, що

використовуються у практиці експлуатаційних вимірювань параметрів будь-якого обладнання, що побудовано на основі використання тієї чи іншої технології каналного рівня.

7.2.1. Показники швидкості передавання PDU (PDUTS)

PDUTS (PDU transfer speed) – параметр, що характеризує швидкість передавання PDU через вимірювальну точку. Визначається як кількість подій проходження PDU через вибрану точку вимірювань (*measurement point, MP*), що зафіксовані на протязі вибраного проміжку часу. Враховуються усі PDU, що пройшли через MP: як коректно транспортовані, так і з помилками. В залежності від вибору величини інтервалу вимірювань розрізняють миттєву та середню швидкість передавання PDU. В залежності від рівня зобов'язань, що бере на себе сервіс-провайдер щодо надання транспортної послуги, розрізняють гарантовану (узгоджену) швидкість та швидкість, яка забезпечується при сервісі “з максимальними зусиллями”.

PDUTS – миттєва швидкість передавання PDU через вимірювальну точку. Визначається як кількість подій проходження PDU через вибрану MP, що зафіксовані на протязі мінімально припустимого для даної транспортної технології інтервалу вимірювань T_{min} . В багатьох випадках T_{min} вибирають на рівні 1с.

PDUTS_{max} - верхня припустима межа (тобто, припустиме максимальне значення) PDUTS. Цей показник для окремих транспортних технологій нормується.

PDUTS⁰ - усереднене на інтервалі сеансу вимірювань значення PDUTS. Тривалість сеансу вимірювань T_0 обумовлюється окремо у сервісних угодах (*service level agreement, SLA*) або вибирається, як правило, на рівні 1 години.

PDUTS_{max}⁰ - верхня припустима межа (тобто, припустиме максимальне значення) PDUTS⁰. Цей показник у більшості випадків нормується.

Примітка 7.4. Швидкість транспортування вимірюється також у байтах або у бітах за 1с.

7.2.2. Показники обсягу транспортованого трафіка на визначеному проміжку часу

B_c (**Committed Burst Size**) – узгоджений обсяг пульсації, тобто максимальна кількість бітів або байтів, яка буде гарантовано транспортуватися впродовж визначеного проміжку часу T .

B_e (**Excess Burst Size**) – додатковий обсяг пульсації, тобто максимальна кількість бітів або байтів, яка буде “з максимальними зусиллями” (але без конкретних гарантій) транспортуватися впродовж визначеного проміжку часу T .

7.2.3. Показники затримки передачі PDU ($PDUTD$)

$PDUTD$ (**PDU transfer delay**) – параметр, що характеризує затримку PDU під час його передавання через вимірювальну секцію між увідною та вивідною точками вимірювань.

Примітка 7.5. При організації вимірювань за шлейфовим методом увідна та вивідна MP розташовані на одному термінальному вузлі.

$PDUTD_0$ - усереднене на інтервалі сеансу вимірювань значення $PDUTD$. Визначається як середнє арифметичне усіх вимірних значень $PDUTD$ за виключенням 10% мінімальних та 10% максимальних значень цього показника в інтервалі даного сеансу вимірювань. Затримка визначається для всіх PDU, що пройшли через вимірювальну секцію: як коректно транспортованих, так і з помилками.

$PDUTD_{max}$ - верхня припустима межа (тобто, припустиме максимальне значення) $PDUTD_0$. Цей показник у більшості випадків нормується.

P ($PDUTD_{max}$) – ймовірність (частість) перевищення $PDUTD_{max}$. Визначається як відношення кількості подій перевищення значення $PDUTD_{max}$ до загальної кількості сеансів вимірювань величини $PDUTD_0$ на протязі однієї години.

P_{max} ($PDUTD_{max}$) - припустиме максимальне значення ймовірності перевищення $PDUTD_{max}$. Цей показник в багатьох випадках нормується.

7.2.4. Показники варіації затримки PDU ($PDUDV$)

$PDUDV$ (**PDU delay variation**) – параметр, що характеризує

відхилення у затримці PDU відносно $PDUTD_0$ під час його передавання через вимірювальну секцію між увідною та вивідною точками вимірювань. Так, якщо затримку k -го PDU в потоці позначити як $PDUTD_k$, то

$$PDUDV_k = /PDUTD_k - PDUTD_0 / . \quad (7.1)$$

$PDUDV_0$ - усереднене на інтервалі сеансу вимірювань значення $PDUDV$ (варіація затримки або джитер). Визначається як середнє арифметичне усіх вимірних значень $PDUDV_k$ за виключенням 10% мінімальних та 10% максимальних значень цього показника в інтервалі даного сеансу вимірювань. Варіація затримки визначається для всіх PDU , що пройшли через вимірювальну секцію: як коректно транспортованих, так і з помилками.

$PDUDV_{max}$ - верхня припустима межа $PDUDV_0$ (тобто, припустимий максимальний діапазон відхилення $PDUTD$ від $PDUTD_0$). Цей показник у більшості випадків нормується.

P ($PDUDV_{max}$) – ймовірність (частість) неперевищення $PDUDV_{max}$. Визначається як відсоток PDU від загальної кількості PDU , що пройшли через вимірювальну секцію у даному сеансі вимірювань, затримки котрих не перевищили $PDUDV_{max}$.

P_{min} ($PDUDV_{max}$) - припустиме мінімальне значення P ($PDUDV_{max}$). Цей показник в багатьох випадках нормується.

7.2.5. Показники втрат PDU під час їхнього транспортування ($PDULR$)

$PDULR$ (PDU loss ratio) – коефіцієнт втрат PDU . Параметр, що характеризує втрати PDU під час їхнього передавання через вимірювальну секцію між увідною та вивідною точками вимірювань. Визначається як відношення загальної кількості втрачених (у т.ч., відкинутих) PDU до загальної кількості переданих PDU на протязі одного сеансу вимірювань.

$PDULR_0$ - усереднене на сумарному інтервалі визначеної серії сеансів вимірювань значення $PDULR$.

Примітка 7.6. Кількість сеансів вимірювань, що складає визначену серію, має бути обгрунтована.

$PDULR_{max}$ - верхня припустима межа усередненого на сумарному інтервалі визначеної серії сеансів вимірювань значення $PDULR_0$ (тобто, припустиме максимальне значення $PDULR_0$ на сумарному інтервалі визначеної серії сеансів вимірювань). Цей показник в багатьох випадках нормується.

7.2.6. *Показники втрат блоків PDU під час їхнього транспортування (PDUSLBR)*

$PDUSLBR$ (PDU severe loss block ratio) - коефіцієнт втрат блоків PDU . Параметр, що характеризує втрати блоків PDU під час їхнього передавання через вимірювальну секцію між увідною та вивідною точками вимірювань. Визначається як відношення загальної кількості втрачених (у т.ч., відкинутих) блоків PDU до загальної кількості переданих блоків PDU на протязі однієї серії сеансів вимірювань.

Примітка 7.7. Серія сеансів вимірювань складається із сеансів тривалістю T_s . І якщо кількість втрачених PDU на проміжку T_s перевищить поріг $s1$, то всі PDU на цьому проміжку відкидаються, а цей блок PDU вважається втраченим.

$PDUSLBR_{max}$ - верхня припустима межа (максимально припустиме значення) $PDUSLBR$ (для визначених T_s та $s1$). Цей показник іноді нормується.

7.2.7. *Показники некоректного транспортування PDU (PDU ER)*

$PDUER$ (PDU error ratio) - коефіцієнт некоректно транспортованих PDU . Параметр, що характеризує кількість PDU , що були ушкоджені під час їхнього передавання через вимірювальну секцію між увідною та вивідною точками вимірювань. Під ушкодженням розуміється будь-яка невідповідність вмісту інформаційних полів PDU або результату підрахунку контрольних сум (який, як правило, фіксується у заголовках PDU). Визначається як відношення загальної кількості некоректно транспортованих PDU до загальної кількості переданих PDU на протязі одного сеансу вимірювань.

$PDUER_0$ - усереднене на сумарному інтервалі визначеної серії сеансів вимірювань значення $PDUER$.

$PDUER_{max}$ - верхня припустима межа $PDUER_0$ (тобто, максимально припустиме значення $PDUER_0$ на сумарному

інтервалі визначеної серії сеансів вимірювань). Цей показник в багатьох випадках нормується.

7.2.8. Показники швидкості утворення зайвих PDU (PDUSR)

PDUSR (PDU spurious rate) – швидкість утворення зайвих PDU. Параметр, що характеризує інтенсивність утворення зайвих (фальшивих) PDU. Визначається як відношення кількості зайвих PDU, що утворились на протязі одного сеансу вимірювань, до його тривалості.

$PDUSR_0$ - усереднене на сумарному інтервалі визначеної серії сеансів вимірювань значення PDUSR .

$PDUSR_{max}$ - верхня межа (максимально припустиме значення) $PDUSR_0$.

7.2.9. Показники завантаження обладнання

$K_{зав}$ – коефіцієнт завантаження обладнання (зокрема, каналу транспортування даних, комутатора, порту або будь-якого іншого мережного обладнання). Характеризує ступінь завантаження обладнання трафіком, який циркулює через це обладнання. Визначається як відношення швидкості передавання PDU , що реально просуваються через обладнання, завантаження котрого розглядається, до його пропускної здатності. В залежності від вибору величини інтервалу вимірювань PDUTS розрізняють миттєвий та середній коефіцієнт завантаження. Завантажене обладнання може функціонувати одночасно на кількох рівнях телекомунікаційних протоколів, тобто одночасно оброблювати PDU різних форматів. Тому коефіцієнт завантаження може визначатися на рівні фізичних сигналів, кадрів канального рівня або мережних пакетів.

Примітка 7.8. Під час обчислювань $K_{зав}$ необхідно слідкувати за однаковістю визначення даних щодо швидкості та пропускної здатності (у бітах або у байтах або у кількості PDU за секунду, з урахуванням або тільки даних споживачів або усіх полів визначеного формату PDU).

$K'_{зав}$ – миттєвий коефіцієнт завантаження обладнання. Визначається як відношення миттєвої швидкості передавання PDU (тобто, PDUTS') через вимірювальну точку (логічну або фізичну, яка вибирається, як правило, на ввіді або на виводі досліджуваного

обладнання) до пропускної здатності цього обладнання.

$K'_{завтах}$ – верхня припустима межа (тобто, припустиме максимальне значення) $K'_{зав}$. Цей показник для окремих транспортних технологій нормується.

$K'_{зав\theta}$ – усереднене на інтервалі сеансу вимірювань значення $K'_{зав}$. Тривалість сеансу вимірювань T_0 обумовлюється окремо у *SLA* або вибирається окремо для кожної телекомунікаційної технології відповідно до нижче наданих нормованих значень.

$K'_{зав\thetaтах}$ – верхня припустима межа (тобто, припустиме максимальне значення) $K'_{зав\theta}$. Цей показник у більшості випадків нормується.

7.2.10. Показники експлуатаційної надійності обладнання

Будуть розглянуті у подальшому на лекції №12.

7.3. Вимірювання параметрів каналного рівню обладнання пакетних мереж

Обладнання пакетних мереж передавання даних (МПД) використовується, як правило, на магістральних транспортних мережах і реалізується за специфікаціями технологій каналного рівню – таких як *Frame Relay*, *ATM*, *Optical Ethernet*, *X.25* тощо. Проте транспортні мережі можуть також бути реалізованими на мережному рівні засобами стеку протоколів *TCP/IP*.

Примітка 7.8. Обладнання *X.25* наразі знімається із експлуатації внаслідок його моральної застарілості.

Вимірювання параметрів каналного рівня здійснюють як для визначення стану працездатності обладнання, так і для оцінки якості його функціонування.

7.3.1. Структура середовища транспортування даних

На рис.7.7 відображена в узагальненому виді структура середовища транспортування протокольних блоків даних (*PDU*) каналами МПД через сукупність мережних доменів МД_і.

Домени відправників та отримувачів *PDU*, тобто ДВ та ДО, являють собою кінцеві (термінальні) вузли транспортної мережі, у складі обладнання котрих зазвичай містяться локальні комп'ютерні

мережі, сервери, шлюзи, окремі хости, а також термінальне обладнання (*TE*) абонентського доступу до крайових вузлів (*ER*) транспортної мережі.

Примітка 7.9. Під словом „домен” у цьому випадку розуміється область території, у межах котрої підтримується однакова технічна політика щодо забезпечення експлуатації ТЛК-обладнання.

Примітка 7.10. Під словом „хост” розуміється комп’ютер (робоча станція), що має *IP*-адресу.

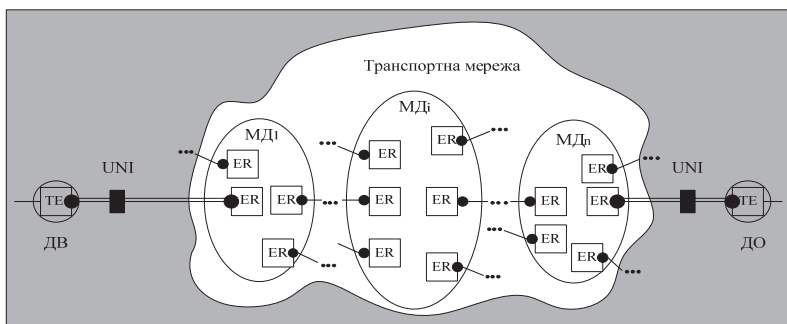


Рис.7.7. Структура середовища транспортування протокольних блоків даних (*PDU*) каналами МПД

Для споживачів мережних ресурсів поряд з послугами абонентського доступу інтерес представляють послуги наскрізного міжвузлового з’єднання типу “споживач – споживач” (*“user-to-user” connection*) та типу “точка – точка” (*“end-to-end” network connection*).

У разі надання послуги типу “споживач – споживач” оператор електрозв’язку бере на себе зобов’язання щодо забезпечення узгодженого із споживачем рівня якості обслуговування впродовж усієї ділянки транспортної мережі між термінальними вузлами споживача (тобто, зона відповідальності оператора охоплює також канали абонентського доступу, включаючи термінальне обладнання на обох кінцях з’єднання).

У разі надання послуги типу “точка - точка” сервіс-провайдер має забезпечувати узгоджену якість обслуговування тільки на ділянці, що розташована між крайовими вузлами транспортної мережі, а обладнання доступу до цих крайових вузлів знаходиться у зоні відповідальності споживача.

7.3.2. Базові схеми та точки вимірювань

Точка вимірювання (*MP, measurement point*) – це фізична та (або) логічна точка на структурній схемі організації вимірювань (зокрема, на структурній схемі з’єднань між елементами відповідного ТЛК-обладнання), стосовно котрої діють норми на показники параметрів, що визначають якість мережних ресурсів.

На каналному рівні взаємодії (згідно семирівневої моделі *OSI*) *MP* в залежності от конкретних умов функціонування обладнання може розглядатися або як фізична точка, доступ до котрої забезпечується за допомогою апаратних засобів, або як логічна точка, доступ до котрої забезпечується за допомогою програмних засобів хоста (*TE*), обладнання мережного закінчення (*DCE, NT* тощо) та (або) модулів лінійного закінчення (*LT*), що містяться у складі обладнання крайових вузлів транспортної мережі - крайових комутаторів або маршрутизаторів цієї мережі.

Базова схема вимірювань, що придатна для оцінювання параметрів каналного рівня між будь-якими двома кінцевими вузлами транспортної мережі, відображена на рис.7.8, де уся можлива сукупність проміжних мережних доменів та міждоменних каналів передачі (*network section ensemble, NSE*) на шляху просування протокольних блоків даних (*protocol data unit, PDU*) між цими вузлами моделюється однією вимірювальною мережною секцією (*NS₀*).

Примітка 7.11. У загальному випадку *PDU* між кожною парою кінцевих вузлів можуть транспортуватися в режимі без встановлення фізичних або логічних з’єднань. Шляхи проходження *PDU* в цьому випадку можуть бути різними.

Примітка 7.12. Нагадаємо, що під мережним доменом розуміють будь-який фрагмент мережі, у межах котрого здійснюється єдина політика експлуатації обладнання.

На рис. 7.8 відображено чотири пари точок вимірювань (*measurement point, MP*): $MP_1 - MP_4$. Кожна пара MP_i (у даному випадку індекс i ідентифікує місце розташування точок на вимірювальній схемі) відображає i -ту точку вимірювань параметрів увідного трафіку ($MP_{in\ i}$) та i -ту точку вимірювань параметрів вивідного трафіку ($MP_{egr\ i}$), тобто MP_i – це пара точок $MP_{in\ i}$ та $MP_{egr\ i}$.

Точки MP_{in} зазвичай називають увідними вимірювальними точками (*ingress measurement point, ingress MP*), а точки MP_{egr} – вивідними вимірювальними точками (*egress measurement point, egress MP*).

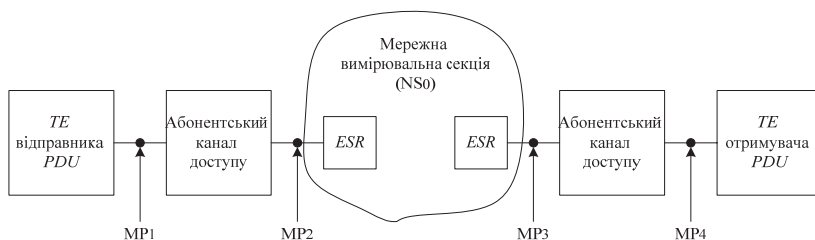


Рис.7.8. Базова вимірювальна схема для оцінювання параметрів наскрізного з'єднання між двома кінцевими вузлами транспортної, де MP_i - i -та пара точок вимірювань; *ESR* - крайовий комутатор/маршрутизатор (або маршрутизатор доступу); *TE* - термінальне обладнання.

Під час здійснення вимірювань на фізичному (та іноді на каналному) рівні (згідно моделі *OSI*) вимірювальні точки являють собою фізичні точки, що утворюються за допомогою апаратних інструментальних засобів. Під час здійснення вимірювань на каналному, мережному або більш високому рівні інформаційної взаємодії вимірювальні точки являють собою логічні точки, що утворюються за допомогою програмних інструментальних засобів. В процесі вимірювань каналних параметрів розглядається потік *PDU*, що проходить через визначену пару вимірювальних точок – увідну та вивідну, які вибираються на границях *NS* та каналів передавання даних.

В експлуатаційній практиці з метою спрощення процедур вимірювань використовують шлейфовий метод, згідно з яким шлях

проходження потоку *PDU* утворюється таким, щоб увідна та вивідна точки вимірювань були сумісними та могли оброблятися одним інструментальним засобом. Це дозволяє позбавитись проблеми синхронізації точок вимірювань. Зокрема, на практиці часто використовується шлейфова схема вимірювань, згідно якої здійснюється замикання точок $MP_{in\ i}$ та $MP_{egr\ i}$ на віддаленому кінці вимірювальної схеми. Як правило, таке замикання під час вимірювань на каналному, мережному та (або) сеансовому рівнях моделі *OSI* виконується штатними програмними засобами відповідного телекомунікаційного обладнання. Пояснення щодо шлейфового методу вимірювань раніш вже розглядались у матеріалі лекції №6 (див., зокрема, рис.6.15a).

У точках вимірювань (*measurement point, MP*) здійснюються спостереження за подіями і вимірюються певні характеристики цих подій, що пов'язані із проходженням *PDU* через ці точки. Згідно з рис.7.8 знайшли використання чотири пари точок вимірювань. Оцінювання параметрів наскрізного з'єднання типу "споживач – споживач" здійснюється шляхом синхронного зіставлення певних характеристик подій, що спостережуються у точках MP_1 , за умов здійснення замикання пари точок MP_4 . Оцінювання параметрів наскрізного з'єднання типу "точка - точка" здійснюється шляхом синхронного зіставлення певних характеристик подій, що спостережуються у точках MP_2 , за умов здійснення замикання пари точок MP_3 . Оцінювання якості транспортування *PDU* через канал абонентського доступу здійснюється аналогічним методом. Наприклад, під час оцінювання параметрів абонентського каналу доступу відправника *PDU* вимірюються характеристики подій у парі точок вимірювань MP_1 за умов замикання точок MP_2 . Або вимірюються характеристики подій у парі точок MP_2 за умов замикання точок MP_1 .

Базова схема вимірювань для оцінювання параметрів окремої проміжної *NS* (або *NSE*) транспортної мережі показана на рисунку 7.9.

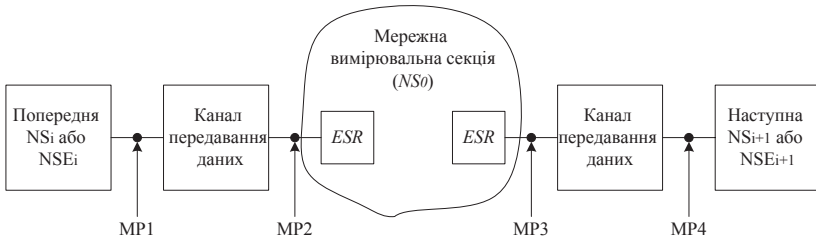


Рис.7.9. Базова вимірювальна схема для оцінювання параметрів проміжної мережної вимірювальної секції, де MP_i - i -та пара точок вимірювань; NS_i , NSE_i - i -та мережна секція (мережний домен або ансамбль мережних доменів); ESR - крайовий комутатор/маршрутизатор

Із рис. 7.9 видно, що базова схема вимірювань параметрів проміжної секції між будь-якими двома парами точок вимірювань принципово не відрізняється від схеми вимірювань параметрів наскрізних з'єднань.

Примітка 7.13. Такі вимірювання здійснюють з метою локалізації місць виникнення невідповідностей в роботі мережного обладнання, зокрема місць перенавантажень трафіком або місць виникнення завад в каналах зв'язку.

Базова схема вимірювань для оцінювання параметрів послуги абонентського доступу показана на рис.7.10.

Із рис. 7.10 видно, що базова схема вимірювань параметрів цієї послуги передбачає здійснення замикання між собою точок MP_2 та MP_3 , розташованих на вузлі доступу до ресурсів транспортної мережі, та організації вимірювань характеристик подій, що спостерігаються у синхронізованих між собою точках MP_1 та MP_4 на термінальному вузлі споживача.

Існує також можливість організації вимірювань на стороні оператора електрозв'язку (або сервіс-провайдера): в цьому випадку замикаються точки MP_1 та MP_4 , а події спостерігаються у точках MP_2 та MP_3 .

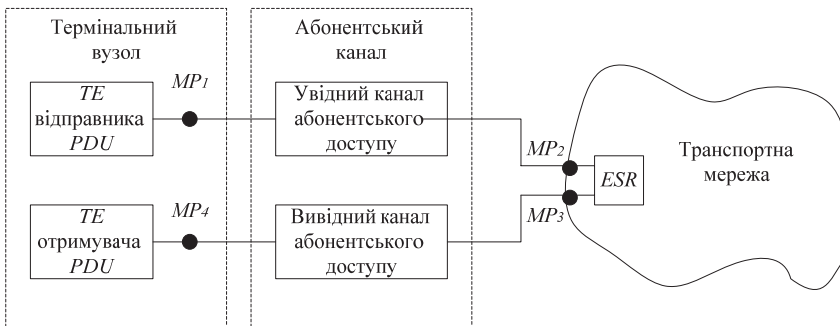


Рис.7.10. Базова схема вимірювань параметрів абонентського доступу, де ESR - крайовий комутатор/маршрутизатор (або маршрутизатор доступу); MP_i - i -та точка вимірювань

7.3.3. Кореспондовані події та їх характерні наслідки

Під час оцінювання характеристик процесу транспортування PDU за базовими вимірювальними схемами, що надані вище, використовується поняття “**визначальна подія щодо транспортування PDU** ” (надалі - визначальна подія). Така подія має місце, якщо виникає конкатенація (тобто, одночасна поява) наступних подій:

- 1) PDU перетинає MP , щодо якої організовано спостереження;
- 2) стандартна процедура верифікації контрольної суми у заголовку PDU (якщо це передбачено протоколом) функціонує коректно;
- 3) поля адрес відправника і отримувача у заголовку PDU є дійсними.

Зазвичай розрізняють чотири види визначальних подій:

- 1) подія виводу певним чином згенерованого тестового PDU із місцевого i -го вузлу (за ініціативою котрого здійснюються вимірювання), коли цей PDU , рухаючись в напрямку віддаленого $i+1$ -го вузла – отримувача тестової послідовності даних, вибраного у даному сеансі вимірювань, перетинає точку $MP_{egr\ i}$, що асоціюється із місцем з’єднання цього місцевого ініціюючого вузла із середовищем транспортування даних;

- 2) подія уводу тестового PDU у вибраний віддалений $i+1$ -й

вузол транспортної мережі, коли цей *PDU*, рухаючись від місцевого *i*-го вузла через середовище транспортування даних, перетинає точку $MP_{in\ i+1}$, що асоціюється із місцем з'єднання віддаленого *i+1*-го вузла із середовищем транспортування даних;

3) подія виводу ретрансльованого тестового *PDU* із віддаленого *i+1*-го вузла, коли цей *PDU*, рухаючись в напрямку місцевого *i*-го вузла – відправника тестових даних, перетинає точку $MP_{egr\ i+1}$, що розташована у місці з'єднання цього віддаленого *i+1*-го вузла із середовищем транспортування даних;

4) подія уводу тестового *PDU* у місцевий *i*-й вузол транспортної мережі, коли цей *PDU*, рухаючись від *i+1*-го віддаленого вузла через середовище транспортування даних, перетинає точку $MP_{in\ i}$, що асоціюється із місцем з'єднання місцевого ініціюючого вузлу із середовищем транспортування даних.

Аналогічних чотири види визначальних подій слід розглядати і під час оцінювання параметрів будь-яких проміжних мережних секцій або ансамблів мережних секцій, параметрів наскрізних з'єднань та параметрів послуг некомутованого доступу.

В процесі оцінювання якості надання транспортної послуги, як правило, розглядають так звані **кореспондовані (пов'язані) визначальні події (*corresponding events*)**.

Будь-яку подію виводу *PDU*, що спостерігається у певним чином вибраній одній вимірювальній точці, називають кореспондованою з подією уводу *PDU*, що спостерігається в іншій вимірювальній точці, якщо обидві ці події “створив” один і той же протокольний блок даних під час проходження через визначену вимірювальну секцію. Цей *PDU* також називається кореспондованим.

Кореспондовані визначальні події (надалі - кореспондовані події) є наслідком синхронного розгляду процесу проходження *PDU* через дві різні вимірювальні точки. При цьому є важливим визначення проміжку часу T_{max} , впродовж котрого процес проходження *PDU* повинен розглядатися в рамках кожної спроби визначення факту кореспондованості очікуваних подій. За звичайних умов T_{max} – це максимально припустима затримка *PDU* на визначеній ділянці мережі. Якщо реальний час затримки *PDU* τ перевищує T_{max} , то такий *PDU* вважається втраченим (загубленим).

Інтервал вимірювань в процесі поточного контролю відповідності $T_{\text{вим}}$ має бути більшим за інтервал визначення кореспондованості між парою визначальних подій T_{max} , оскільки потрібен певний час на аналіз наслідків такого визначення.

7.3.4. Характерні наслідки вияву визначальних подій

У процесі оцінювання каналних параметрів важливо не тільки виявити усі визначальні події, що відображають процес транспортування *PDU* через визначені вимірювальні точки на певних проміжках часу, і не тільки факти їхньої можливої кореспондованості. Необхідно також в кінці кожного елементарного тесту на виявлення кореспондованих подій, який запускається на виконання кожний раз в момент, коли черговий *PDU* перетинає увідну *MP*, на вивідній *MP* після виявлення кореспондованої події (якщо такий факт мав місце) виміряти певні характеристики (або виявити певні ознаки) прояву цієї події. І, потім, на основі отриманих значень вимірних характеристик (або виявлених ознак) визначити один із нижченаведених можливих наслідків просування *PDU* на шляху між двома вимірювальними точками. *PDU*, який перетинає контрольовану вивідну *MP*, може бути або успішно транспортований, або спотворений помилками, або втрачений (загублений), або фальшивий (зайвий).

З урахуванням вищезазначеного та пояснювальних схем, які відображені на рис.7.11, характерні наслідки проходження кожного *PDU* через вимірювальну схему фіксуються наступним чином.

1) *PDU* вважається успішно переданим у разі вияву конкатенації наступних умов:

а) усі вивідні *MP*, на котрих виявлені кореспондовані визначальні події на протязі заданого проміжку часу $t \leq T_{\text{max}}$, є дозволеними;

б) усі поля формату *PDU*, який перетнув дозволена увідну *MP*, включені у відповідні поля кореспондованого *PDU* (або кореспондованих фрагментів *PDU*), що перетнув (перетнули) вивідну *MP*;

в) вміст поля даних отриманого *PDU* (або сукупності отриманих фрагментів) співпадає із вмістом цього поля, що входить до складу кореспондованого переданого *PDU*;

2) *PDU* вважається спотворений помилками (тобто, прийнятим з помилками) у разі вияву конкатенації наступних умов:

а) усі вивідні *MP*, на котрих виявлені кореспондовані визначальні події на протязі заданого проміжку часу $t \leq T_{max}$, є дозволеними;

б) усі поля формату *PDU*, який перетнув дозволена увідну *MP*, включені у відповідні поля кореспондованого *PDU* (або кореспондованих фрагментів *PDU*), що перетнув (перетнули) вивідну *MP*;

в) вміст поля даних отриманого *PDU* (або сукупності отриманих фрагментів *PDU*) не співпадає із вмістом цього поля, що входить до складу кореспондованого з ним переданого *PDU* та (або) дані у заголовку отриманого *PDU* пакета (або заголовках отриманих фрагментів *PDU*) не є коректними.

3) *PDU* вважається втраченим у разі вияву диз'юнкції наступних умов:

а) усі поля формату *PDU*, який перетнув дозволена увідну *MP*, включені у відповідні поля кореспондованого з ним *PDU* (або кореспондованих фрагментів *PDU*), що перетнув (перетнули) вивідну *MP*, але мали місце кореспондовані події у недозволенних вивідних *MP*, тобто відбулася некоректна маршрутизація *PDU*;

б) одне або кілька полів формату *PDU*, який перетнув дозволена увідну *MP*, відсутні у кореспондованого з ним *PDU* (або кореспондованих фрагментів *PDU*), що перетнув (перетнули) вивідну *MP*, тобто відбулося знищення *PDU* або його частини на шляху між двома *MP*.

4) *PDU* вважається фальшивим, якщо виявлена подія виводу цього *PDU*, для котрої на протязі заданого проміжку часу $t \leq T_{max}$ не знайшлося кореспондованої з нею події уводу *PDU*.

У зв'язку з наданими вище визначеннями характерних наслідків проходження *PDU* через вимірювальну секцію слід підкреслити, що ці визначення базуються на спостереженнях визначальних подій у певним чином вибраних вимірювальних точках. Шляхом відповідного вибору цих точок досягається можливість оцінювання параметрів якості обслуговування щодо будь-якого каналу абонентського доступу, наскрізного з'єднання або ділянки такого з'єднання, зокрема каналу передачі даних, *NS* або *NSE*.

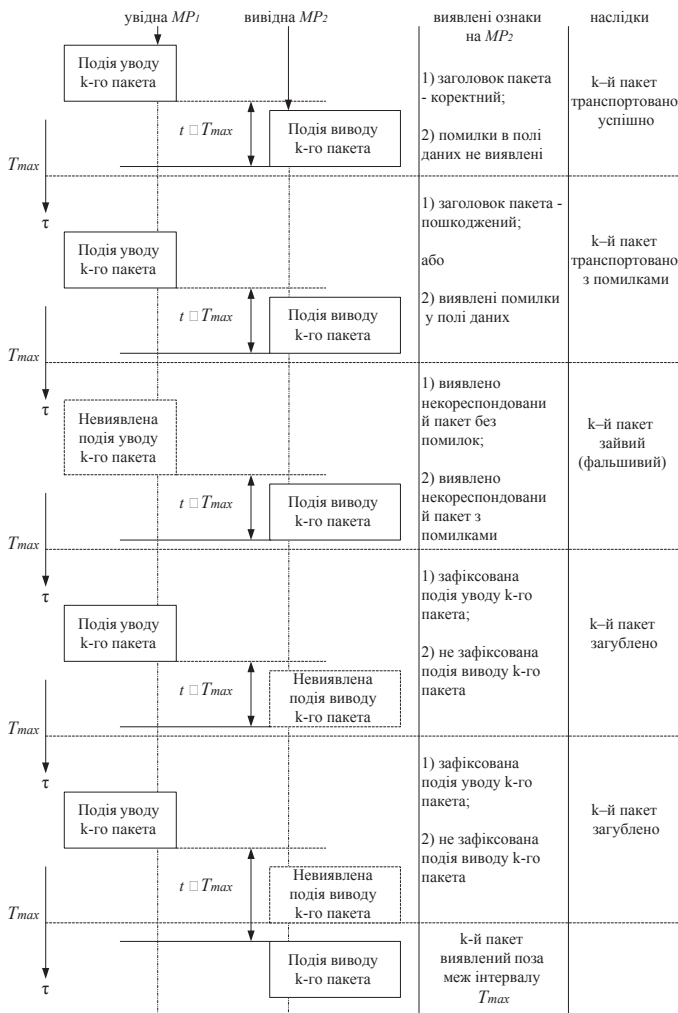


Рис.7.11. Характерні наслідки вияву визначальної події під час передавання даних

Примітка 7.14. Певна частина *PDU* з помилками у заголовках, що не виявлені механізмом підрахунку контрольної суми, далі в процесі обробки будуть знищені або переспрямовані за допомогою інших процедур. В таких ситуаціях події уводу *PDU* у вимірювану секцію з помилковими заголовками не будуть створювати кореспондовані з ними події виводу *PDU* із цієї секції, тобто такі *PDU* будуть вважатися втраченими. Інша частина *PDU* з помилками у заголовках, що не була

знищена або переспрямована, буде вважатися прийнятою з помилками.

У наданих визначеннях враховується можливість фрагментації *PDU*, коли наслідком події уводу *PDU* у вимірювальну секцію є не одна, а кілька подій виводу фрагментів цього *PDU*. При цьому, якщо будь-який фрагмент виявиться втраченим, то вважається втраченим весь *PDU*. Якщо втрат фрагментів не виявлено, але виявлені помилки хоча б в одному фрагменті, то весь *PDU* вважається помилковим. Тільки тоді *PDU* вважається успішно переданим, коли усі фрагменти цього *PDU* були успішно просунуті через дозволені точки виводу.

Примітка 7.15. Характерним наслідком вияву певної сукупності визначальних подій є втрата блоку *PDU* (*PDU severe loss block outcome*). Фіксується втрата блоку *PDU* у тому випадку, коли на протязі інтервалу спостереження T_s відношення кількості подій виводу кореспондованих *PDU* у дозволених точках виводу до загальної кількості подій уводу *PDU* через дозволена точку уводу перевищує порогове значення $s1$.

7.4. Вимірювання параметрів функціональності послуг

Оскільки множину параметрів функціональності транспортних послуг складають параметри швидкості передавання *PDU* та параметри обсягу трафіка, що транспортується впродовж визначеного проміжку часу, то основний метод оцінювання цих параметрів базується на підрахунку кількості *PDU*, що перетинають вибрану *MP* на протязі визначеного проміжку часу. Точка та інтервал вимірювання, а також ознаки сукупності *PDU*, що мають бути враховані, вибираються виходячи із цілей вимірювань і визначаються далі стосовно кожної транспортної технології, яка використовується оператором електрозв'язку.

7.5. Вимірювання параметрів якості передавання протокольних блоків даних

Загальним способом оцінювання поточних значень параметрів якості передавання блоків даних є проведення їх періодичних вимірювань через фіксовані інтервали часу. Як правило, здійснюються прямі вимірювання характеристик тестового трафіку. Елементарний акт вимірювання виконується відносно *PDU*, що перетинає увідну вимірювальну точку (*ingress*

measurement point, ingress MP), і полягає у виявленні можливої кореспондованої події у вивідній вимірювальній точці (*egress measurement point, egress MP*) та фіксації наслідків цієї події (наприклад, втрата *PDU*, затримка та величина затримки, помилка в полі даних і т. ін.). Процес вимірювань полягає у здійсненні серії послідовних елементарних актів вимірювання. В результаті отримують дані, що використовуються як похідні в процедурах оцінювання значень вимірювальних параметрів.

У більшості випадків використовується шлейфова схема організації вимірювань (як через локальний, так і через віддалений шлейф), тобто вивідні порти вимірювальної секції одного напрямку передавання *PDU* фізично або логічно замикаються на увідні порти цієї секції із зворотного напрямку передавання так, щоби забезпечувалась можливість обробки подій, що виникають на увідній та вивідній вимірювальних точках, єдиним локально розташованим інструментальним засобом вимірювань.

Вимірювання виконуються в режимі тестування. Структура тестового потоку *PDU* відображена на рис.7.12. Процес вимірювань полягає у надсиланні на вивідну *MP* певним чином визначеної сукупності (групи) тестових *PDU*, котрі, проходячи через вимірювальну секцію в одному напрямку, через вибрані точки перемикавання напрямків на віддаленому кінці вимірювальної секції і далі через вимірювальну секцію у зворотному напрямку, мають спостерігатися на увідній *MP*, що має бути розташована на тому ж вузлі мережі, де розташована вивідна *MP*.

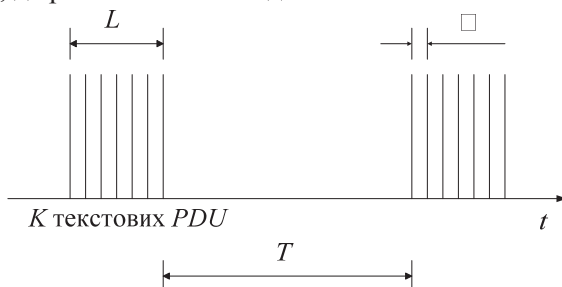


Рис.7.12. Ілюстрація структури тестового потоку *PDU* при організації вимірювань параметрів каналного рівня

Увідні та вивідні *PDU* генеруються і оброблюються єдиним

вимірювальним засобом. Одна група складається із N тестових PDU , котрі передаються із інтервалом τ . Генерація однієї групи тестових PDU триває L одиниць часу, де $L = N \times \tau$. Групи PDU генеруються з періодом T . Більшість показників параметрів транспортних послуг вимірюється на інтервалі T . Тому цей інтервал називають сеансом вимірювань. Деякі показники не можуть бути оцінені на протязі одного сеансу вимірювань. Для оцінювання таких показників здійснюється серія сеансів вимірювань. Тривалість однієї серії сеансів вимірювань позначається як T_0 . Розмір (довжина) будь-якого тестового PDU в процесі одного сеансу вимірювань не змінюється і дорівнює ν байт. У цьому разі кількість груп PDU , що враховується на протязі однієї серії сеансів вимірювань N_0 , обчислюється за формулою: $N_0 = T_0 \setminus T$.

Значення ν , τ , N , T та T_0 нормуються у розрізі кожної телекомунікаційної технології, що мають застосування на практиці. Для більшості телекомунікаційних технологій дані, що є необхідними для обчислення цих параметрів, накопичуються у базах *MIB* контрольованого обладнання за допомогою механізмів протоколу *SNMP*.

У процесі вимірювань необхідно дотримуватись наступних вимог:

1) Вимірювання повинні за ідентичних умов проведення вимірювань давати однакові результати, тобто забезпечувати відтворюваність результатів вимірювань.

2) Для незначних змін умов проведення вимірювань повинні спостерігатись незначні відхилення результатів вимірювань.

3) Необхідно на кількісному рівні оцінювати можливі похибки вимірювань. На основі аналізу похибок мають бути сформульовані вимоги до інструментальних засобів та умов проведення вимірювань, дотримання яких дозволить знизити похибки або тримати їх у припустимих межах.

4) Якщо розмір ν тестових PDU не регламентується, то з метою зменшення часу їхньої обробки величина ν має бути якнайменшою.

5) Інтервал $L = N \cdot \tau$, що визначає час передавання будь-якої однієї групи тестових PDU через вимірювальну секцію, повинен бути таким, щоб імовірність зміни маршруту їхнього проходження

між вимірювальними точками була достатньо малою.

6) Якщо інтервал τ між тестовими *PDU* у групі вибрано занадто малим, то *PDU* будуть надсилатись у мережу занадто швидко, що може викликати їхню буферизацію у вихідних чергах портів мережного обладнання. Для уникнення буферизації тестових *PDU* під час вимірювань необхідно визначити мінімально припустиме значення часу τ , при якому тестові *PDU* не впливають один на одного.

7) Для найбільш повного визначення характеру змін значень вимірюваних параметрів у реальному часі інтервал T між сусідніми групами тестових *PDU*, що просуваються через вивідну *MP*, повинен бути достатньо малим. З іншого боку, з метою зменшення похибок вимірювання через вплив тестового трафіку на поточну завантаженість мережних ресурсів значення інтервалу T доцільно збільшувати. Тому оптимальне значення T на практиці визначається емпіричним шляхом з урахуванням конкретних цілей та умов проведення вимірювань.

8) Часто оцінки значень вимірюваних параметрів залежать не тільки від розмірів, але і від типу *PDU*, які були використані в процесі вимірювань. Тому, визначаючи певний параметр або вказуючи його конкретне значення, завжди слід зазначати, *PDU* якого типу використовувались у процесі вимірювань.

9) Характеристики апаратних засобів та програмного забезпечення (ПЗ) вузлів мережі, які задіяні у процесі вимірювань, можуть впливати на результати вимірювань. Особливо це стосується випадків, коли реєстрація часу настання мережних подій здійснюється засобами прикладного ПЗ вузла мережі, а не засобами операційної системи. Тому у випадку, коли необхідно вимірювати параметри затримок *PDU* у каналах зв'язку між вузлами мережі, доцільно розглянути можливість використання замість штатних засобів вузла мережі в якості вимірювального обладнання спеціалізованих інструментальних засобів, наприклад, аналізатора протоколів.

Метод, умови, точки та порядок вимірювань коефіцієнтів завантаження обладнання $K'_{зав}$ та $K'_{зав0}$ мають відповідати визначеним для випадку вимірювань показників швидкості передавання *PDU*.

Умови та порядок контролю показників надійності будуть розглянуті у подальшому на лекції №12.

Контрольні питання до сьомої лекції

1. Наведіть та поясніть узагальнену схему вимірювань параметрів каналного рівню.

2. У чому полягають переваги шлейфового методу організації вимірювань?

3. Наведіть та поясніть схему організації локального шлейфу на *DTE*.

4. Наведіть та поясніть схему утворення локального шлейфу на *DCE* (з боку свого *DTE*).

5. Наведіть та поясніть схему утворення локального шлейфу на *DCE* (з боку транспортної мережі).

6. Наведіть та поясніть схему утворення віддаленого шлейфу для аналізу параметрів каналу передавання між локальним та віддаленим *DCE*.

7. Наведіть та поясніть схему утворення віддаленого шлейфу для вимірювань параметрів обладнання усього цифрового каналу.

8. Назвіть та надайте визначення показникам швидкості передавання *PDU*.

9. Назвіть та надайте визначення показникам обсягу транспортованого трафіка на визначеному проміжку часу.

10. Назвіть та надайте визначення показникам затримки передачі *PDU*.

11. Назвіть та надайте визначення показникам варіації затримки *PDU*.

12. Назвіть та надайте визначення показникам втрат *PDU* під час їхнього транспортування.

13. Назвіть та надайте визначення показникам некоректного транспортування *PDU*.

14. Назвіть та надайте визначення показникам швидкості утворення зайвих *PDU*.

15. Надайте визначення коефіцієнту завантаження обладнання.

16. Назвіть та надайте визначення показникам експлуатаційної надійності обладнання.

17. Відобразіть в узагальненому виді структуру середовища

транспортування протокольних блоків даних (*PDU*) каналами МПД.

18. Що таке точка вимірювання (MP, measurement point)?

19. Відобразіть та поясніть базову схему вимірювань, що придатна для оцінювання параметрів канального рівня між будь-якими двома кінцевими вузлами транспортної мережі.

20. Відобразіть та поясніть базову схему вимірювань для оцінювання параметрів окремої проміжної *NS* (або *NSE*) транспортної мережі.

21. Відобразіть та поясніть базову схему вимірювань для оцінювання параметрів послуги абонентського доступу.

22. Надайте визначення кореспондованим подіям та їх характерним наслідкам.

23. У чому сутність методів вимірювань параметрів функціональності послуг?

24. Яким чином реалізуються методи вимірювань параметрів якості передавання протокольних блоків даних?

25. Яких вимог необхідно дотримуватись у процесі вимірювань?

Література до сьомої лекції

1) В.Г. Оліфер, Н. А.Оліфер. Комп'ютерні мережі. Принципи, технології, протоколи: Посібник для вузів. Друге видання – СПб.: Питер, 2003. Розділ 21, стор. 816 – 828.

2) І.Г. Бакланов. Технології вимірювань у сучасних телекомунікаціях. –М.: ЕКО-ТРЕНДЗ, 1998. Розділ 10.3.

3) І.Г. Бакланов. Технології вимірювань первинної мережі. Частина друга. –М.: ЕКО-ТРЕНДЗ, 2000. Розділ 4.

4) І.Г. Бакланов. Методи вимірювань у системах зв'язку.. –М.: ЕКО-ТРЕНДЗ, 1999. Розділи 4 та 6.

САМОСТІЙНЕ ЗАНЯТТЯ ЗА МАТЕРІАЛАМИ ЛЕКЦІЇ №7 ВИМІРЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ОБЛАДНАННЯ FRAME RELAY та xDSL

Норми на параметри каналного рівню не можуть бути визначені безвідносно до конкретних характеристик застосованих телекомунікаційних технологій та умов їхнього використання. Тому нижче, як приклад, розглядаються технології вимірювання параметрів та норми на ці параметри у розрізі популярних технологій каналного рівня - технології *Frame Relay* та технології *xDSL*.

7.6. Вимірювання параметрів обладнання систем передавання фреймів на транспортній мережі *Frame Relay*

Обладнання систем передавання фреймів за технологією *Frame Relay* (надалі скорочено - *FR*) використовується як для транспортування фреймів *FR* каналами глобальної транспортної мережі, так і для організації абонентського доступу до транспортної мережі. У цьому підрозділі мова йде лише про транспортну мережу *FR*. Технологія вимірювань параметрів абонентського доступу, що здійснюється з використанням обладнання *FR*, розглядається у наступному підрозділі.

7.6.1. Схеми організації вимірювань

Послуга із транспортування фреймів *FR*-каналами транспортної мережі надається оператором *FR*-мережі у двох модифікаціях: для наскрізних з'єднань типу “точка – точка” (коли обладнання абонентського *FR*-доступу знаходиться у зоні відповідальності оператора електрозв'язку або сервіс-провайдера) та для наскрізних з'єднань типу “споживач – споживач” (коли обладнання абонентського *FR*-доступу знаходиться у зоні відповідальності споживачів).

Для організації вимірювань зазвичай використовується шлейфова схема як при з'єднаннях типу “точка – точка” (така схема показана на рис.7.13), так і при з'єднаннях типу “споживач – споживач”.

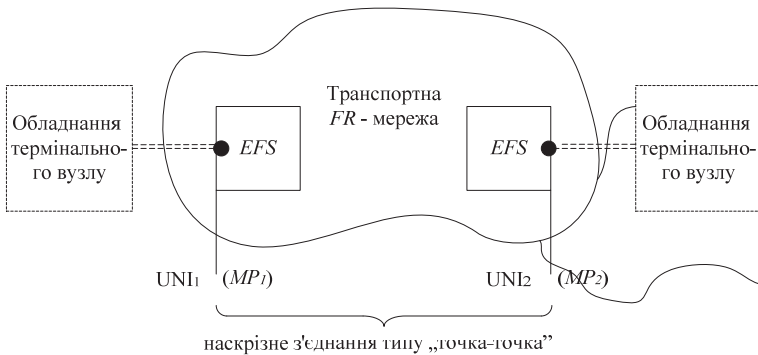


Рис. 7.13. Схема організації вимірювань параметрів обладнання *FR* при наскрізному з'єднанні типу “точка – точка”

На рис.7.14 показана схема організації вимірювань параметрів обладнання *FR* при наскрізному з'єднанні типу „користувач – користувач”. Як бачимо, за цією схемою у ланцюг вимірювань включені також канали абонентського доступу користувачів через пристрій *FRAD* (*Frame Relay Access Device*) до найближчого крайового комутатора *EFS* (*Edge FR-Switch*) транспортної *FR*-мережі.

7.6.2. Вимірювані параметри

1) **Параметри функціональності послуг із транспортування фреймів - *AR*, *CIR*, *EIR*, *Bc*, *Be* та *T*.**

***AR* (*Access Rate*)** - швидкість доступу до транспортної мережі. *AR* – це максимальна швидкість передавання даних, яку забезпечує фізичний канал абонентського доступу до транспортної мережі (тобто, *AR* – це пропускна спроможність каналу доступу). Вимірюється, як правило, у кількості транспортованих через канал байтів на протязі 1 секунди.

Гарантовану верхню межу швидкості передавання протокольних блоків даних (у даному випадку, фреймів) ***PDUTS*** при наданні послуг на основі використання обладнання *FR* називають ***CIR***.

***CIR* (*Committed Information Rate*)** – це узгоджена (інші назви - середня, обов'язкова) швидкість передавання даних споживача, що вимірюється у кількості переданих байтів на протязі обумовленого

інтервалу визначення CIR , яку мережний оператор зобов'язався гарантовано підтримувати. Тривалість сеансу вимірювань T (тобто, інтервал визначення CIR) обумовлюється окремо у сервісній угоді SLA між користувачем та оператором або вибирається так, щоб на протязі одного сеансу вимірювань була передана одна група із N фреймів (див. рис.7.12).

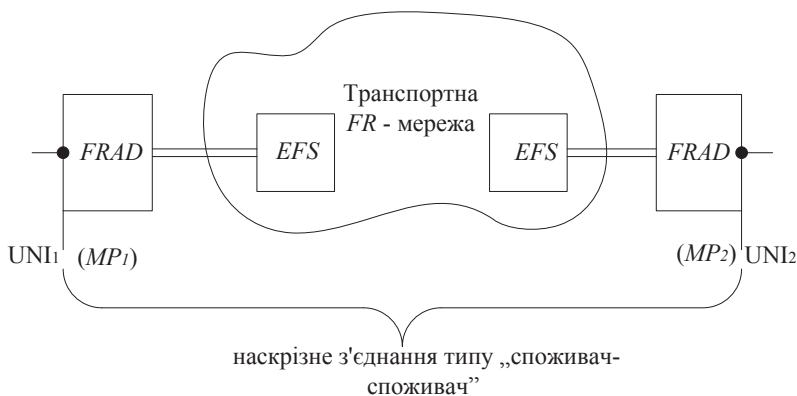


Рис. 7.14. Схема організації вимірювань параметрів обладнання FR при наскрізному з'єднанні типу “споживач - споживач”

Припустимо верхню межу швидкості $PDUTS'$ при наданні послуг “з максимальними зусиллями” на основі використання обладнання FR називають EIR .

EIR (Excess Information Rate) – додаткова (до CIR) швидкість передавання даних споживача, що вимірюється у кількості переданих байтів на протязі обумовленого інтервалу визначення CIR , яку мережний оператор зобов'язався підтримувати “з максимальними зусиллями”. Тривалість сеансу вимірювань T (тобто, інтервал визначення EIR) вибирається такою ж, як і при визначенні CIR .

2) Параметри якості транспортування фреймів QoS та NP

Із всієї множини параметрів каналного рівня, що розглядалися на лекції №7, зробимо уточнені визначення декількох із них. Саме тіх, що визначають специфіку використання FR -обладнання на вітчизняних МПД. Це не означає, що тільки ці параметри

вимірюються та нормуються в експлуатаційній практиці, коли мова йде про *FR*-обладнання. Деякі інші параметри, як це буде нижче показано, теж вимірюються і нормуються. Однак технологія їхнього вимірювання не має особливостей щодо того, що було розглянуто на лекції №7.

Звернемо увагу, що мнемонічні позначення нижченаведених параметрів отримано шляхом заміни у позначеннях каналних параметрів, що розглядалися на лекції №6, буквосполучення “*PDU*” на “*FR*”, оскільки у даному випадку в якості *PDU* використовуються фрейми *FR*.

Крім того, підкреслимо, що множина параметрів якості транспортування фреймів для з’єднань типу “споживач – споживач” та “точка – точка” вибрана однаковою.

Таким чином, щодо трафіка *FR* прийняті нижченаведені уточнені визначення параметрів.

Характеристики втрат фреймів

$FRLR_{max(CIR)}$ – максимально припустиме значення коефіцієнту втрат фреймів, що відправлені із додержанням заданих значень *CIR* (тобто, за умов, коли у полі формату фрейма ознака $DE=0$). Визначається як відношення загальної кількості втрачених фреймів потоку *CIR* на протязі однієї серії сеансів вимірювань до загальної кількості переданих фреймів цього потоку.

$FRLR_{max(EIR)}$ - максимально припустиме значення коефіцієнту втрат фреймів, що відправлені із ознакою $DE=1$. Визначається як відношення загальної кількості втрачених фреймів додаткового потоку *EIR* на протязі однієї серії сеансів вимірювань до загальної кількості переданих фреймів цього потоку.

Характеристики навантаження *FR*- обладнання

$K'_{зав0max(IP)}$ – верхня межа середнього коефіцієнту навантаження обладнання *IP* (для випадків, коли *FR*-мережа виконує функції транспортування пакетів *IP*).

$K'_{зав0max(FR)}$ - верхня межа середнього коефіцієнту навантаження обладнання *FR*.

Характеристики затримки фреймів

$FRTD_{max(CIR)}$ - максимально припустиме значення затримки фреймів $FRTD_0$, усередненої на інтервалі сеансу вимірювань значення $FRTD$ щодо потоку *CIR*, тобто потоку фреймів, що

відправлені із додержанням заданих значень CIR (за умов, коли ознака $DE=0$). Визначається як середнє арифметичне усіх вимірюваних значень $FRTD$ за виключенням 10% мінімальних та 10% максимальних значень цього показника в інтервалі даного сеансу вимірювань.

$FRTD_{max(EIR)}$ - максимально припустиме значення затримки фреймів $FRTD_0$, усередненої на інтервалі сеансу вимірювань значення $FRTD$ щодо потоку EIR , тобто потоку фреймів, що відправлені із додержанням заданих значень EIR (за умов, коли ознака $DE=1$). Визначається як середнє арифметичне усіх вимірюваних значень $FRTD$ за виключенням 10% мінімальних та 10% максимальних значень цього показника в інтервалі даного сеансу вимірювань.

Характеристики некоректного транспортування фреймів (FRER)

$FRER_{max}$ – максимально припустиме значення кількості прийнятих фреймів із виявленими помилками на сумарному інтервалі визначеної серії сеансів вимірювань. Цей показник фактично являє собою параметр $BLER$ або $CRC\ ERR$ (в залежності від того, яким чином виявляються помилки), якщо під блоком бітів розуміти фрейм.

7.6.3. Нормативи на параметри наскрізних FR-з'єднань

Рекомендовані нормативні значення параметрів якості транспортування потоків фреймів каналами транспортної FR -мережі для наскрізних з'єднань типу “точка - точка” надано у табл. 7.1.

Таблиця 7.1

Норми на параметри якості транспортування потоків фреймів каналами транспортної мережі для наскрізних з'єднань типу “точка – точка”

Вимірювані параметри	Характеристика параметра	Нормативне значення
$FRTD_{max(CIR)}$	Верхня межа щодо затримки фреймів з ознакою $DE=0$ (тобто, для потоку CIR), мс	80

$P_{max}(FRTD_{max})$	Поріг ймовірності перевищення $FRTD_{max}$ для потоку CIR , безрозмірний	1×10^{-2}
$FR LR_{max}(CIR)$	Верхня межа втрат фреймів потоку CIR , безрозмірна	1×10^{-3}
$FRER_{max}$	Верхня межа помилкових фреймів, безрозмірна	1×10^{-4}
Kz_{min}	Нижня межа коефіцієнту готовності обладнання FR	0,996
$MTTR_{max}$	Верхня межа середнього часу відновлення працездатності обладнання FR , хвилин	300

Аналізуючи наведені у табл. 7.1 нормативні значення параметрів, слід зазначити, що вони стосуються лише PVC-з'єднань і визначені, виходячи з умови необхідності забезпечення якості транспортування пакетів магістральною транспортною IP-мережею, що накладена на мережу FR . У свою чергу, якість передавання пакетів IP визначається нормами, які будуть розглянуті далі на лекції №8.

Щодо норми на параметр $FRER_{max}$ слід мати на увазі наступне. Як правило, на практиці вимірювання усередненого значення блокової помилки $FRER_0$ в процесі поточного контролю відповідності не здійснюється. Однак в процесі пошуку вирішення проблем невідповідності необхідно упевнитися, що поточні значення цього параметру не перевищують норми (тобто, нормативного значення $FRER_{max}$) на усіх вузлах (проміжних та крайових) впродовж PVC-з'єднання. Дані, що є необхідними для обчислення поточних значень цього параметра, фіксуються на основі спостереження за параметром FCS та накопичуються у базах MIB за допомогою механізмів протоколу $SNMP$.

Рекомендовані нормативні значення параметрів якості транспортування потоків фреймів каналами транспортної FR -мережі для наскрізних з'єднань типу "споживач – споживач" надано у табл. 7.2.

Таблиця 7.2

Норми на параметри якості транспортування потоків фреймів для наскрізних з'єднань типу “споживач – споживач”

Вимірювані параметри	Характеристика параметра	Клас 0	Клас 1
$FRTD_{max}(CIR)$	Верхня межа щодо затримки фреймів з ознакою $DE=0$ (тобто, для потоку CIR), мс	100	400
$P_{max}(FRTD_{max})$	Поріг ймовірності перевищення $FRTD_{max}$ для потоку CIR , безрозмірний	1×10^{-2}	1×10^{-2}
$FR LR_{max}(CIR)$	Верхня межа втрат фреймів потоку CIR , безрозмірна	1×10^{-3}	1×10^{-3}
$FRER_{max}$	Верхня межа помилкових фреймів, безрозмірна	1×10^{-4}	1×10^{-4}
Kz_{min}	Нижня межа коефіцієнту готовності обладнання FR , безрозмірна	0,996	0,996
$MTTR_{max}$	Верхня межа середнього часу відновлення працездатності обладнання FR , хвилини	300	300

У табл.7.2 норми надані у розрізі двох класів обслуговування. Визначення цих класів обслуговування прийнято із міркувань, що сервіси каналного рівня мають забезпечувати узгоджену роботу із сервісами мережного рівня з тим, щоб задана якість обслуговування у транспортній мережі підтримувалась “із кінця в кінець”.

Нормативні значення параметрів FR -обладнання, що надані у табл. 7.2, визначені, виходячи з умови необхідності забезпечення якості транспортування пакетів магістральною транспортною IP -мережею, що побудована на базі мережі FR , відповідно до норм на обладнання IP . Для обладнання IP , як це буде розглянуто далі на лекції №8, існує п'ять класів обслуговування. Однак норми на FR -обладнання надані лише для перших двох класів обслуговування (тобто, для класу 0 та класу 1), оскільки гарантії надаються лише для потоків CIR .

Наведені у табл.7.2 нормативні значення параметрів якості

транспортування фреймів стосуються лише PVC- з'єднань.

7.6.4. Умови, точки та порядок вимірювань параметрів наскрізних FR-з'єднань

В процесі оцінювання параметрів якості транспортування фреймів необхідно дотримуватись загальних вимог щодо організації вимірювань, що були викладені на лекції №5. Крім того, під час вимірювань поточні значення параметру помилок $FRER_0$ будь-якого із пакетних комутаторів транспортної мережі, що утворюють оцінюване PVC-з'єднання, мають бути не більшими за $FRER_{max}$.

Якщо на FR-мережу накладена IP-мережа, то порядок вимірювань зазвичай полягає у наступному. Спочатку контролюється якість транспортування пакетів IP (а не фреймів, котрі переносять ці пакети), тобто з обох кінців контрольованого з'єднання підключаються хости і встановлюється режим періодичного тестування послідовностями ICMP-пакетів через фіксовані інтервали часу. Здійснюються активні вимірювання шляхом “пінгування” тестовими IP-пакетами через контрольоване PVC-з'єднання у прямому і зворотному напрямках передавання тестових даних.

Параметри процесу тестування (тобто, структура тестового потоку ICMP-пакетів) розглядається далі на лекції №8 (підрозділ 8.1.4).

В процесі вимірювань мають виконуватися такі дві умови:

1) в кожен один тестовий фрейм необхідно упаковувати лише один IP-пакет;

2) уся тестова послідовність ICMP-пакетів має упаковуватися у тестовий потік фреймів з ознакою $DE=0$, тобто у потік CIR.

За цих умов поточні оцінки вимірювальних параметрів та норми на параметри якості обслуговування щодо потоків FR та IP співпадають. Це надає можливість виконати оцінювання параметрів якості транспортування потоків фреймів на відповідність нормам табл. 7.1 та 7.2 шляхом вимірювань та відповідних розрахунків параметрів мережного рівня (як це робиться – розглядається на лекції №8).

Використовується шлейфова схема організації вимірювань за

схемами, що відображені на рис. 7.13 та рис. 7.14.

Тестові *IP*-пакети генеруються за допомогою штатних програмних засобів вузлу – ініціатора вимірювань, потім інкапсулюються у поле даних тестових фреймів (за допомогою штатних програмно-апаратних засобів каналного рівня, тобто пристроя *FRAD* або *FR*-комутатора) із розрахунку “в один фрейм – один пакет” і далі просуваються через контрольоване *PVC*-з’єднання до кінцевого віддаленого вузлу цього з’єднання. На віддаленому вузлі за допомогою штатних програмних засобів мережного рівня здійснюється шлейфування (тобто, логічне замикання пари вимірювальних точок) згідно рис. 7.13 або рис.7.14 з подальшим передаванням тестових пакетів (що упаковані у тестові фрейми) у зворотному напрямку та обробкою цих протокольних блоків даних (у т.ч., вилучення із фреймів тестових *ICMP*-пакетів) за допомогою штатних програмно-апаратних засобів вузлу – ініціатора вимірювань.

Зокрема, підчас вимірювань при наскрізному з’єднанні типу “точка – точка” хости з вимірювальним програмним забезпеченням (що забезпечує пінгування та шлейфування на мережному рівні) безпосередньо підключаються до портів крайових *FR*-комутаторів, що утворюють контрольоване *PVC*-з’єднання. Далі необхідно замкнути між собою (на логічному рівні) пару вимірювальних точок MP_2 дальнього кінця з’єднання (див. рис.7.13) та здійснювати “пінгування” тестовими *ICMP*-пакетами через точку $MP_{egr\ 1}$, що розташована на ближньому кінці утвореного шлейфу. При цьому спостереження за кореспондованими тестовими *ICMP*-пакетами, що просуваються каналами транспортної мережі у зворотному напрямку, здійснюється у точці $MP_{in\ 1}$.

Пінгування, вимірювання та обробка результатів вимірювань здійснюється програмними засобами мережного рівня вузлу, де розташований крайовий комутатор EFS_1 , а логічне замикання точок MP_2 – штатними програмними засобами вузлу, де розташований крайовий комутатор EFS_2 .

Вимірювання при наскрізному з’єднанні типу “споживач – споживач” виконуються аналогічним чином, але при цьому відповідні вимірювальні точки знаходяться на термінальних вузлах споживачів. Зазвичай у цьому випадку для вимірювань

використовуються штатні програмні засоби хостів споживачів.

На вимогу споживача або після виявлення ознак невідповідності параметрів *PVC*-з'єднання на рівнях за стеком протоколів, що є вищими за канальний рівень, та котрі не були усунуті засобами мережного рівня, здійснюється аналіз параметрів канального рівня.

При цьому береться до уваги, що структура тестового потоку фреймів *FR* ідентична структурі тестового потоку *ICMP*-пакетів, оскільки в кожному фреймі тестового потоку інкапсульовано лише один *ICMP*-пакет. У цьому випадку кількість загублених фреймів буде дорівнювати кількості загублених *ICMP*-пакетів, а оцінювані значення параметрів затримки для потоків пакетів та фреймів будуть співпадати.

Кількість помилково отриманих фреймів визначається шляхом аналізу параметра *FCS* (*Frame Check Sequence*). Якщо контрольна послідовність у полі *FCS* вказує на існування помилок у прийнятому фреймі, то такий фрейм знищується. Тому аналіз параметра *FCS* слід здійснювати на кожному із вузлів транспортної мережі на шляху *PVC*-з'єднання як у прямому, так і у зворотному напрямках.

Оскільки вимірювання на відповідність нормам здійснюються лише у *PVC*-з'єднаннях щодо потоків *CIR*, то оцінювання параметрів девіації затримок у потоках фреймів втрачає сенс.

Розрахунок звітних значень параметра *FRTD* (*CIR*) здійснюється за результатами кожного сеансу вимірювань, параметрів ***FR LR***_{*0(CIR)*}, ***FRER***_{*0*},

P(FRTD_{*max*}**)** - за результатами кожної серії сеансів вимірювань. Параметри ***K***_{*2*} та ***MTTR*** розраховуються після кожної події відновлення обладнання.

7.7. Вимірювання параметрів абонентського доступу до транспортної мережі з використанням обладнання *Frame Relay* та *xDSL*

*7.7.1. Структурна схема включення обладнання *FR* та *xDSL**

Структурна схема з'єднань обладнання *FR* та *xDSL*, за допомогою котрого здійснюється доступ до транспортної *FR*-

мережі, відображена на рис.7.15. На цій схемі показані точка доступу до послуги та відповідні пари точок вимірювань параметрів цієї послуги.

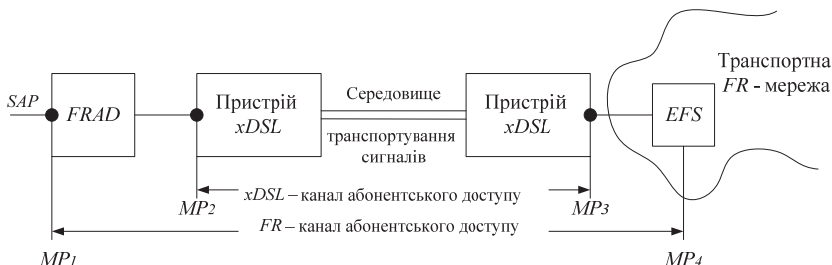


Рис.7.15. Структурна схема з'єднань обладнання *FR* та *xDSL* у каналі абонентського доступу до транспортної *FR*-мережі

Саме така схема організації доступу до ресурсів транспортної мережі може бути задіяна, якщо користувач цих ресурсів розташований віддалено від найближчого крайового вузлу транспортної мережі і в його розпорядження можуть бути передані лише телефонні абонентські лінії. Обладнання *xDSL* у цьому випадку утворює швидкісний цифровий потік (до 2 Мбіт/с), що переносить фрейми між пристроєм *FR*-доступу (*FRAD*) та крайовим комутатором транспортної *FR*-мережі.

7.7.2. Вимірювані параметри

Класифікатор параметрів якості обслуговування при наданні послуги абонентського доступу до транспортної *FR*-мережі з використанням обладнання *FR* та *xDSL*, містить дві підмножини вимірюваних параметрів. Перша підмножина характеризує якість доступу на рівні використання обладнання *FR*. Визначення параметрів цієї підмножини розглянуті у підрозділі 7.6.2. Визначення параметрів другої підмножини, які характеризують якість доступу на рівні використання обладнання *xDSL*, розглянуті раніше на лекції №6 (у підрозділі 6.6).

7.7.3. Нормативи на параметри абонентського доступу

Орієнтовні норми на вимірювані параметри обладнання *FR*

надано у табл.7.1 та 7.2.

Орієнтовні експлуатаційні норми на показники помилок для обладнання *xDSL*, яке застосовується при наданні послуги абонентського доступу до транспортної мережі, наведені у табл.6.5.

Контрольні питання до самостійного заняття сьомої лекції

1. У яких двох модифікаціях надається послуга із транспортування фреймів *FR*-каналами транспортної мережі?

2. Надайте та поясніть схеми організації вимірювань при наданні послуг із транспортування фреймів.

3. Надайте визначення параметрам функціональності послуг із транспортування фреймів - *AR*, *CIR*, *EIR*, *Bc*, *Be* та *T*.

4. Надайте визначення параметрам якості транспортування фреймів *QoS* та *NP*.

5. Укажіть норми на параметри якості транспортування потоків фреймів каналами транспортної мережі для наскрізних з'єднань типу "точка – точка".

6. Укажіть норми на параметри якості транспортування потоків фреймів для наскрізних з'єднань типу "споживач – споживач".

7. Визначіть умови, точки та порядок вимірювань параметрів наскрізних *FR*-з'єднань.

8. Наведіть структурну схему з'єднань обладнання *FR* та *xDSL*, за допомогою котрого здійснюється доступ до транспортної *FR*-мережі. На цій схемі покажіть точки доступу до послуги та відповідні пари точок вимірювань параметрів цієї послуги.

Література до самостійного заняття сьомої лекції

1) Г.Ф. Конахович, В.М. Чуприна „Мережі передавання пакетних даних”. – К.: „МК-Прес”, 2006.

ЛЕКЦІЯ №8. ВИМІРЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ОБЛАДНАННЯ НА МЕРЕЖНОМУ РІВНІ ВЗАЄМОДІЇ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ

Розглядаються наступні питання:

Лекційне заняття

- 8.1. Вимірювання параметрів обладнання транспортних мереж *IP*
- 8.2. Вимірювання параметрів абонентського доступу до транспортної мережі *IP* з використанням обладнання *IP*
- 8.3. Вимірювання параметрів абонентського доступу до транспортної мережі *IP* з використанням обладнання *Frame Relay*
- 8.4. Вимірювання параметрів абонентського доступу до транспортної мережі *IP* з використанням обладнання *xDSL*

8.1. Вимірювання параметрів обладнання транспортних мереж *IP*

Більшість сучасних пакетних мереж для надання послуг із транспортування інформації основана на використанні обладнання, що реалізують телекомунікаційний протокол *IP*. У цьому підрозділі мова йде лише про глобальну транспортну мережу *IP*. Технологія вимірювань параметрів обладнання мереж доступу до глобальної транспортної мережі *IP*, що здійснюється з використанням обладнання *IP*, *FR* та *xDSL* розглядається у наступних підрозділах цього лекційного матеріалу.

8.1.1. Схеми організації вимірювань

Послуга із транспортування пакетів *IP*-каналами транспортної мережі надається оператором *IP*-мережі у двох модифікаціях: для наскрізних з'єднань типу “точка – точка” (коли обладнання абонентського *IP*-доступу знаходиться у зоні відповідальності оператора електрозв'язку) та для наскрізних з'єднань типу “споживач – споживач” (коли обладнання абонентського *IP*-доступу знаходиться у зоні відповідальності споживачів).

Для організації вимірювань зазвичай використовується шлейфова схема як при з'єднаннях типу “точка – точка” (така схема показана на рис.8.1), так і при з'єднаннях типу “споживач – споживач” (див. рис.8.2). *SAP* (*Service Access Point*) – точка доступу

до транспортної послуги. Це - фізична та (або) логічна точка на структурній схемі організації інформаційної взаємодії елементів транспортної мережі (зокрема, на структурній схемі з'єднань відповідного телекомунікаційного обладнання), стосовно котрої діють норми на показники параметрів транспортного обслуговування. На мережному рівні взаємодії *SAP* розглядається як логічна точка, доступ до котрої забезпечується за допомогою програмних засобів хоста та (або) крайового комутатора/маршрутизатора. На рис.8.2 показана схема організації вимірювань параметрів обладнання *IP* при наскрізному з'єднанні типу „користувач – користувач”.

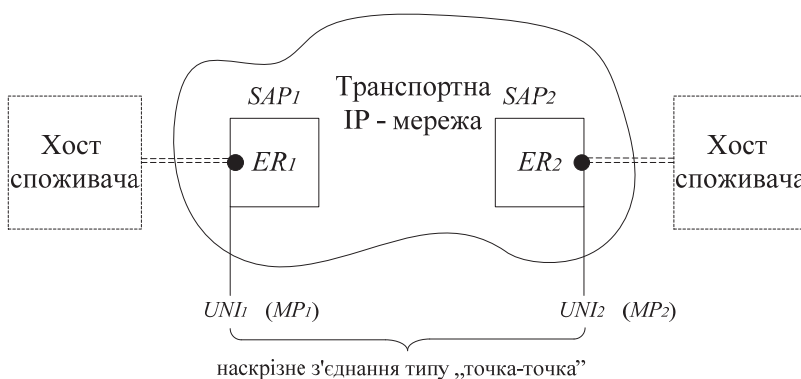


Рис. 8.1. Схема організації вимірювань параметрів обладнання транспортної IP-мережі при наскрізному з'єднанні типу “точка –точка”

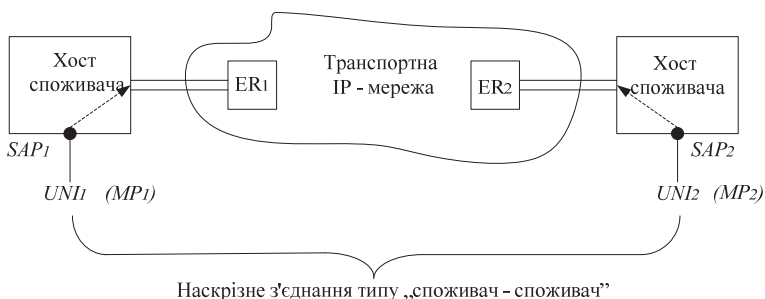


Рис.8.2. Схема організації вимірювань параметрів обладнання IP-мережі при наскрізному з'єднанні типу “споживач-споживач”

Як бачимо, за цією схемою у ланцюг вимірювань включені також канали абонентського доступу користувачів до найближчих крайових маршрутизаторів *ER* (*Edge Router*) транспортної *IP*-мережі.

8.1.2. Вимірювані параметри

1) **Параметри функціональності послуг із транспортування пакетів** - $IPTS$, $IPTS_{max}$, $IPTS_{max}^0$, B_c , B_e .

Характеристики швидкості передавання пакетів

$IPTS$ - миттєва швидкість передавання пакетів *IP* через вимірювальну точку. Вимірюється, як правило, у кількості транспортованих через канал *IP*-пакетів на протязі 1 секунди.

$IPTS_{max}$ - припустиме максимальне значення миттєвої швидкості передавання пакетів *IP* через вимірювальну точку.

$IPTS_{max}^0$ - припустиме максимальне значення усередненого на інтервалі сеансу вимірювань значення $IPTS$. Інтервал сеансу вимірювання прийнято (але не завжди) обирати на рівні 1 година.

Характеристики обсягу транспортованого трафіку

B_c - максимальна кількість байтів, яка гарантовано транспортується впродовж визначеного проміжку часу T (параметр B_c прийнято називати узгодженим або обов'язковим обсягом пульсацій трафіку).

B_e - максимальна кількість байтів, яка транспортується "з максимальними зусиллями" впродовж визначеного проміжку часу T (додатковий обсяг пульсації).

Примітка 8.1. Значення T визначається умовами сервісної угоди оператора з клієнтом (*Service Level Agreement, SLA*).

2) Параметри якості транспортування пакетів

У табл.8.1 надано класифікатор параметрів якості транспортування *IP*-пакетів з використанням мереж пакетної комутації, технічна та організаційна підтримка котрих забезпечується більшістю операторів глобальних *IP*-мереж. Конкретні визначення цих параметрів надано нижче. Звернемо лише увагу, що мнемонічні позначення нижченаведених параметрів отримано шляхом заміни у позначеннях параметрів, що розглядались на лекції №6, літеросполучення "*PDU*" на "*IP*", оскільки у даному випадку в якості протокольних блоків даних

(Protocol Data Unite, PDU) використовуються пакети IP.

Таблиця 8.1

Класифікатор параметрів якості обслуговування при наданні послуг із транспортування пакетів каналами транспортної IP-мережі

Параметри якості обслуговування		
мережно-орієнтовані (параметри NP)	сервіс-орієнтовані (параметри QoS)	мережно/сервіс незалежні
1. $IPLR_{max}$; 2. $IPSLBR_{max}$; 3. $IPER_{max}$; 4. $K'_{завбтmax}(IP)$; 5. Kz_{min}	1. $IPTD_{max}$; 2. $IPDV_{max}$; 3. $P_{max}(IPTD_{max})$; 4. $P_{IPSA_{min}}(PIA)$; 5. $T_{IPU_{max}}(TIU)$	1. RP_{max} ; 2. $MTTR_{max}$

Примітка 8.2. Набір параметрів послуги із транспортування пакетів IP вибрано однаковим: для з'єднань типу “точка – точка”; для з'єднань типу “споживач – споживач”; для абонентського доступу до магістральної IP-мережі.

Примітка 8.3. Параметр P_{IPSA} в літературі часто позначають як PIA , а параметр T_{IPU} – як TIU . Пояснення щодо цих параметрів надано далі за текстом.

Характеристики втрат пакетів

IPLR (IP loss ratio) – коефіцієнт втрат пакетів. Параметр, що характеризує втрати пакетів під час їхнього передавання через вимірювальну секцію між увідною та вивідною точками вимірювань. Визначається як відношення загальної кількості втрачених (у т.ч., відкинутих) пакетів до загальної кількості переданих пакетів на протязі одного сеансу вимірювань.

$IPLR_0$ - усереднене на сумарному інтервалі визначеної серії сеансів вимірювань значення $IPLR$.

$IPLR_{max}$ – максимально припустиме значення коефіцієнту втрат пакетів.

IPSLBR (IP severe loss block ratio) - коефіцієнт втрат блоків пакетів. Параметр, що характеризує втрати блоків пакетів під час їхнього передавання через вимірювальну секцію між увідною та вивідною точками вимірювань. Визначається як відношення загальної кількості втрачених (у т.ч., відкинутих) блоків пакетів до загальної кількості переданих блоків пакетів на протязі однієї серії сеансів вимірювань.

Примітка 8.4. Серія сеансів вимірювань складається із сеансів тривалістю T_s . І якщо кількість втрачених пакетів на проміжку T_s перевищить поріг $s1$, то всі пакети на цьому проміжку відкидаються, а цей блок пакетів вважається втраченим.

$IPSLBR_{max}$ - верхня припустима межа (максимально припустиме значення) $IPSLBR$ (для визначених T_s та $s1$). Цей показник іноді нормується.

Характеристики затримки пакетів

$IPTD$ (*IP time delay*) – час затримки пакетів. Параметр, що характеризує проміжок часу, на протязі котрого пакети просуваються через вимірювальну секцію між увідною та вивідною точками вимірювань.

$IPTD_{max}$ - максимально припустиме усереднене значення затримки пакетів. Затримки пакетів усереднюються на певним чином обраному інтервалі сеансу вимірювань. $IPTD_{max}$ визначається як середнє арифметичне усіх вимірних значень $IPTD$ за виключенням 10% мінімальних та 10% максимальних значень цього показника в інтервалі даного сеансу вимірювань.

P ($IPTD_{max}$) – ймовірність (частість) перевищення $IPTD_{max}$. Визначається як відношення кількості подій перевищення значення $IPTD_{max}$ до загальної кількості усіх вимірних значень величини $IPTD$ на протязі однієї години.

P_{max} ($IPTD_{max}$) - припустиме максимальне значення ймовірності перевищення величини $IPTD_{max}$. Цей показник в багатьох випадках нормується.

Характеристики варіації затримки пакетів

$IPDV$ (*IP delay variation*) – параметр, що характеризує відхилення у затримці пакетів відносно $IPTD_0$ під час його передавання через вимірювальну секцію між увідною та вивідною точками вимірювань. Так, якщо затримку k -го пакета у потоці пакетів позначити як $IPTD_k$, то

$$IPDV_k = |IPTD_k - IPTD_0| / . \quad (8.1)$$

$IPDV_0$ - усереднене на інтервалі сеансу вимірювань значення

$IPDV$ (варіація затримки або джитер затримки пакетів). Визначається як середнє арифметичне усіх вимірних значень $IPDV_k$ за виключенням 10% мінімальних та 10% максимальних значень цього показника в інтервалі даного сеансу вимірювань. Варіація затримки визначається для всіх пакетів, що пройшли через вимірювальну секцію: як коректно транспортованих, так і з помилками.

$IPDV_{max}$ - верхня припустима межа $IPDV_0$ (тобто, припустимий максимальний діапазон відхилення IPD від IPD_0). Цей показник у більшості випадків нормується.

Характеристика некоректного транспортування пакетів (IPER)

$IPER$ (*IP error ratio*) - коефіцієнт некоректно транспортованих пакетів. Параметр, що характеризує кількість пакетів, що були ушкоджені під час їхнього передавання через вимірювальну секцію між увідною та вивідною точками вимірювань. Під ушкодженням розуміється будь-яка невідповідність вмісту інформаційних полів пакетів. Визначається як відношення загальної кількості некоректно транспортованих пакетів до загальної кількості переданих пакетів на протязі одного сеансу вимірювань.

$IPER_0$ - усереднене на сумарному інтервалі визначеної серії сеансів вимірювань значення $IPER$.

$IPER_{max}$ – максимально припустиме значення $IPER_0$.

Показники доступності транспортної послуги

$IPAF$ (*IP availability function*) – функція доступності послуги із транспортування пакетів. Характеризує співвідношення між проміжками часу, коли послуга є доступною для споживачів, і проміжками часу, коли ця послуга є недоступною. Визначається наступним чином. Узгоджений між постачальником та споживачем графік надання транспортної послуги (за звичайних умов, такий графік охоплює проміжок часу в одну добу і передбачає режим цілодобового безперервного обслуговування) розбивається на часові проміжки T_{av} .

Примітка 8.5. Кількість таких часових проміжків в рамках графіка надання послуги має бути обгрунтована.

Визначається критерій доступності послуги на проміжку T_{av} . В якості такого критерію вибирається показник $IPLR_0$ або $IPER_0$ (або обидва разом). Визначається поріг доступності послуги у метриці вибраного показника – c_1 або c_2 . Якщо на проміжку T_{av} $IPLR_0 > c_1$ або (та) $IPER_0 > c_2$, то послуга на цьому проміжку вважається недоступною. В протилежному випадку (тобто, коли $IPLR_0 \leq c_1$ або (та) $IPER_0 \leq c_2$) послуга на проміжку T_{av} вважається доступною.

Примітка 8.6. Вибір набору критеріїв доступності послуги та значення порогів c_1 або (та) c_2 мають бути обгрунтовані.

Таким чином, в процесі обслуговування може бути k_1 часових інтервалів тривалістю T_{av} , коли послуга є доступною, та k_2 часових інтервалів, коли послуга – недоступна (при загальній кількості можливих інтервалів у графіку обслуговування $k = k_1 + k_2$).

P_{IPSA} (percent IP service availability) – відсоток (коефіцієнт) доступності послуги із транспортування пакетів. Характеризує відсоток часу відносно загального часу обслуговування (який, як правило, узгоджується у сервісній угоді SLA), коли існує можливість користуватися послугою. Визначається як відсоток часових інтервалів тривалістю T_{av} , коли послуга є доступною, до загальної кількості часових інтервалів, що визначені у графіку обслуговування. Параметр P_{IPSA} в літературі часто позначають як PIA .

Примітка 8.7. Відсоток недоступності послуги **P_{IPSU} (percent IP service unavailability)** визначається як $P_{IPSU} = 100 - P_{IPSA}$.

$P_{IPSA_{min}}$ - припустиме мінімальне значення коефіцієнта доступності P_{IPSA} .

T_{IPU} (Time IP service unavailability) – сумарна кількість годин на протязі року, коли відсутня можливість користуватися послугою із транспортування пакетів. Параметр T_{IPU} в літературі часто позначають як TIU .

$T_{IPU_{max}}$ – припустиме максимальне значення T_{IPU} .

Показники доступності мережного обладнання

Доступність ресурсів мережного обладнання напряму пов'язана із двома факторами (якщо не рахувати проблем з інформаційною безпекою): рівнем завантаження цього обладнання користувачем

трафіком та рівнем експлуатаційної надійності мережного обладнання. При перевищенні певного рівня завантаженості мережні ресурси внаслідок неприпустимого погіршення їхньої якості можуть стати недоступними для користувачів. Зрозуміло також, що у випадку відмови обладнання його ресурси становляться недоступними для користувачів. Отже, показники доступності мережного обладнання мають визначатися як характеристиками навантаження на IP-обладнання, так і характеристиками його експлуатаційної надійності.

Характеристика навантаження на IP-обладнання

$K_{зав}$ – коефіцієнт завантаження обладнання. Характеризує ступінь завантаження мережного обладнання пакетним трафіком, який циркулює через це обладнання. Визначається як відношення швидкості передавання пакетів через обладнання, завантаження котрого розглядається, до його пропускнуої здатності. Підкреслимо, що коефіцієнт завантаження обладнання пакетним трафіком (або, як кажуть, коефіцієнт навантаження на обладнання пакетним трафіком) визначається відношенням реально досягнутої швидкості передавання пакетів IP на певним чином обраному проміжку часу до пропускнуої здатності обладнання. Оскільки зазвичай існують пульсації трафіку, то для підвищення об'єктивності вимірювань ступеню завантаженості обладнання бажано здійснювати усереднення виміряних значень коефіцієнтів завантаження на різних проміжках часу. Вибір часу усереднення – окреме питання, що вирішується з огляду на конкретні умови використання обладнання. В залежності від вибору величини інтервалу вимірювань розрізняють миттєвий та середній коефіцієнт завантаження.

$K'_{зав}$ – миттєвий коефіцієнт завантаження обладнання. Визначається як відношення миттєвої швидкості передавання пакетів (тобто, параметр $IPTS'$, що вимірюється на інтервалі в одну секунду) через вимірювальну точку (як правило, логічну точку, яка вибирається на ввіді або на виводі досліджуваного обладнання) до пропускнуої здатності цього обладнання.

$K'_{застах}$ – верхня припустима межа миттєвого коефіцієнту завантаження обладнання, тобто припустиме максимальне

значення $K'_{\text{зав}}$. Цей показник іноді для окремих транспортних технологій нормується.

$K'_{\text{зав0}}$ – усереднений на інтервалі сеансу вимірювань коефіцієнт завантаження обладнання, тобто усереднене на інтервалі сеансу вимірювань значення $K'_{\text{зав}}$. Тривалість сеансу вимірювань T_0 обумовлюється окремо у сервісних угодах *SLA*.

$K'_{\text{зав0max}}$ – верхня припустима межа усередненого коефіцієнту завантаження обладнання, тобто припустиме максимальне значення $K'_{\text{зав0}}$. Таким чином, $K'_{\text{зав0max}}(IP)$ – верхня припустима межа середнього коефіцієнту навантаження обладнання *IP*. Цей показник у більшості випадків нормується.

Показники експлуатаційної надійності мережного обладнання

$P(T_N)$ - ймовірність безвідмовної роботи мережного обладнання на проміжку часу T_N . Визначається згідно з ДСТУ 2860-94 як ймовірність того, що в межах заданого наробітку T_N відмови мережного обладнання не настануть. Цей показник щодо телекомунікаційного обладнання не нормується, але може обчислюватись з метою отримання даних щодо надійності виробів окремих постачальників обладнання.

MTBF (Mean Time Between Failures) – середній час між відмовами. Характеризує рівень надійності обладнання без урахування впливу на надійність цього обладнання процесів технічного обслуговування та ремонту. Визначається згідно з ДСТУ 2860-94. Цей показник щодо телекомунікаційного обладнання не нормується. Використовується для визначення коефіцієнту готовності (див. далі).

MTTR (Mean Time To Repair) – середній час відновлення (ремонт) після відмови обладнання. Характеризує рівень досконалості служб технічного обслуговування та ремонту. Визначається згідно з ДСТУ 2860-94. Використовується для визначення коефіцієнту готовності.

$MTTR_{\text{max}}$ – максимально припустиме значення *MTTR*. Цей показник, як правило, нормується.

K_2 - коефіцієнт готовності обладнання. Комплексний показник експлуатаційної надійності мережного обладнання, який

характеризує співвідношення між $MTTR$ та $MTBF$ згідно з формулою:

$$K_z = MTBF / (MTBF + MTTR). \quad (8.2)$$

Визначається згідно з ДСТУ 2860-94.

$K_{z_{min}}$ - мінімально припустиме значення коефіцієнту **готовності**. Цей показник, як правило, нормується.

Показники зручності використання транспортної послуги

RP (Reporting Period) - інтервал звітування, тобто періодичність представлення покупцю транспортної послуги звітів про поточний стан обслуговування. (Бажано, з точки зору покупців послуги, щоб цей інтервал був якомога меншим).

RP_{max} - максимально припустиме значення RP , що наведене у *SLA*.

8.1.3 Нормативи на параметри якості у розрізі класів обслуговування

З метою забезпечення можливості якісного транспортування потоків пакетів *IP*, що наразі генеруються основною масою прикладних застосувань реальних і потенційних споживачів, усі найбільш популярні види потоків, що транспортуються каналами мереж *IP*, згруповані на основі визначених для них загальних ознак за шістьма класами трафіка *IP*. З урахуванням характеристик цих класів визначено шість стандартизованих рівнів надання транспортної послуги, тобто шість класів обслуговування (див. табл.8.2).

Таблиця 8.2

Норми на параметри обладнання *IP* при наскрізних з'єднань типу "споживач – споживач"

Параметри обладнання <i>IP</i>	Характеристика параметра	Клас 0	Клас 1	Клас 2	Клас 3	Клас 4	Клас 5
Сервіс-орієнтовані							

параметр и							
$IPTD_{max}$	Верхня межа щодо затримки пакетів, мс	100	400	480	480	1000	н/в
$IPDV_{max}$	Верхня межа щодо варіації затримки, мс	50	50	150	н/в	н/в	н/в
P_{max} ($IPTD_{max}$)	Поріг ймовірності перевищення $IPTD_{max}$, безрозмірний	1×10^{-2}	1×10^{-2}	1×10^{-2}	5×10^{-2}	н/в	н/в
$P_{min}(IPDV_{max})$	Поріг відсотка неперевищен ня $IPDV_{max}$, % (у відсотках)	1,0	1,0	н/в	н/в	н/в	н/в
$P_{IPSA_{min}}$ (PIA)	Нижня межа щодо відсотка часу доступності послуги, % (у відсотках)	99	99	99	99	н/в	н/в
$T_{IPU_{max}}$ (TIU)	Верхня межа щодо годин недоступност і послуги, годин на рік	88	88	88	88	н/в	н/в
Мережно - орієнтова ні параметр и							
$IPLR_{max}$	Верхня межа втрат пакетів,	1×10^{-3}	1×10^{-3}	1×10^{-3}	1×10^{-3}	1×10^{-3}	н/в

	безрозмірна						
$IPER_{max}$	Верхня межа помилкових пакетів, безрозмірна	1×10^{-4}	1×10^{-4}	1×10^{-4}	1×10^{-4}	1×10^{-3}	н/в
K_{min}	Нижня межа коефіцієнту готовності	0,996	0,996	0,996	0,996	0,996	н/в
Сервіс/мережно-незалежні параметри							
$MTTR_{max}$	Верхня межа середнього часу відновлення працездатності, хвилин	300	300	300	300	500	н/в

Кожний клас обслуговування характеризується певним набором нормованих значень (або діапазонів значень) показників якості послуги (тобто, сервіс-орієнтованих параметрів), мережної досконалості (тобто, мережно-орієнтованих параметрів) та сервіс/мережно-незалежних параметрів обслуговування.

Примітка 8.8. Рівень якості транспортної послуги не може асоціюватися із суб'єктивними уявленнями типу “більш якісна або менш якісна послуга”, а задається конкретними значеннями параметрів цієї послуги.

Примітка 8.9. Позначка “н/в” означає “не визначено”.

Примітка 8.10. Нормативні визначення параметрів $IPTD_{max}$, $IPDV_{max}$, $IPLR_{max}$ та $IPER_{max}$ відповідають *ITU-T Recommendation Y.1541* для наскрізного з'єднання типу “споживач – споживач”.

Примітка 8.11. Оцінювання параметрів $K'_{зав0}$ та $IPER_0$ в процесі поточного контролю відповідності не здійснюється. Однак в процесі пошуку вирішення проблем невідповідності необхідно упевнитися, що поточні значення цих параметрів не перевищують норми (відповідно $K'_{завmax}$ та $IPER_{max}$) на усіх вузлах

(проміжних та крайових) впродовж можливих шляхів просування *IP*-пакетів. Дані, що є необхідними для обчислення поточних значень цих параметрів, накопичуються на вузлах у базах *MIB* контрольованого обладнання за допомогою механізмів протоколу *SNMP*.

Примітка 8.12. Значення параметру $P_{IP}SA_{min}$ (тобто, значення параметру *PIA*) визначається відповідно до *ITU-T Recommendation Y.1541* за таких умов: інтервал вимірювань параметра – 1 доба; доступність оцінюється за параметром *IPLR₀*; поріг визначення доступності *c1* береться на рівні 0,01 для класів 0 та 2 і на рівні 0,005 для класів 1 та 3; проміжок часу T_{av} , що відведений для визначення *IPLR₀* та порівняння з порогом *c1*, дорівнює тривалості однієї серії сеансів вимірювань параметра *IPLR₀*. Пояснення щодо обчислення цього параметру надано вище.

Примітка 8.13. Пояснення щодо обчислення параметру $T_{IP} U$ (тобто, *TIU*) надано вище.

Примітка 8.14. Значення параметру RP_{max} визначається умовами *SLA*.

Для наскрізних з'єднань типу “споживач – споживач” нормовані значення показників якості транспортування *IP*-пакетів, що класифіковані за визначеними шістьма класами обслуговування, надані у табл.8.2.

Для наскрізних з'єднань типу “точка – точка” норми на показники за класами обслуговування не класифікуються, оскільки рівень якості транспортування пакетів між будь-якими двома вузлами магістральної транспортної мережі має бути однаковим.

Рекомендовані норми на показники якості обслуговування магістральною транспортною *IP*-мережею надані у табл.8.3 .

Таблиця 8.3

Норми на параметри обладнання *IP* при наскрізних з'єднань типу “точка – точка”

Параметри обладнання <i>IP</i>	Характеристика параметра	Нормативне значення параметра
Сервіс-орієнтовані параметри		
$IPTD_{max}$	Верхня межа щодо затримки пакетів, мс	80
$IPDV_{max}$	Верхня межа щодо варіації затримки, мс	30

$P_{max} (IPTD_{max})$	Поріг ймовірності перевищення $IPTD_{max}$, безрозмірний	1×10^{-2}
$P_{min} (IPDV_{max})$	Поріг відсотка неперевіщення $IPDV_{max}$, % (у відсотках)	1,0
$P_{IPSA_{min}} (PIA)$	Нижня межа щодо відсотка часу доступності послуги, % (у відсотках)	99
$T_{IPU_{max}} (TIU)$	Верхня межа щодо годин недоступності послуги, годин на рік	12
Мережно-орієнтовані параметри		
$IPLR_{max}$	Верхня межа втрат пакетів, безрозмірна	1×10^{-3}
$IPER_{max}$	Верхня межа помилкових пакетів, безрозмірна	1×10^{-4}
$K\mathcal{L}_{min}$	Нижня межа коефіцієнту готовності	0,996
Сервіс/мережно-незалежні параметри		
$MTTR_{max}$	Верхня межа середнього часу відновлення працездатності, хвилин	300

8.1.4 Умови, точки та порядок вимірювань параметрів наскрізних IP-з'єднань

В процесі оцінювання параметрів якості транспортування пакетів необхідно дотримуватись загальних вимог щодо організації вимірювань, що були викладені на лекції №5. Крім того, під час вимірювань пікове навантаження будь-якого із міжвузлових комутаторів та маршрутизаторів мережі повинно не перевищувати 90%. При піковому навантаженні будь-якого з міжвузлових каналів зв'язку та маршрутизаторів, що перевищує 90%, транспортна мережа вважається перенавантаженою і такою, що не задовольняє вимогам до якості послуг передавання інформації.

Поточні значення параметру $IPER_0$ на всіх вузлах уздовж можливих шляхів просування IP-пакетів повинно не перевищувати норму $IPER_{max}$.

Вимірювання здійснюються активним способом в режимі періодичного тестування через фіксовані інтервали часу методом

“пінгування” тестових *ICMP*-пакетів. Використовується шлейфова схема організації вимірювань за схемами, що відображена на рис.8.1 (при з’єднаннях типу “точка – точка”) або на рис.8.2 (при з’єднаннях типу “споживач – споживач”). На цих рисунках відображені відповідні точки доступу до послуги та відповідні пари вимірювальних точок.

Зокрема, підчас вимірювань при наскрізному з’єднанні типу “точка – точка” необхідно замкнути між собою (на логічному рівні) пару вимірювальних точок MP_2 (див. рис.8.1) та здійснювати “пінгування” тестовими *ICMP*-пакетами через точку $MP_{egr\ 1}$, що розташована на SAP_1 . При цьому спостереження за кореспондованими тестовими *ICMP*-пакетами, що просуваються каналами транспортної мережі у зворотному напрямку від SAP_2 до SAP_1 , здійснюється у точці MP_{in1} , що розташована на SAP_1 . Пінгування, вимірювання та обробка результатів вимірювань здійснюється штатними програмними засоби крайового маршрутизатора ER_1 , а логічне замикання точок MP_2 – штатними програмними засобами крайового маршрутизатора ER_2 .

Примітка 8.15. Конкретні назви штатних інструментальних програмних засобів, що застосовуються під час вимірювань, та методика їхнього використання вказуються у регламентах експлуатації телекомунікаційного обладнання, що інстальовано у вузлах транспортної мережі.

Вимірювання при наскрізному з’єднанні типу “споживач – споживач” виконуються аналогічним чином, але при цьому SAP_1 та SAP_2 (і відповідні вимірювальні точки) знаходяться на термінальних вузлах споживачів.

Зазвичай у цьому випадку для вимірювань використовуються штатні програмні засоби хостів користувачів.

Структура тестового потоку пакетів IP повинна відповідати структурі, що надана на рисунку 5.2 (див. лекцію №5), і мати наступні характеристики:

- 1) довжина поля даних тестових пакетів v - не більша за 64 байта;
- 2) кількість пакетів в одній групі N (тобто, в одному сеансі вимірювань) – 100;
- 3) періодичність генерації груп тестових пакетів T – один раз кожні 6 хвилин;

4) мінімальний міжпакетний інтервал τ в рамках однієї групи пакетів – 100 мс;

5) тривалість одного сеансу вимірювань T - 6 хвилин;

6) тривалість однієї серії сеансів вимірювань T_0 - 1 година.

Розрахунок звітних значень параметрів $IPTD_0$, $IPDV_0$, $P(IPDV_{max})$, $K_{зав0}$ здійснюється за результатами кожного сеансу вимірювань, тобто звітний проміжок часу щодо цих параметрів дорівнює 6 хвилинам. Розрахунок звітних значень параметрів $IPLR_0$ та $P(IPTD_{max})$ - за результатами кожної серії сеансів вимірювань, тобто звітний проміжок часу для цих параметрів дорівнює 1 годині. Для параметра P_{IPSA} звітний проміжок – 1 доба. Параметр T_{IPU} розраховується на звітному проміжку, що дорівнює одному року. Параметри K_2 та $MTTR$ розраховуються після кожної події відновлення обладнання.

8.1.5 Дії у разі виявлення невідповідності

Поточний контроль якості наскрізного з'єднання виконується шляхом відслідковування поточних оцінок параметра втрат пакетів $IPLR_0$. У процесі поточного контролю цього параметру може виявитись перевищення його нормованого значення $IPLR_{max}$. У цьому випадку необхідно переконатися в коректності роботи обладнання мережного (і, можливо, більш високого) рівня у кінцевих вузлах контрольованого наскрізного з'єднання, наприклад шляхом відключення від нього обладнання сусідніх вузлів і “пінгування” тестовими пакетами по локальному шлейфу, що створюється як на ближньому, так і на віддаленому кінцях контрольованого з'єднання. Якщо проблем на рівні протоколу IP (і вище) на локальних шлейфах не виявлено, необхідно розпочати пошук проблем в роботі транспортної мережі.

Плановий періодичний контроль якості наскрізного з'єднання виконується шляхом відслідковування поточних оцінок усіх параметрів мережного рівня (не тільки $IPLR_0$), нормовані значення котрих надано у табл. 8.2. У процесі планового контролю можуть виявитись невідповідності щодо нормованих значень будь-якого із параметрів. У цьому випадку необхідно розпочати пошук проблем в роботі транспортної мережі.

У разі виявлення невідповідності щодо нормованих значень

сервіс-орієнтованих параметрів необхідно розпочати пошук проблем, пов'язаних із можливими перенавантаженнями *IP*-трафіком каналів транспортної *IP*-мережі.

Пошук шляхів вирішення проблеми невідповідності на мережному рівні здійснюють шляхом порівняльного аналізу виміряних поточних значень параметрів мережного рівня з відповідними нормативними значеннями цих параметрів. При цьому використовується шлейфова схема організації вимірювань.

Під час пошуку проблемної ділянки на шляху просування пакетів утворюють наскрізне *TCP/IP*-з'єднання. В цьому випадку значення параметрів аналізуються щодо всіх *IP*-маршрутизаторів, розташованих на шляху просування пакетів. Локалізація проблеми полягає у виявленні міжвузлової ділянки, де зафіксоване суттєве відхилення від норм щодо будь-якого параметра.

У разі виявлення невідповідності щодо нормативних значень мережно-орієнтованих параметрів необхідно розпочати пошук проблем, пов'язаних із відмовами в роботі мережного обладнання згідно з положеннями регламентуючої експлуатаційної документації на мережне обладнання, що використовується.

Якщо проблем на рівні протоколів *TCP* та *IP* не виявлено, необхідно розпочати пошук проблем в роботі обладнання каналного, а потім фізичного рівнів, що забезпечує транспортування пакетів *IP*.

8.2 Вимірювання параметрів абонентського доступу до транспортної мережі *IP* з використанням обладнання *IP*

Параметри функціональності обладнання абонентського доступу щодо трафіка *IP* аналогічні параметрам, що надані у підрозділі 8.1.1 цієї лекції.

Номенклатура параметрів якості транспортування пакетів (тобто, параметрів *QoS* та *NP* обладнання абонентського доступу) також співпадають із даними, що надані у табл.8.1.

8.2.1. Нормативи на параметри якості

Нормативи якості транспортування пакетів при наданні послуги абонентського доступу до транспортної мережі *IP* з використанням обладнання *IP*, за аналогією з п. 8.1.3, надаються у розрізі шести

класів обслуговування. З урахуванням характеристик цих класів у табл. 8.4 для вищезазначеної послуги надані рекомендовані нормативні визначення відповідних показників.

Таблиця 8.4

Норми на параметри обладнання при наданні послуг абонентського доступу до транспортної мережі IP з використанням обладнання IP

Параметри обладнання	Характеристика параметра	Клас 0	Клас 1	Клас 2	Клас 3	Клас 4	Клас 5
Сервіс-орієнтовані параметри							
$IPTD_{max}$	Верхня межа щодо затримки пакетів, мс	10	160	200	200	400	н/в
$IPDV_{max}$	Верхня межа щодо варіації затримки, мс	10	10	60	н/в	н/в	н/в
P_{max} ($IPTD_{max}$)	Поріг ймовірності перевищення $IPTD_{max}$, безрозмірний	1×10^{-2}	1×10^{-2}	1×10^{-2}	5×10^{-2}	н/в	н/в
P_{min} ($IPDV_{max}$)	Поріг відсотка неперевіщення $IPDV_{max}$, % (у відсотках)	1,0	1,0	н/в	н/в	н/в	н/в
$P_{IPSA_{min}}$ (PIA)	Нижня межа щодо відсотка часу	99	99	99	99	н/в	н/в

	доступності послуги, % (у відсотках)						
$T_{IP}U_{max}$ (TIU)	Верхня межа щодо годин недоступності послуги, годин на рік	38	38	38	38	н/в	н/в
Мережно-орієнтовані параметри							
$IPLR_{max}$	Верхня межа втрат пакетів, безрозмірна	1×10^{-3}	1×10^{-3}	1×10^{-3}	1×10^{-3}	1×10^{-3}	н/в
$IPER_{max}$	Верхня межа помилкових пакетів, безрозмірна	1×10^{-4}	1×10^{-4}	1×10^{-4}	1×10^{-4}	1×10^{-4}	н/в
$K_{\Sigma min}$	Нижня межа коефіцієнту готовності	0,996	0,996	0,996	0,996	0,996	н/в
Сервіс/мережно-незалежні параметри							
$MTTR_{max}$	Верхня межа середнього часу відновлення працездатно	150	150	150	150	300	н/в

	сті, хвилин						
--	----------------	--	--	--	--	--	--

8.2.2. Умови, точки та порядок вимірювань

Вимірювання параметрів послуги абонентського IP-доступу виконуються за шлейфовою схемою, що відображена на рис. 8.3.

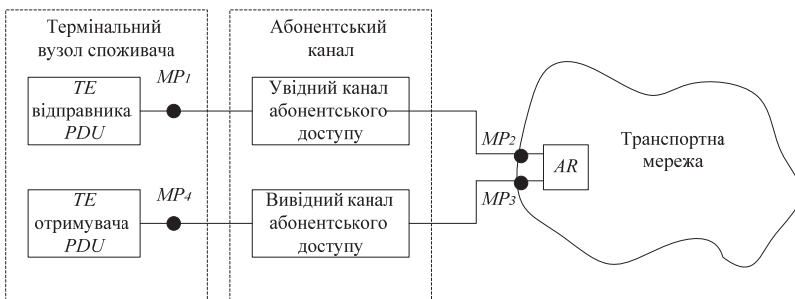


Рис.8.3. Базова схема вимірювань для оцінювання параметрів абонентського IP-доступу до глобальної транспортної мережі

В процесі оцінювання параметрів якості транспортування пакетів необхідно дотримуватись загальних вимог щодо організації вимірювань, що були викладені на лекції №5. Крім того, під час вимірювань пікове навантаження на крайовий маршрутизатор (маршрутизатор доступу, *Access Router*, AR), до якого під'єднано контрольований абонентський IP-канал, повинно не перевищувати 90%. При піковому навантаженні цього маршрутизатору, що перевищує 90%, транспортна мережа вважається перенавантаженою і такою, що не задовольняє вимогам до якості послуг передавання інформації. Поточні значення параметру $IPER_0$ на крайовому маршрутизаторі повинно не перевищувати норму $IPER_{max}$, тобто 1×10^{-4} .

Зокрема, під час вимірювань необхідно замкнути між собою (на логічному рівні) пару вимірювальних точок MP_2 та MP_3 (див. рис. 8.3) та здійснювати "пінгування" тестовими ICMP-пакетами через точку $MP_{egr 1}$, що розташована на SAP_1 . При цьому спостереження за кореспондованими тестовими ICMP-пакетами, що просуваються каналом абонентського доступу у зворотному напрямку від SAP_2 до

SAP_1 , здійснюється у точці $MP_{in\ 1}$, що розташована на SAP_1 . Пінгування, вимірювання та обробка результатів вимірювань здійснюється штатними програмними засоби хоста, а логічне замикання точок MP_2 та MP_3 – штатними програмними засобами сервера доступу вузлу транспортної мережі.

Примітка 8.16. Конкретні назви штатних інструментальних програмних засобів, що застосовуються під час вимірювань, та методика їхнього використання вказуються у регламентах експлуатації телекомунікаційного обладнання, що інстальовано у вузлах транспортної мережі.

Структура тестового потоку пакетів IP повинна відповідати структурі, що надана на рисунку 5.2 (див. лекцію №5), і мати наступні характеристики:

1) довжина поля даних тестових пакетів v - не більша за 64 байта;

2) кількість пакетів в одній групі N (тобто, в одному сеансі вимірювань) – 100;

3) періодичність генерації груп тестових пакетів T – один раз кожні 6 хвилин;

4) мінімальний міжпакетний інтервал τ в рамках однієї групи пакетів – 100 мс;

5) тривалість одного сеансу вимірювань T - 6 хвилин;

6) тривалість однієї серії сеансів вимірювань T_0 - 1 година.

Розрахунок звітних значень параметрів $IPTD_0$, $IPDV_0$, $P(IPDV_{max})$, $K'_{зав0}$ здійснюється за результатами кожного сеансу вимірювань, тобто звітний проміжок часу щодо цих параметрів дорівнює 6 хвилинам. Розрахунок звітних значень параметрів $IPLR_0$ та $P(IPTD_{max})$ - за результатами кожної серії сеансів вимірювань, тобто звітний проміжок часу для цих параметрів дорівнює 1 годині. Для параметра P_{IPSA} звітний проміжок – 1 доба. Параметр T_{IPU} розраховується на звітному проміжку, що дорівнює одному року. Параметри K_2 та $MTTR$ розраховуються після кожної події відновлення обладнання.

8.2.3 Дії у разі виявлення невідповідності – аналогічно тим, що розглянуті у підрозділі 8.1.5 цієї лекції.

8.3. Вимірювання параметрів абонентського доступу до транспортної мережі IP з використанням обладнання *Frame Relay*

8.3.1 Параметри функціональності

Параметри функціональності щодо трафіка IP розглянуто у підрозділі 8.1.1 цієї лекції. Параметри функціональності щодо трафіка FR (це – параметри *AR*, *CIR*, *EIR*, *Bc* та *Be*) визначені у підрозділі 7.6.2 лекції №7.

8.3.2 Параметри якості транспортування фреймів (тобто, на параметри *QoS* та *NP* обладнання абонентського FR-доступу)

У табл.8.5 надано класифікатор параметрів якості обслуговування при наданні послуги абонентського доступу до транспортної IP-мережі з використанням обладнання FR.

Визначення параметрів цієї послуги щодо трафіка IP надано у розділі 8.1, якщо у якості *PDU* розглядати пакети IP. Визначення цих параметрів щодо трафіка FR надано у підрозділі 7.6.2 лекції №7.

Таблиця 8.5

Класифікатор параметрів якості обслуговування при наданні послуги абонентського доступу до транспортної мережі IP з використанням обладнання FR

Параметри якості обслуговування		
мережно-орієнтовані (параметри <i>NP</i>)	сервіс-орієнтовані (параметри <i>QoS</i>)	мережно/сервіс незалежні
<ol style="list-style-type: none"> 1. $IPLR_{max}$; 2. $IPER_{max}$; 3. $K'_{зав0max}(IP)$; 4. K_{2min}; 5. $K'_{зав0max}(FR)$; 6. $FR LR_{max}(CIR)$; 7. $FR LR_{max}(EIR)$; 8. $FRER_{max}$ 	<ol style="list-style-type: none"> 1. $IPTD_{max}$; 2. $IPDV_{max}$; 3. $P_{max}(IPTD_{max})$; 4. $P_{min}(IPDV_{max})$; 5. $P_{IPSAmin}$; 6. $T_{IPU_{max}}$; 7. $FRTD_{max}(CIR)$; 8. $FRTD_{max}(EIR)$ 	<ol style="list-style-type: none"> 1. RP_{max}; 2. $MTTR_{max}$

Примітка 8.17. Мнемонічні позначення параметрів, що наведені у табл.8.5, отримані шляхом заміни у позначеннях параметрів, що наведені у підрозділі 7.2 лекції №7, буквосполучення “PDU” на “IP” та “FR”, оскільки у даному випадку в якості PDU використовуються пакети IP та фрейми FR.

Примітка 8.18. При експлуатації обладнання FR активно використовується механізм визначення пов’язаності каналу. Однак параметр пов’язаності є інструментальним засобом спостереження за працездатністю каналу і не характеризує якість обслуговування.

8.3.3 Нормативи на параметри якості у розрізі класів обслуговування

Рекомендовані нормативні значення показників якості обслуговування при наданні послуги абонентського доступу до транспортної мережі IP з використанням обладнання FR надано у табл.8.6.

Таблиця 8.6

Нормативи якості обслуговування при наданні послуги абонентського доступу до транспортної мережі IP з використанням обладнання FR

Параметр и обслуг.	Характеристика параметра	Клас 0	Клас 1	Клас 2	Клас 3	Клас 4	Клас 5
Сервіс-орієнтовані параметри							
$IPTD_{max}$	Верхня межа щодо затримки пакетів, мс	10	160	200	200	400	н/в
$IPDV_{max}$	Верхня межа щодо варіації затримки, мс	10	10	60	н/в	н/в	н/в
P_{max} ($IPTD_{max}$)	Поріг ймовірності перевищення $IPTD_{max}$, безрозмірний	1×10^{-2}	1×10^{-2}	1×10^{-2}	5×10^{-2}	н/в	н/в

P_{min} ($IPDV_{max}$)	Поріг відсотка неперевищення $IPDV_{max}$, % (у відсотках)	1,0	1,0	н/в	н/в	н/в	н/в
$P_{IPSA_{min}}$ (PIA)	Нижня межа щодо відсотка часу доступності послуги, % (у відсотках)	99	99	99	99	н/в	н/в
$T_{IPU_{max}}$ (TIU)	Верхня межа щодо годин недоступності і послуги, годин на рік	38	38	38	38	н/в	н/в
$FRTD_{max}$ (CIR)	Верхня межа щодо затримки фреймів з ознакою $DE=0$, мс	10	160	160	160	160	н/в
$FRTD_{max}$ (EIR)	Верхня межа щодо затримки фреймів з ознакою $DE=1$, мс	н/в	н/в	н/в	н/в	н/в	н/в
Мережно-орієнтовані параметри							
$IPLR_{max}$	Верхня межа втрат пакетів, безрозмірна	1×10^{-3}	1×10^{-3}	1×10^{-3}	1×10^{-3}	1×10^{-3}	н/в
$IPER_{max}$	Верхня межа помилкових пакетів,	1×10^{-4}	1×10^{-4}	1×10^{-4}	1×10^{-4}	1×10^{-4}	н/в

	безрозмірна						
$K\epsilon_{min}$	Нижня межа коефіцієнту готовності	0,996	0,996	0,996	0,996	0,996	н/в
$FR LR_{max}$ (CIR)	Верхня межа втрат фреймів з ознакою $DE=0$, безрозмірна	1×10^{-3}	1×10^{-3}	1×10^{-3}	1×10^{-3}	1×10^{-3}	н/в
$FRER_{max}$	Верхня межа помилкових фреймів, безрозмірна	1×10^{-4}	1×10^{-4}	1×10^{-4}	1×10^{-4}	1×10^{-4}	н/в
Сервіс/ме режно- незалежні параметр и							
$MTTR_{max}$	Верхня межа середнього часу відновлення працездатнос ті, хвилин	300	300	300	300	500	н/в

Примітка 8.19. Позначка “н/в” означає “не визначено”.

Примітка 8.20. Нормативні визначення параметрів $IPTD_{max}$, $IPDV_{max}$, $IPLR_{max}$ та $IPER_{max}$ узгоджені з рекомендаціями *ITU-T Recommendation Y.1541*.

Примітка 8.21. Значення параметру $P_{IPSA_{min}}$ визначається за тими ж умовами, що і при наданні транспортної IP послуги.

Примітка 8.22. Значення параметру RP_{max} визначається умовами *SLA*.

Примітка 8.23. Значення параметру $MTTR$ враховується, починаючи з моменту фіксації стану непрацездатності обладнання.

Примітка 8.24. Параметри $K\epsilon$ та $MTTR$ визначаються для усього обладнання,

що використовується для надання послуги.

8.3.4 Умови, точки та порядок вимірювань

В процесі оцінювання параметрів якості транспортування пакетів необхідно дотримуватись загальних вимог щодо організації вимірювань, що були викладені на лекції №5. Крім того, під час вимірювань пікове навантаження крайового *IP*-маршрутизатора (маршрутизатора доступу *AR*), через котрий забезпечується доступ до *IP*-мережі, повинно не перевищувати 90%, а поточні значення параметру помилок $IPER_0$ цього маршрутизатору мають бути не більшими за $IPER_{max}$. Поточні значення параметру помилок $FRER_0$ крайового *FR*-комутатора мають бути не більшими за $FRER_{max}$.

Примітка 8.25. Дані, що є необхідними для обчислення поточних значень цих параметрів, накопичуються у базах *MIB* контрольованого обладнання за допомогою механізмів протоколу *SNMP*. Параметр $FRER_0$ обчислюється на основі спостереження за ознакою *FCS* у форматі фрейму.

Методи та порядок вимірювань параметрів якості обслуговування, що використовуються під час надання послуги абонентського *FR*-доступу до транспортної мережі *IP*, є аналогічними тим, що раніш було розглянуто у лекції №7. А саме, контроль якості обслуговування виконується за шлейфовою схемою на мережному рівні, тобто встановлюється режим періодичного тестування послідовностями *ICMP*-пакетів через фіксовані інтервали часу. За допомогою штатних механізмів *FR*-обладнання в каналі абонентського доступу утворюється *PVC*-з'єднання між пристроєм *FRAD* та крайовим *FR*-комутатором із гарантованою швидкістю передавання даних, що дорівнює *CIR*. Здійснюються активні вимірювання шляхом “пінгування” тестовими *IP*-пакетами через утворене *PVC*-з'єднання у прямому і зворотному напрямках передавання тестових даних. Однак в залежності від того, параметри якого рівня вимірюються – мережного чи каналного - використовуються різні пари точок вимірювань.

Використовується шлейфова схема організації вимірювань за схемою включення, що відображена на рис.8.4.

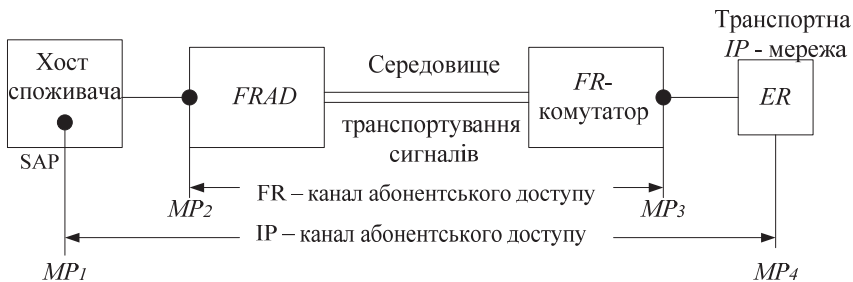


Рис.8.4. Схема організації вимірювань параметрів послуги абонентського доступу до транспортної IP-мережі з використанням обладнання Frame Relay

На рис.8.4 показана точка доступу до послуги SAP та відповідні пари вимірювальних точок. Зокрема, підчас вимірювань на IP-рівні необхідно замкнути між собою пару вимірювальних точок MP_4 (за допомогою програмних засобів крайового IP-маршрутизатора або хоста, що до нього приєднаний) та здійснювати “пінгування” тестовими ICMP-пакетами через точку MP_{egr1} , що розташована на SAP термінального хоста. При цьому спостереження за кореспондованими тестовими ICMP-пакетами, що просуваються IP-каналом абонентського доступу у зворотному напрямку від крайового IP-маршрутизатора до SAP, здійснюється у точці MP_{in1} , що розташована на SAP термінального хоста. Таким чином, пінгування, вимірювання та обробка результатів вимірювань параметрів IP рівня здійснюється штатними програмними засобами термінального обладнання споживача, а логічне замикання точок MP_4 – штатними програмними засобами крайового IP-маршрутизатора (маршрутизатора доступу) або хоста, що до нього приєднаний.

Під час вимірювань параметрів каналного рівня необхідно замкнути між собою пару вимірювальних точок MP_3 , але на мережному рівні (тобто, за допомогою програмних засобів спеціально виділеного хоста, що напряму без використання крайового IP-маршрутизатора приєднується до комутатора) та здійснювати “пінгування” тестовими ICMP-пакетами через точку MP_{egr1} , що розташована на SAP термінального хоста або через точку MP_{egr2} за допомогою спеціально виділеного хоста (у випадку виникнення проблем з хостом споживача). При цьому

спостереження за кореспондованими тестовими пакетами, що просуюваються абонентським *FR*-каналом у зворотному напрямку від крайового *FR*-комутатора до *FRAD*, здійснюється у точці MP_{in2} , що створюється програмними засобами спеціально виділеного хоста.

Примітка 8.26. На практиці існує можливість здійснювати вимірювання з боку крайового вузлу *IP*-мережі. В цьому випадку замикання шлейфу робиться парою точок MP_i , а “пінгування” та обробка результатів вимірювань виконується за допомогою програмних засобів крайового вузлу.

Параметри процесу тестування (тобто, структура тестового потоку *ICMP*-пакетів, періодичність звітування тощо) – згідно п. 8.1.4.

В процесі вимірювань мають виконуватися такі дві умови:

1) в кожен один тестовий фрейм необхідно упаковувати лише один пакет;

2) уся тестова послідовність *ICMP*-пакетів має упаковуватися у тестовий потік фреймів з ознакою $DE=0$, тобто у потік *CIR*.

За цих умов поточні оцінки вимірювальних параметрів та норми на параметри якості обслуговування щодо потоків *FR* та *IP* співпадають. Це надає можливість виконати оцінювання параметрів послуги із транспортування потоків фреймів на відповідність нормам шляхом вимірювань та відповідних розрахунків параметрів мережного рівня.

На вимогу споживача або після виявлення ознак невідповідності параметрів *PVC*- з'єднання на рівнях за стеком протоколів, що є вищими за канальний рівень, та котрі не були усунуті засобами мережного рівня, здійснюється аналіз параметрів канального рівня.

Розрахунок звітних значень параметра $FRTD_0$ здійснюється за результатами кожного сеансу вимірювань, параметрів $FRLR_{0(CIR)}$, $FRLR_{0(EIR)}$ - за результатами кожної серії сеансів вимірювань. Параметр $FRER_0$ розраховується на звітному проміжку, що дорівнює 1 добі.

8.3.5. Дії у разі виявлення невідповідності

В процесі надання послуги абонентського доступу до транспортної мережі *IP* з використанням обладнання *Frame Relay*

здійснюється постійний контроль поточного стану обслуговування на рівні *IP*. Такий контроль виконується шляхом відслідковування поточних оцінок параметра втрат пакетів $IPLR_0$. У процесі поточного контролю цього параметру може виявитись перевищення його нормативного значення $IPLR_{max}$. У цьому випадку необхідно переконатися в коректності роботи обладнання мережного рівня (кінцевого хоста та крайового *IP*-маршрутизатора), наприклад шляхом відключення від нього каналного *FR*-обладнання і “пінгування” тестовими пакетами по локальним шлейфам кінцевого хоста та крайового *IP*-маршрутизатора, що створюються як на ближньому, так і на віддаленому кінцях контрольованого *PVC*-з’єднання. Якщо проблем на рівні протоколу *IP* (і вище) на локальних шлейфах не виявлено, необхідно розпочати пошук проблем в роботі *FR*-обладнання.

Плановий періодичний контроль параметрів якості надання послуги абонентського доступу до транспортної мережі *IP* з використанням обладнання *Frame Relay* виконується шляхом відслідковування поточних оцінок усіх параметрів мережного рівня (не тільки $IPLR_0$), які мають співпадати з оцінками параметрів каналного рівня. У процесі планового контролю може виявитись перевищення будь-якого із нормованих значень параметрів. У цьому випадку необхідно переконатися в коректності роботи обладнання мережного рівня.

Примітка 8.27. Пошук шляхів вирішення проблем невідповідності на каналному рівні щодо контрольованого *PVC*-з’єднання має сенс лише для потоку тестових фреймів с ознакою $DE=0$, швидкість котрого встановлюється на рівні *CIR*.

Примітка 8.28. Пінгування *ICMP*-пакетами в потоці фреймів з ознакою $DE=1$ (тобто, організація тестових *EIR*-потоків) здійснюється з метою оцінки ненормованого параметра $FRLR_0$ (*EIR*) в процесі визначення рівня завантаженості крайового *FR*-комутатора, через який здійснюється абонентський доступ.

У випадку виникнення невідповідностей під час транспортування пакетів *IP* через канал абонентського доступу, що створений на основі використання обладнання *FR*, необхідно перейти до повномасштабних системних вимірювань параметрів, що надані в табл.8.6, та пошуку шляхів вирішення виявленої

проблеми спочатку на мережному, а потім на каналному рівнях. Якщо на цих рівнях проблему не вирішено, необхідно дослідити працездатність обладнання фізичного рівня, що, можливо, призведе до необхідності відключення корисного навантаження від проблемного абонентського каналу.

У разі виявлення перевищень нормованих значень мережно-орієнтованих параметрів розпочинають пошук проблем, пов'язаних із відмовами в роботі мережного обладнання згідно з положеннями регламентуючої експлуатаційної документації на мережне обладнання, що використовується.

8.4. Вимірювання параметрів абонентського доступу до транспортної мережі IP з використанням обладнання xDSL

Структурна схема обладнання xDSL, параметри котрого мають бути охоплені контролем під час надання послуги абонентського доступу до транспортної мережі IP з використанням обладнання xDSL, відображена на рис.8.5. Як бачимо, одна лінія зв'язку xDSL може включати у себе від одного до трьох аналогових транспортних каналів, тобто від одної до трьох пар фізичних проводів абонентських ліній телефонного зв'язку. На вузлі доступу до IP-мережі лінія xDSL приєднується до мультиплексу абонентського доступу xDSL, тобто до DSLAM (*Digital Subscribe Access Multiplexor*). Цей мультиплексор може бути конструктивно виконаний у вигляді окремого пристрою або входити до складу серверу абонентського доступу AS або до складу маршрутизатору абонентського доступу AR.

8.4.1 Параметри функціональності

Параметри функціональності щодо трафіка IP розглянуто у підрозділі 8.1.1 цієї лекції. Параметри функціональності щодо трафіка xDSL (це – параметри RL_{AD} , RC_{AD} , RL_{AR} , RC_{AR}) визначені у підрозділі 6.6 лекції №6. Зокрема, це бітова швидкість передавання даних:

- у дуплексній лінії xDSL - **RL (Rate line)**;
- у дуплексному аналоговому транспортному каналі, який утворений на основі однієї із фізичних пар телефонних проводів, що прокладена між споживачем мережних послуг і вузлом

електрозов'язку – **RC (Rate channel)**.

Зрозуміло, що слід відрізнити параметри швидкості для лінії *xDSL* від параметрів швидкості для транспортного каналу, утвореного на базі однієї із телефонних пар.

RL_{AD} - швидкість передавання даних у прямому напрямку передачі через абонентську лінію *xDSL* (тобто, від вузла зв'язку до покупця послуги), що вимірюється у біт/с (*bps – bits per second*).

RC_{AD} – швидкість передавання даних у прямому напрямку передачі через транспортний канал *xDSL*, що вимірюється у біт/с.

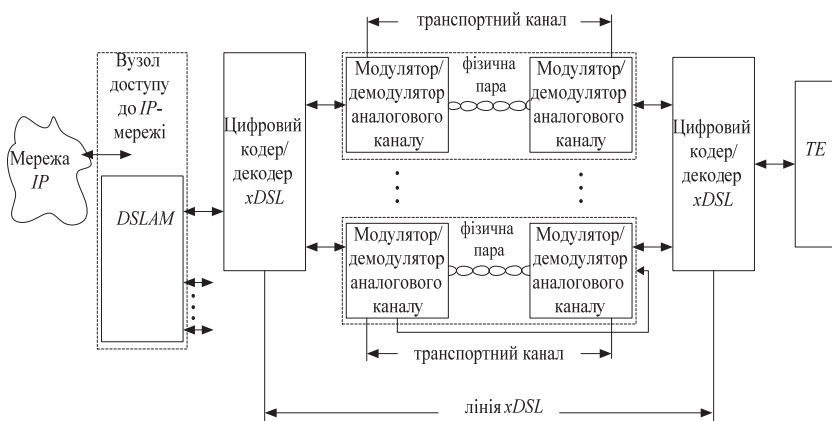


Рис.8.5. Структурна схема абонентського доступу з використанням обладнання

8.4.2. Параметри якості транспортування фреймів *xDSL* (тобто, на параметри *QoS* та *NP* обладнання абонентського *xDSL*-доступу)

Класифікатор параметрів якості обслуговування при наданні послуги абонентського доступу до транспортної *IP*-мережі з використанням обладнання *xDSL*, технічна та організаційна підтримка котрих має забезпечуватися операторами електрозов'язку, містить дві підмножини параметрів. Перша підмножина характеризує якість обслуговування на рівні використання обладнання *IP*. Визначення параметрів цієї підмножини надано у розділі 8.1 Параметри другої підмножини, які характеризують якість обслуговування на рівні використання обладнання *xDSL*,

надані у підрозділі 6.5.1.2 лекції №6.

8.4.3. Нормативи на параметри якості у розрізі класів обслуговування

Рекомендовані норми на показники якості обслуговування, що стосуються мережного рівня (тобто, рівня *IP*) надання послуги абонентського доступу до транспортної *IP*-мережі з використанням обладнання *xDSL*, наведені у табл.8.7.

Експлуатаційні норми на параметри якості обслуговування каналного рівня при наданні послуги абонентського доступу до транспортної мережі *IP* з використанням обладнання *xDSL* наведені у табл.8.8.

Пояснення щодо нормування параметрів обладнання *xDSL* було надано у підрозділі 6.5.1.3 лекції №6.

Таблиця 8.7

Нормативні значення показників якості обслуговування мережного рівня при наданні послуги абонентського доступу до транспортної мережі *IP* з використанням обладнання *xDSL*

Параметри <i>IP</i> -обладнання	Характеристика параметра	Клас 0	Клас 1	Клас 2	Клас 3	Клас 4	Клас 5
Сервіс-орієнтовані параметри							
$IPTD_{max}$	Верхня межа щодо затримки пакетів, мс	10	160	200	200	400	н/в
$IPDV_{max}$	Верхня межа щодо варіації затримки, мс	10	10	60	н/в	н/в	н/в
P_{max} ($IPTD_{max}$)	Поріг ймовірності перевищення $IPTD_{max}$, безрозмірний	1×10^{-2}	1×10^{-2}	1×10^{-2}	5×10^{-2}	н/в	н/в
P_{min}	Поріг	1,0	1,0	н/в	н/в	н/в	н/в

$(IPDV_{max})$	відсотка неперевищен ня $IPDV_{max}$, % (у відсотках)						
$P_{IPSA_{min}}(PIA)$	Нижня межа щодо відсотка часу доступності послуги, % (у відсотках)	99	99	99	99	н/в	н/в
$T_{IPU_{max}}(TIU)$	Верхня межа щодо годин недоступност і послуги, годин на рік	38	38	38	38	н/в	н/в
Мережно-орієнтовані параметри							
$IPLR_{max}$	Верхня межа втрат пакетів, безрозмірна	1×10^{-3}	1×10^{-3}	1×10^{-3}	1×10^{-3}	1×10^{-3}	н/в
$IPER_{max}$	Верхня межа помилкових пакетів, безрозмірна	1×10^{-4}	1×10^{-4}	1×10^{-4}	1×10^{-4}	1×10^{-4}	н/в
Kz_{min}	Нижня межа коефіцієнту готовності	0,996	0,996	0,996	0,996	0,996	н/в
Сервіс/мережно-незалежні параметри							
$MTTR_{max}$	Верхня межа середнього часу відновлення працездатнос	300	300	300	300	500	н/в

	ті, хвилин						
--	---------------	--	--	--	--	--	--

Примітка 8.29. Позначка “н/в” означає “не визначено”.

Примітка 8.30. Нормативні визначення параметрів IPD_{max} , $IPDV_{max}$, $IPLR_{max}$ та $IPER_{max}$ узгоджені з рекомендаціями *ITU-T Recommendation Y.1541*.

Примітка 8.31. Значення параметру $P_{IPSA_{min}}$ визначається за тими ж умовами, що і при наданні транспортної *IP* -послуги.

Примітка 8.32. Значення параметру RP_{max} визначається умовами *SLA*.

Примітка 8.33. Значення параметру $MTTR_{max}$ враховується, починаючи з моменту фіксації стану неприцездатності обладнання.

Таблиця 8.8

Експлуатаційні норми на параметри каналного рівня при наданні послуги абонентського доступу до транспортної мережі *IP* з використанням обладнання *xDSL*

Довгострокові норми		Оперативні норми	
<i>ESR</i>	<i>SESR</i>	<i>ESR</i>	<i>SESR</i>
0,012	0,0002	0,006	0,0001

Примітка 8.34. Із всієї множини параметрів *xDSL* каналного рівня, що розглянуті у підрозділі 6.5.1.2 лекції №6, нормуються лише параметри *ESR* та *SESR*. Нагадаємо, що *ES* (*errors seconds*) – це проміжок часу (вимірний у секундах), впродовж котрого спостерігаються помилки усіх видів у каналі, котрий знаходиться у стані готовності. Тобто, *ES* – це кількість секунд з помилками, що виявлені серед усіх секунд готовності каналу *AS*. Секунди з помилками, що виявлені у стані неготовності каналу *UAS*, не враховуються. *ESR* (*errors seconds rate*) – коефіцієнт помилок щодо секунд з помилками [безрозмірна величина] – це відносна кількість секунд з помилками *ES* щодо загальної кількості секунд у *AS*.

Примітка 8.35. Підрахунок *ES* та *SES* під час визначення *ESR* та *SESR* здійснюється тільки на інтервалах придатності лінії *xDSL* до користування, тобто секунди *UAS* не враховуються.

Примітка 8.36. У рекомендації *G.821* надані норми щодо повного міжнародного *ISDN*-з’єднання: для $ESR < 0,08$ і для $SESR < 0,002$. У цій рекомендації надано також розподіл цих норм між трьома визначеними дільницями такого з’єднання. Для дільниці абонентського доступу визначені наступні норми: $ESR < 0,012$, $SESR < 0,0002$. Саме ці значення вибрані у якості норм для лінії *xDSL*, що використовується для абонентського доступу.

Примітка 8.37. Значення нормованих показників *ESR* та *SESR* для оперативних норм відповідно до рекомендації *G.821* удвічі менші значень цих показників для довгострокових норм.

8.4.4 Умови, точки та порядок вимірювань

Структурна схема організації вимірювань параметрів якості обслуговування при наданні послуги абонентського доступу до транспортної *IP*-мережі з використанням обладнання *xDSL*, відповідні точки доступу до послуги та пари вимірювальних точок відображені на рис.8.6.



Рис.8.6. Схема вимірювань параметрів послуги абонентського доступу до транспортної *IP*-мережі з використанням обладнання *xDSL*

Умови, методи, точки та порядок вимірювань параметрів каналного рівня обладнання *xDSL* аналогічні тим, що наведені у підрозділі 6.6.1.4 лекції №6.

Обладнання *xDSL* передбачає вимірювання лише параметрів *ESR* та *SESR*. Ці вимірювання здійснюються у реальному часі у фоновому режимі за схемою «точка – точка» без відключення корисного навантаження на лінію *xDSL*. Період одного сеансу вимірювань під час контролю – 15 хвилин.

8.4.5 Дії у разі виявлення невідповідності

В процесі надання послуги абонентського доступу до транспортної мережі *IP* з використанням обладнання *xDSL* здійснюється постійний контроль поточного стану обслуговування на рівні *IP*. Такий контроль виконується шляхом відслідковування поточних оцінок параметра втрат пакетів $IPLR_0$. У процесі

поточного контролю цього параметру може виявитись перевищення його нормативної межі $IPLR_{max}$. У цьому випадку необхідно переконатися в коректності роботи обладнання мережного рівня, наприклад шляхом відключення від нього канального $xDSL$ -обладнання і “пінгування” тестовими пакетами по локальному шлейфу, що створюється як на ближньому, так і на віддаленому кінцях абонентського каналу. Якщо проблем на рівні протоколу IP (і вище) на локальних шлейфах не виявлено, необхідно розпочати пошук проблем в роботі $xDSL$ -обладнання.

Плановий періодичний контроль параметрів якості надання послуги абонентського доступу до транспортної мережі IP з використанням обладнання $xDSL$ виконується шляхом відслідковування поточних оцінок усіх параметрів мережного рівня (тобто, усіх параметрів із табл.8.7, не тільки $IPLR_0$) за умов, коли в кожен один тестовий фрейм $xDSL$ упаковується лише один пакет IP . У процесі планового контролю може виявитись перевищення будь-якого із нормативних значень параметрів. У цьому випадку необхідно переконатися в коректності роботи обладнання мережного рівня, зокрема виконуючи дії згідно п.8.1.5.

У разі виявлення перевищень нормативних значень мережно-орієнтованих параметрів на шлейфі, побудованому згідно рис.8.6 між парами вимірювальних точок MP_1 та MP_4 , розпочинають пошук проблем, пов'язаних із відмовами в роботі мережного обладнання згідно з положеннями регламентуючої експлуатаційної документації на мережне обладнання, що використовується. Від оперативного експлуатаційного контролю відповідності параметрів, що надані в табл.8.7, переходять до системних вимірювань канального рівня (починаючи із вимірювань параметрів, що зазначені у табл.8.8).

Примітка 8.38. У ряді випадків такі вимірювання потребують відключення корисного навантаження від проблемної лінії $xDSL$ або проблемного транспортного каналу $xDSL$.

Якщо дослідження проблем канального рівня не дало позитивного результату, необхідно здійснити комплекс повномасштабних вимірювань фізичного рівня з урахуванням положень, що викладені у лекції №6.

Контрольні питання до восьмої лекції

1. Що таке наскрізне з'єднання типу “точка – точка”?
2. Наведіть та поясніть схему організації вимірювань параметрів обладнання транспортної *IP*-мережі при наскрізному з'єднанні типу “точка –точка”.
3. Що таке *SAP (Service Access Point)*?
4. Наведіть та поясніть схему організації вимірювань параметрів обладнання транспортної *IP*-мережі при наскрізному з'єднанні типу “споживач-споживач”.
5. Надайте характеристики параметрам функціональності послуг із транспортування пакетів.
6. Надайте характеристики параметрам якості транспортування пакетів.
7. Які показники доступності транспортної послуги Ви знаєте?
8. Які показники доступності мережного обладнання Ви знаєте?
9. Які показники експлуатаційної надійності Ви знаєте?
10. Що таке клас обслуговування?
11. Який існує порядок вимірювань параметрів наскрізних *IP*-з'єднань?
12. Яка має бути структура тестового потоку пакетів *IP* при вимірюваннях параметрів наскрізного *IP*-з'єднання?
13. Які дії має виконувати експлуатаційний персонал у разі виявлення невідповідності під час поточного контролю якості наскрізного з'єднання?
14. Наведіть та поясніть базову схему вимірювань для оцінювання параметрів абонентського *IP*-доступу до глобальної транспортної мережі.
15. Наведіть та поясніть схему організації вимірювань параметрів послуги абонентського доступу до транспортної *IP*-мережі з використанням обладнання *Frame Relay*.
16. Надайте характеристики параметрам послуги абонентського доступу до транспортної *IP*-мережі з використанням обладнання *Frame Relay*.
17. Які мають бути параметри процесу тестування під час вимірювань параметрів послуги абонентського доступу до транспортної *IP*-мережі з використанням обладнання *Frame Relay*?
18. Які дії має виконувати експлуатаційний персонал у разі

виявлення невідповідності під час поточного контролю параметрів послуги абонентського доступу до транспортної *IP*-мережі з використанням обладнання *Frame Relay*?

19. Наведіть та поясніть схему організації вимірювань параметрів послуги абонентського доступу до транспортної *IP*-мережі з використанням обладнання *xDSL*.

20. Надайте характеристики параметрам послуги абонентського доступу до транспортної *IP*-мережі з використанням обладнання *xDSL*.

21. Які мають бути параметри процесу тестування під час вимірювань параметрів послуги абонентського доступу до транспортної *IP*-мережі з використанням обладнання *xDSL*?

22. Які дії має виконувати експлуатаційний персонал у разі виявлення невідповідності під час поточного контролю параметрів послуги абонентського доступу до транспортної *IP*-мережі з використанням обладнання *xDSL*?

Література до восьмої лекції

1) Г.Ф. Конахович, В.М. Чуприн. Сети передачи пакетной коммутации.–К.: МК-Пресс, 2006. Розділи 9, 10 та 14.

НАВЧАЛЬНЕ ВИДАННЯ

КОНАХОВИЧ Георгій Филімонович,
ЧУПРИН Володимир Михайлович
МАЧАЛІН Ігор Олексійович
ТКАЛІЧ Олег Петрович

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ СИСТЕМ

ПІДРУЧНИК

Технічний редактор *А. І. Лавринович*
Коректор *Л. М. Романова*

Підписано до друку 17.09.2014 р. Формат 60x84 1/16.
Друк лазерний. Папір офсетний. Гарнітура Times New Roman.
Ум. друк. арк. 20,9. Тираж 500 прим.

ТОВ «Видавництво «Центр учбової літератури»
вул. Електриків, 23 м. Київ 04176
тел./факс 044-425-01-34
тел.: 044-425-20-63; 425-04-47; 451-65-95
800-501-68-00 (безкоштовно в межах України)

Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи до державного реєстру видавців,
виготівників і розповсюджувачів видавничої продукції
ДК № 4162 від 21.09.2011 р.