

**МІНІСТЕРСТВО ОБОРОНИ УКРАЇНИ**

---

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ОБОРОНИ УКРАЇНИ**

**М. Д. Огороднійчук,  
Ю. Д. Чайка, О. Г. Оксіюк**

**КОМПЛЕКСИ І ЗАСОБИ  
ВІЙСЬКОВИХ  
ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ  
МЕРЕЖ**

**КИЇВ – 2010**

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ОБОРОНИ УКРАЇНИ

---

Кафедра зв'язку, АСУ та захисту інформації

М. Д. Огороднійчук, Ю. Д. Чайка, О. Г. Оксіюк

КОМПЛЕКСИ І ЗАСОБИ  
ВІЙСЬКОВИХ  
ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ  
МЕРЕЖ

*За редакцією професора М. Д. Огороднійчука*

Рекомендовано  
Міністерством освіти і науки України  
як навчальний посібник  
для студентів вищих навчальних закладів

*Видання університету*  
2010



УДК 621.396.9.(07)

**Огороднійчук М. Д., Чайка Ю. Д., Оксіюк О. Г.**

Комплекси і засоби військових телекомунікаційних мереж : навч. посіб. / за ред. проф. М. Д. Огороднійчука – К. : НУОУ, 2010. – 384 с.

Розглядаються програмні питання з субдисципліни “Комплекси і засоби військових телекомунікаційних мереж”, які вивчаються у складі програм варіативної і трьох вибіркових дисциплін.

Навчальний посібник призначається для слухачів-зв'язківців факультету оперативно-тактичного рівня. Матеріал посібника може бути корисним і для слухачів інших факультетів.

УДК 621.396.9.(07)

*Авторський колектив:* Огороднійчук М. Д. доктор технічних наук, професор (п. 2.4, 6.5, 6.6, 7.6, глави 1, 4, 5, 8–19, за винятком п. 1.3, 4.1, 4.2, 5.1); Чайка Ю. Д. кандидат фізико-математичних наук, доцент (п. 1.3, глави 2, 3, 6, 7, за винятком п. 2.4, 6.5, 6.6, 7.1, 7.2, 7.3, 7.6); Оксіюк О. Г. кандидат технічних наук, доцент (п. 4.1, 4.2, 5.1, 7.1, 7.2, 7.3).

## Умовні скорочення

АК	–	апаратура користувача
АКФ	–	автокореляційна функція
АнС	–	аналоговий сигнал
АС	–	абонентська станція
АСН	–	апаратура супутникової навігації
АСУВ	–	автоматизована система управління військами
АЦП	–	аналого-цифровий перетворювач
АЧХ	–	амплітудно-частотна характеристика
БДЧР	–	багатостанційний доступ з частотним розподілом
БДЧсР	–	багатостанційний доступ з часовим розподілом
БС	–	базова станція
ВЗ	–	вузол зв'язку
ВЗв	–	військовий зв'язок
ВОК	–	волоконно-оптичний кабель
ВОСП	–	волоконно-оптична система передачі
ВРЗв	–	військовий радіозв'язок
ВТЗ	–	високоточна зброя
ВЧ	–	високі частоти
ГЛОНАСС	–	глобальна навігаційна супутникова система
ДМХ	–	дециметрові хвилі
ДР	–	диференціальний режим
ДС	–	діаграма спрямованості
ДТП	–	дальнє тропосферне поширення
ЕМС	–	електромагнітна сумісність
ЕМХ	–	електромагнітна хвиля
ЕОМ	–	електронно-обчислювальна машина
ЗРХ	–	земна радіохвиля
ЗС	–	земна станція
ІКМ	–	імпульсно-кодова модуляція
ІНС	–	інерціальна навігаційна система
ІРХ	–	іоносферна радіохвиля
ІС	–	інформаційний сигнал
КА	–	космічний апарат
КАМ	–	квадратурна амплітудна модуляція
КВК	–	командно-вимірювальний комплекс
КЗЗ	–	кінцевий засіб зв'язку
КІ	–	коректувальна інформація
ККС	–	контрольно-коректувальна станція
КП	–	кінцевий пристрій
КРК	–	кодове розділення каналів
КСД	–	коефіцієнт спрямованої дії
КТА	–	каналотвірна апаратура

КУ – команда управління  
КХ – короткі хвилі  
КЦ – комутаційний центр  
ЛЗ – лінія затримки  
ЛІНС – лазерна інерціальна навігаційна система  
ЛОМ – локальна обчислювальна мережа  
ЛТ – лінійний тракт  
МЗЧ – мінімальний зсув частот  
ММХ – міліметрові хвилі  
МС РНС – мережна супутникова радіонавігаційна система  
МХ – метрові хвилі  
НШСЗ – навігаційний штучний супутник Землі  
ОВ – одномодове волокно  
ОРЧ – оптимальна робоча частота  
ОС – оптичний сигнал  
ОСбЧ – оптимальна субчастота  
ОСЛУ – оперативно-стратегічна ланка управління  
ОСНОД – об'єднана система навігації, опізнання і передачі даних  
ОТЛУ – оперативно-тактична ланка управління  
ОЦК – основний цифровий канал  
ПВП – псевдовипадкова послідовність  
ПК – персональний комп'ютер  
ПП – програмний пристрій  
ППРЧ – псевдовипадкове перестроювання робочої частоти  
ППС – пристрій перетворення сигналів  
Прд – передавач  
ПРМ – пакетна радіомережа  
Прм – приймач  
ПрП – приймач-передавач  
ПРХ – поширення радіохвилі  
РЕБ – радіоелектронна боротьба  
РРЗ – радіорелейний зв'язок  
РРЛ – радіорелейна лінія  
РРС – радіорелейна станція  
РХ – радіохвиля  
РЧС – радіочастотний сигнал  
СбЧ – субчастота  
СКП – середньоквадратична похибка  
СП – система передачі  
СР – супутник-ретранслятор  
ССЗ – система супутникового (стільнікового) зв'язку  
СФ – смуговий фільтр  
ТА – телефонний апарат  
ТІ – тактовий імпульс  
ТКК – телекомунікаційний комплекс  
ТКМ – телекомунікаційна мережа  
ТКС – телекомунікаційна система  
Тлг – телеграфний  
ТЛУ – тактична ланка управління

- Тлф – телефонний  
 ТОЦ – Тактичний операційний центр  
 ТРЗ – тропосферний радіозв'язок  
 ТРЛ – тропосферна радіолінія  
 ТРС – тропосферна станція  
 ТТ – тональне телеграфування  
 ТЧ – тональна частота  
 ФМ – фазова модуляція  
 ФНЧ – фільтр низьких частот  
 ЦАП – цифро-аналоговий перетворювач  
 ЦГС – цифровий груповий сигнал  
 ЦКК – центр комутації каналів  
 ЦКП – центр комутації повідомлень  
 ЦЛС – цифровий лінійний сигнал  
 ЦС – цифровий сигнал  
 ЦСП – цифрова система передачі  
 ЧАРЛ – частотно-адаптивні радіолінії  
 ЧД – частотний демодулятор  
 ЧМ – частотна модуляція  
 ЧРК – частотне розділення каналів  
 ЧсРК – часове розділення каналів  
 ЧЧМ – частотно-часова матриця  
 ШПФ – швидке перетворення Фур'є  
 ШРД – ширококутний радіодоступ  
 ШСЗ – штучний супутник Землі  
 ШСС – ширококутний сигнал
- ACUS** – система загального користування  
**ADDS** – армійська система розподілу даних  
**ADSL** – асиметрична абонентська цифрова лінія  
**AFATDS** – система управління армійською польовою вогневою підтримкою  
**AMDPDS** – система управління авіаційним і ракетним повітряним захистом  
**ANSI** – Американський національний інститут стандартів  
**AON** – повністю оптична мережа  
**AOR** – територіальна зона відповідальності  
**ASAS** – система управління розвідкою і РЕБ  
**ATM** – режим асинхронної передачі  
**BCCS** – довідкова система  
**BCV** – машина бойового командування  
**BPSK** – бінарно-фазова модуляція  
**Bridge** – міст  
**C2V** – бойова машина командування та управління  
**CDMA** – багатостанційний доступ з кодовим поділом каналів  
**CIR** – погоджена швидкість пересилання даних  
**CNR** – система бойового радіозв'язку  
**CSMA/CD** – множинний (колективний) доступ з контролюванням несучої і виявленням колізій  
**CSSCS** – система управління бойовим тиловим забезпеченням  
**CSU/DSU** – модуль обслуговування каналу і даних

- DLSI – ідентифікатор віртуального каналу пересилання даних
- DS-CDMA – CDMA з прямим розширенням спектра у часовій області
- DSL – цифрова абонентська лінія
- DTE – кінцеве обладнання пересилання даних
- DTM – режим динамічної передачі
- EGNOS – Європейська глобальна навігаційна орбітальна система
- EPLRS – удосконалений комплекс місцевизначення і пересилання даних
- Ethernet – проста мережа
- ETSI – Європейський інститут стандартів по телекомунікації
- Fast Ethernet – “швидкісний” Ethernet
- FBCB2 – система управління силами на полі бою
- FDDI – оптоволоконний інтерфейс розподілу даних
- FDMA – множинний доступ з розділенням частот
- FH-OFDMA – множинний доступ з ортогональним частотним розділенням і ППРЧ
- FIFO – першим прийшов – першим обслуговується
- FR – ретрансляція кадрів
- FRAD – пристрій доступу до мережі ретрансляції кадрів
- Gateway – шлюз
- GPS – глобальна система місцевизначення
- GSM – глобальна система мобільного зв’язку
- HOST – головна обчислювальна машина
- Hub – концентратор
- Internet – об’єднана мережа
- ISDN – цифрова мережа з інтегрованим обслуговування (видів зв’язку)
- JTIDS – об’єднана система розподілу тактичної інформації
- LAN – локальна територіальна мережа
- LAPB – збалансований протокол доступу до каналу
- LEN – великий вузол доступу
- MAC – адреса управління доступом до середовища
- MC-CDMA – CDMA з кодовим розділенням і багаточастотною несучою
- MC-DS-CDMA – CDMA з розширенням спектра у частотно-часовій області
- MCS – система управління маневреними силами
- MIDS – військова система розподілу інформації
- MIMO – багатопозиційна антенна система
- MPLS – багатопротокольна комутація позначок
- MRN (MRS) – мобільна радіомережа (радіосистема)
- MSE – мобільне абонентське обладнання
- MSRT – апаратура радіозв’язку мобільних абонентів
- MUX – мультиплексор
- NC – вузол зв’язку
- NCS – мережні станції управління
- NID – цифровий пристрій узгодження
- NNI – інтерфейс “мережа–мережа”
- OCC-CDMA – CDMA з модуляцією комплементарними кодами
- OLT – оптичний лінійний термінал
- ONT – оптичний мережний термінал
- ONU – модуль оптичної мережі
- OTM – оптичний транспортний модуль
- OTN – оптична транспортна мережа



PAD – збирач-розбирач пакетів  
PDH – плезіохронна (майже синхронна) цифрова ієрархія  
PON – пасивна оптична мережа  
PVC – постійне віртуальне з'єднання  
QoS – служба якості обслуговування  
QPSK – квадратурна фазова маніпуляція  
RADSL – швидкісна DSL  
RAN – регіональна мережа  
RAU – точка радіодоступу  
RBX – установча АТС  
Repeater – повторювач  
Router – маршрутизатор  
RPR – протокол стійкої (динамічної) кільцевої мережі  
RS – радіостанція  
SDH – синхронна цифрова ієрархія  
SDSL – симетрична цифрова абонентська лінія  
SEN – малий вузол доступу  
SLA – угода про якість обслуговування  
SMUX – синхронний мультиплексор  
SONET – синхронна оптична мережа  
STM – синхронний транспортний модуль  
SVC – віртуальне з'єднання, що комутується  
Switch – комутатор  
TA – термінальний адаптер  
TAC – пересувний командний пункт  
TDMA – багатостанційний доступ з часовим розділенням каналів  
Token Ring – обертання маркера  
UNI – інтерфейс “користувач–мережа”  
VDSL – надшвидкісна цифрова абонентська лінія  
VSAT – система малих станцій супутникового зв'язку  
WAN – глобальна територіальна мережа  
Wi-Fi – технологія високоточного відтворення  
WLAN – широкосмугова LAN  
WLL – безпроводова лінія  
WMAN – широкосмугова регіональна (міська) мережа

## ПЕРЕДМОВА

Зв'язок завжди посідав дуже важливе місце у забезпеченні ефективного управління військами. Це знайшло віддзеркалення у поширеному серед військових афоризмі: “Без зв'язку нема управління, без управління нема перемоги”. У сучасних умовах роль якісного зв'язку зросла багаторазово.

У військових операціях недалекого майбутнього передбачається [3; 8; 13; 33; 37] використання розосереджених у широкому бойовому просторі різнорідних інформаційних платформ (розвідувальних супутників, псевдосупутників, повітряних платформ далекого радіолокаційного виявлення, різних наземних сил і засобів розвідки тощо), об'єднаних єдиною телекомунікаційною мережею з користувачами їх інформації (командуванням різних ланок управління, силами і засобами протиборства на землі, літаками та крилатими ракетами у повітрі, кораблями на морі тощо) у єдиний інформаційно-телекомунікаційний простір. Технічною основою для цього стануть перспективні засоби зв'язку та АСУВ, високопродуктивні комп'ютери, сучасне програмне забезпечення). Вони зроблять можливим: істотне зменшення часу доведення до користувачів повідомлень про важливі об'єкти і цілі; створення майже у реальному часі єдиної картини оперативно-тактичної обстановки; підвищення на цій основі рівня поінформованості командирів і обґрунтованості прийнятих ними рішень; упередження супротивника у прийнятті і виконанні рішень; швидку концентрацію сил та засобів і завдання удару.

У навчальному посібнику розглядаються концептуальні положення, принципи і технології побудови важливої частини цієї технічної основи – засобів і комплексів військових телекомунікаційних мереж. Ці питання є програмними в дисциплінах “Організація зв'язку та автоматизації управління військами в операціях”, “Системи зв'язку військового призначення”, “Інформаційні системи військового призначення”, “Організація захисту інформації”. Навчальний посібник складається з 19 глав, що містяться у двох розділах. Крім того, винесені в додатки сучасні і перспективні системи супутникового зв'язку (ССЗ) військового призначення (ВП) провідних країн НАТО (додаток 1), питання для самоконтролю (додаток 2) і предметний покажчик (додаток 3).

# Розділ I

## СИСТЕМОТЕХНІКА СУЧАСНИХ ТА ПЕРСПЕКТИВНИХ ЗАСОБІВ І КОМПЛЕКСІВ ВІЙСЬКОВОГО ЗВ'ЯЗКУ

### 1. Телекомунікаційні мережі

#### 1.1. Обґрунтування необхідності ущільнення, розділення і комутації каналів

Фізична лінія зв'язку великої протяжності – це складний і дорогий комплекс, до складу якого, крім середовища передачі сигналів, входить велика кількість пристроїв підсилення, перетворення та відновлення сигналів. Для підвищення ефективності їх використання потрібна апаратура, яка дала б змогу організувати одночасне пересилання великої кількості інформації однією фізичною лінією зв'язку, забезпечуючи незалежність повідомлень їх пересиланням окремими каналами багатоканальної системи. Апаратурою, що відповідає переліченим вимогам, виявилась каналотвірна апаратура (КТА), яка реалізує один із принципів ущільнення та розділення каналів: частотний (ЧРК), часовий (ЧсРК), кодовий (КРК) чи комбінований.

Каналотвірна апаратура універсальна. Вона забезпечує створення каналів зв'язку для радіо-, радіорелейних, тропосферних, супутникових, проводових, аналогових і цифрових систем.

Сукупність каналів зв'язку одного напрямку є лінійним трактом (ЛТ). КТА і ЛТ є складовими системи передачі (СП). На *рис. 1.1* показана відокремлена система передачі [4]. Її використання забезпечують кінцеві пристрої (КП) і пристрої перетворення сигналів (ППС).



*Рис. 1.1.* Відокремлена система передачі

Через високу вартість відокремлені системи передачі інформації створюють доволі рідко, використовуються вони все ще недостатньо ефективно, мають не завжди достатню надійність, живучість, пропускну спроможність.



стоту, цей вид топології є громіздким і малоефективним. Для його реалізації кожен вузол повинний мати велику кількість портів, а загальна кількість необхідних фізичних дуплексних ліній пов'язана з кількістю вузлів квадратичною залежністю:  $L=N(N-1)/2$ . Тому цей вид топології застосовується тільки в мережах з невеликою кількістю вузлів.

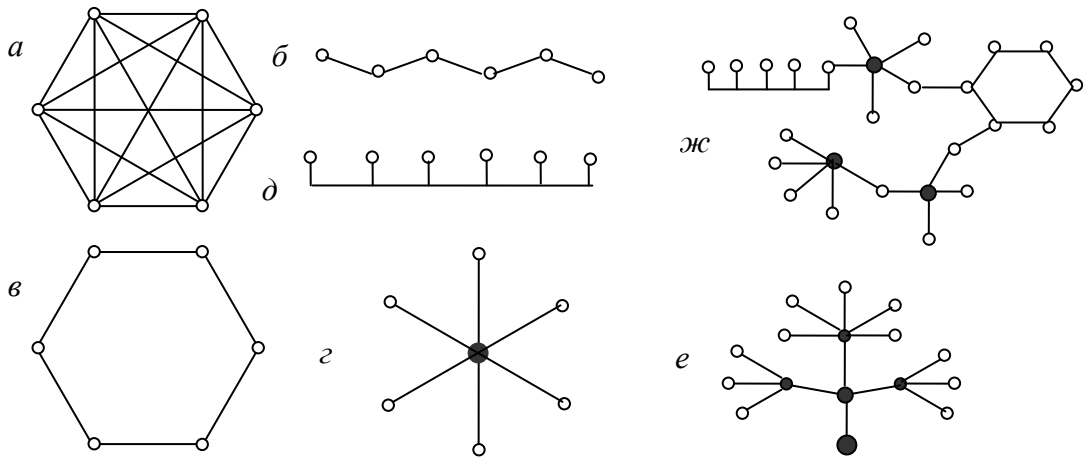


Рис. 1.3. Різновиди топологій

*Неповнозв'язна топологія* – це така топологія, в якій для обміну інформацією між вузлами може знадобитись її проміжна передача через інші вузли мережі. Для неї характерна лінійна залежність між кількістю ліній і ВЗ:  $L=N$  або  $N-1$ . Вона застосовується для створення як великих, так і малих мереж.

До типових неповнозв'язних топологій належать ломана лінія, кільце, зірка, спільна шина.

Лінійна топологія – найпростіша (рис. 1.3, б). Застосовується в радіорелейному, тропосферному і проводовому зв'язку.

Кільцева топологія (рис. 1.3, в) забезпечує підвищену надійність і живучість завдяки можливості передачі інформації як по часовій, так і проти часової стрілки. Зручна для організації зворотного зв'язку під час передачі квитанцій. Застосовується в локальних і регіональних мережах.

Зірчаста топологія (рис. 1.3, г) забезпечує спілкування між кінцевими вузлами через центральний елемент (комутатор, маршрутизатор, супутниковий ретранслятор тощо). Це складний пристрій з відповідною кількістю портів, який має бути досить надійним, тому що у разі виходу його з ладу рушиться уся система зв'язку.

Спільну шину (рис. 1.3, д) і радіосередовище можна розглядати як окремий випадок зірчастої топології, де центральним елементом є відповідно пасивний кабель або радіосередовище, в якому абоненти працюють на однакових хвилях. Достоїнства: дешевизна реалізації і простота нарощування ме-

режі. Недоліки: залежність надійності мережі від кабелів і роз'ємів, взаємні завади, що призводять до зменшення реальної пропускної спроможності при збільшенні кількості одночасно працюючих абонентів. До недавнього часу була популярною для локальних мереж.

Невеликі мережі, як правило, мають типову топологію: лінію, кільце, зірку або спільну шину. Для великих мереж характерні довільні зв'язки між кінцевими вузлами, типовими і не типовими топологіями, що входять до їх складу. Так, при ієрархічному об'єднанні лінійних і зірчастих топологій дістанемо деревоподібну топологію (рис. 1.3, е), при об'єднанні кільцевих топологій – сітчасту (решітчасту) структуру (рис. 1.5). Для сучасного військового зв'язку (ВЗв) найхарактернішими є мережі зі змішаною топологією (рис. 1.3, ж, 1.4), що створені на основі сітчастих структур.

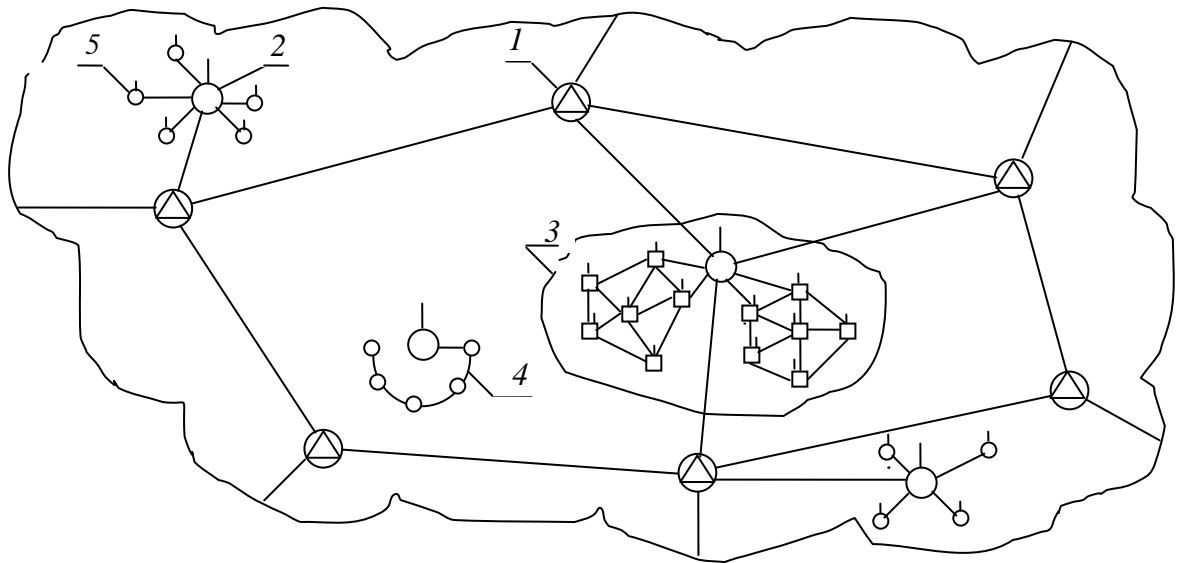
### 1.3. Переваги сітчастої структури над деревоподібною

Прообразом сучасних автоматизованих телекомунікаційних комплексів (ТКК) є організаційно-технічні об'єднання сил та засобів зв'язку з сітчастою територіальною структурою, що замінили об'єднання з деревоподібною структурою [55; 56]. Їх поява була зумовлена зміною засобів збройної боротьби на початку другої половини минулого століття.

Деревоподібні структури територіального розподілу засобів зв'язку складаються з ліній прямого зв'язку між КП різних ієрархічних ешелонів. Вузли зв'язку різних ешелонів територіально розташовуються поряд з відповідними КП. Повідомлення передаються тільки вздовж ієрархічної вертикалі. Виведення з ладу будь-якого ВЗ розриває відповідний напрям управлінської вертикалі. Тому структура є дієздатною лише за умови неможливості такого виведення.

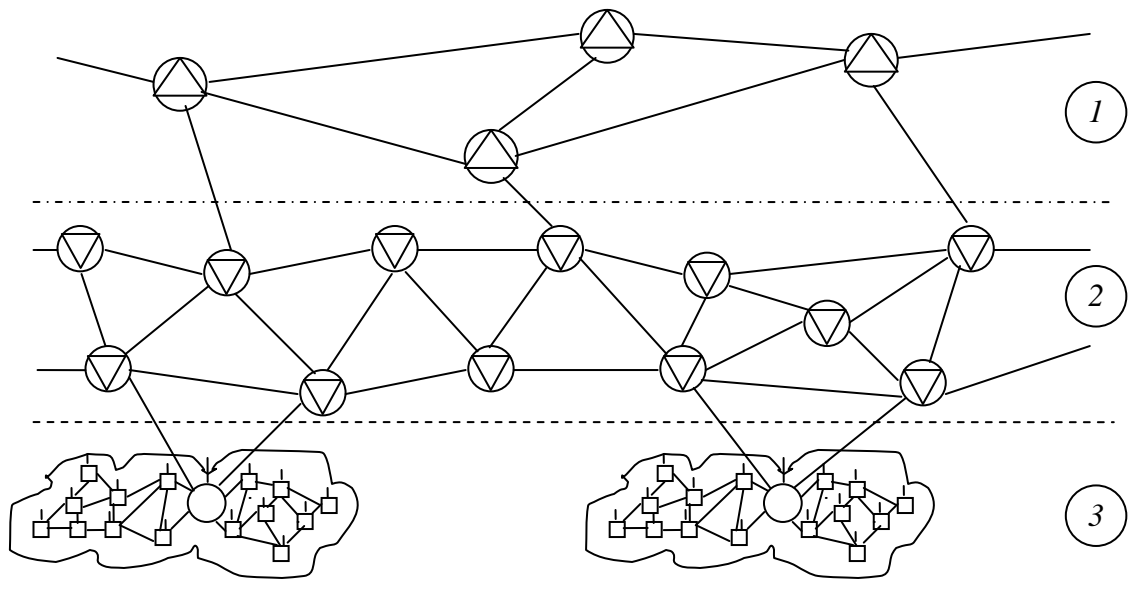
Активний розвиток зброї масового знищення (ядерної зброї) у 50-ті роки ХХ ст. сприяв необхідності переходу до сітчастої структури територіального розподілу засобів зв'язку (рис. 1.4, 1.5). Ця структура забезпечує створення каналів зв'язку між різними вузловими пунктами (точками перетину ліній сітки) різними шляхами за умови забезпечення комутації каналів у вузлових точках (*node*). Вузлові точки сітки розташовані на достатній відстані одна від одної (порядку десятків кілометрів) і, таким чином, виведення з ладу одного чи декількох вузлів залишає можливим зв'язок інших вузлів за рахунок використання маршрутів, що проходять осторонь від непрацездатних вузлів.

Ключовою умовою зміни маршрутів проходження каналів є комутація каналів в усіх вузлових пунктах – ручна чи автоматична. Автоматична комутація забезпечує коротший за часом перехід до нових маршрутів порівняно з ручною, і тому створення автоматичних вузлових комутаторів (*automatic switch*) є запорукою застосування розгалуженої сітчастої структури.



*Рис. 1.4.* Територіальний розподіл елементів глобальної мережі:  
 1 – вузол комутації; 2 – точка радіодоступу; 3 – локальна мережа інтегрального зв'язку; 4 – локальна комп'ютерна мережа; 5 – мобільні абоненти

Підвищення оперативності зв'язку на початковому етапі впровадження сітчастої системи досягалось використанням особистого командного зв'язку. Лінії прямого командного зв'язку використовувались в армії США до 80-х років XX сторіччя. Властивості сучасних сітчастих комплексів і можливість першочергової передачі повідомлень визначених абонентів дали змогу відмовитись від ліній прямого командного зв'язку.



*Рис. 1.5.* Ієрархічний взаємозв'язок елементів глобальної мережі:  
 1 – мережа ТВД; 2 – корпусна мережа; 3 – локальні бригадні мережі

З плином часу виникли нові чинники доцільності втілення сітчастих систем зв'язку і відповідно ліквідація загрози застосування зброї масового знищення у 60-ті роки не позначилась на тенденції розвитку сітчастих систем, започаткованих в 50-ті роки ХХ ст. Ці чинники пов'язані зі зміною ви-мог до операційної архітектури ведення бойових дій. Це такі чинники:

1) *необхідність зв'язку по горизонталі* на всій території оперативно-тактичної і тактичної ланок управління в доповнення до зв'язку по ієрархічній вертикалі, що забезпечувався системою ВЗв. У задоволенні потреби зв'язку по горизонталі важливу роль відіграв розвиток засобів автоматизації управління, пов'язаний з удосконаленням комп'ютерної техніки, скачок розвитку якої відбувся в 70-ті роки ХХ ст. (поява мікропроцесорної техніки);

2) *потреба в забезпеченні мобільного зв'язку* на всій території ведення бойових дій і можливість використання вузлів сітчастої структури як точок прив'язки для засобів мобільного зв'язку з подальшим виходом по горизонталі до будь-якої точки території ведення бойових дій; при цьому зв'язок по ієрархічній вертикалі поєднується зі зв'язком по горизонталі;

3) *великі обсяги інформації, що мають передаватись по горизонталі і вертикалі* в умовах автоматизованого управління військами, та адекватність сітчастої структури цій потребі шляхом розосередження потоків повідомлень територією;

4) *розвиток високоточної зброї*, яка за воєнними наслідками вживання замінила зброю масового знищення [33], забезпечуючи можливість ураження конкретних цілей без рушійного впливу на об'єкти, що не підлягають знищенню.

У цілому саме сітчасті системи зв'язку відповідають потребам створення якісної телекомунікаційної системи (ТКС) з динамічною топологією. З нормативних складових якості системи ВЗв структурна сітчастість системи забезпечує підвищення її стійкості, впливаючи на живучість та надійність, а також мобільності і пропускну спроможності. Інші складові бойової готовності системи ВЗв, а саме: безпека, завадостійкість і електромагнітна сумісність (ЕМС) радіоелектронних засобів – визначаються видом використовуваних сигналів і безпосередньо не пов'язані з сітчастістю структури. Друга складова якості системи ВЗв – функціональна сумісність підсистем (конструктивна, електрична, інформаційна, програмна, логічна) – пов'язана з сітчастістю структури опосередковано, а саме, через створення елементів сітчастих структур у вигляді комплексів засобів зв'язку.

**Структура ОТЛУ** [56]. Система армійського командування та управління СВ США (корпус – батальйон) діє в 5 функціональних областях, кожною з яких займається своя система управління. Це системи управління: маневреними силами (MCS); армійською польовою вогневою підтримкою (AFATDS); авіаційним і ракетним повітряним захистом (AMDPCS); бойовим тиловим забезпеченням (CSSCS); розвідкою і РЕБ (ASAS). У тактичній ланці



до них додається шоста область – система управління силами на полі бою (FBCB2). Органи управління цих функціональних систем обладнані однотипними засобами автоматизації зв'язку, забезпечують передавання повідомлень по горизонталі і вертикалі, завдяки чому досягається автоматизована інформаційна підтримка рішень командирів і штабів під час планування і координації бойових дій. У корпусній, дивізійній і бригадній ланках при КП створюються тактичні операційні центри, розосереджені на території. Зона відповідальності корпусу становить  $250 \times 160$  км, дивізії –  $47 \times 47$  км. Зв'язок усіх видів між органами управління усіх функціональних областей забезпечує телекомунікаційна транспортна система.

**Телекомунікаційна транспортна система** складається з 4-х систем: територіальної системи загального користування (ACUS); армійської системи розподілу даних (ADDS); системи бойового радіозв'язку (CNR); довідкової системи (BCCS).

1. Територіальна система будується: в ОСЛУ – у вигляді глобальної мережі (WAN) на основі комплексу TRI-TAC, в ОТЛУ – на основі комплексу MSE.

2. Армійська система створюється і розгортається у вигляді мережі з використанням засобів комплексу ADDS, які забезпечують автоматичну ретрансляцію повідомлень від його джерел до користувачів. А його складова – EPLRS, крім того, забезпечує визначення власного місцеположення абонентів і окремих пунктів на полі бою.

3. Система бойового радіозв'язку CNR обслуговує нижчі ланки (бригада – взвод), забезпечує передачу даних і мовних повідомлень на відстанях від одиниць до десятків кілометрів з використанням радіостанцій сімейств SINCGARS, NTDR, на основі яких будуються мережі різних ешелонів.

4. BCCS забезпечує метеоданими і різноманітними видами аналітичної інформації, використовуючи для збирання інформації засоби CNR і ACUS, а для передачі її абонентам – супутниковий зв'язок.

**Елементи перспективних систем ВЗв.** Якщо елементами існуючих систем є лінії, вузли і різні їх організаційні об'єднання, то елементами перспективних систем ВЗв є *автоматизовані* мережні комплекси вузлів і ліній, функціонуючих як єдине організаційно-технічне ціле. Це мережі 3-х видів: глобальна територіальна мережа (WAN), локальні територіальні мережі (LAN) і мережі мобільного зв'язку (MRS, або MRN). Вони пов'язані між собою за допомогою міжмережних інтерфейсів. При цьому мережі нижчих ешелонів можуть входити до складу мереж вищих ешелонів (див. рис. 1.3, 1.4).

WAN використовується в територіальних системах ОСЛУ і ОТЛУ (ешелони корпус – дивізія). Основними елементами WAN є вузли комутації, вузли доступу (великі LEN, малі SEN), точки радіодоступу (RAU) для мобільних абонентів, лінії зв'язку. WAN, що побудована на основі комплексу MSE, об-

слуговує  $\approx 26\,100$  абонентів, з яких 1900 мобільних, 16 000 – передають цифрові дані, 8200 – передають несекретні телефонні (Тлф) повідомлення.

*LAN* будується на обмеженій території (комп'ютерні мережі – десятки метрів, мережі інтегрованого зв'язку – одиниці кілометрів). У *LAN* використовується спільне середовище доступу, через яке забезпечується зв'язок. Невеликі за кількістю комп'ютерів *LAN* будуються за простими топологіями типу лінія, зірка, кільце.

*MRN*. Мережі мобільного зв'язку можуть бути основані на застосуванні: одноканальних радіостанцій, або засобів пакетного радіозв'язку з маршрутизацією і багатоступеневою передачею повідомлень, або засобів транкінгового зв'язку. Через точки радіодоступу RAU абоненти мають вихід на *LAN* і далі, за потреби, на *WAN*, а через *WAN* на абонентів інших мереж мобільного зв'язку. Засоби *MRN* працюють в різних діапазонах – від високих до ультрависоких частот. *MRN* можуть бути реалізовані одноканальними радіостанціями *SINGARS* і засобами комплексу *EPLRS*. Засоби *MRN* можуть використовуватися як у ранцевому варіанті, так і з наземних чи авіаційних рухомих платформ. Спільною рисою цих засобів є модульна конструкція.

## 1.4. Класифікація мереж

Існуючі ТКМ дуже різноманітні. Їх розрізняють:

- за належністю: державна, зокрема відомча цивільна чи військова, і приватна;
- за призначенням: загального або спеціального призначення;
- за топологією: повнозв'язна, неповнозв'язна: деревоподібна, кільцева, зіркоподібна (радіальна), сітчаста тощо;
- за родом зв'язку: радіо, радіорелейна, тропосферна, проводова, супутникова, поштова;
- за видом зв'язку: Тлф, телеграфна (Тлг), факсимільна, комп'ютерна, радіомовна, телевізійна, інтегрована тощо;
- за мобільністю елементів: стаціонарна, рухома, комбінована;
- за територіальною ознакою: глобальна, регіональна, локальна;
- за рівнем: первинна (опорна) і вторинна (накладена) або транспортна (магістральна) мережа і мережа доступу (прив'язки);
- за формою використовуваних сигналів: аналогова, цифрова, комбінована;
- за наявністю комутації: комутаційна, некомутаційна;
- за способом комутації: мануальна (ручна), автоматична;
- за видом комутуваних об'єктів: з комутацією каналів, повідомлень, пакетів;

- за способом обміну інформацією: синхронна, майже синхронна (пле-зіохронна), асинхронна;
- за технологією: ISDN, X.25, Frame Relay, ATM, Internet, Ethernet, Token Ring, FDDI тощо;

Прийmemo цю класифікацію за основу і за потреби будемо уточнювати і доповнювати її. А зараз зробимо деякі пояснення.

Будуючи єдину мережу зв'язку, економічно доцільно виділити з неї сукупність вузлів і систем передачі, які складають “скелет” цієї мережі. Цю сукупність назвали первинною (опорною) мережею, створили для неї окрему систему управління та експлуатації (рис. 1.6). А мережу, що побудована на базі оренди каналів первинної мережі, назвали вторинною (накладеною) мережею.

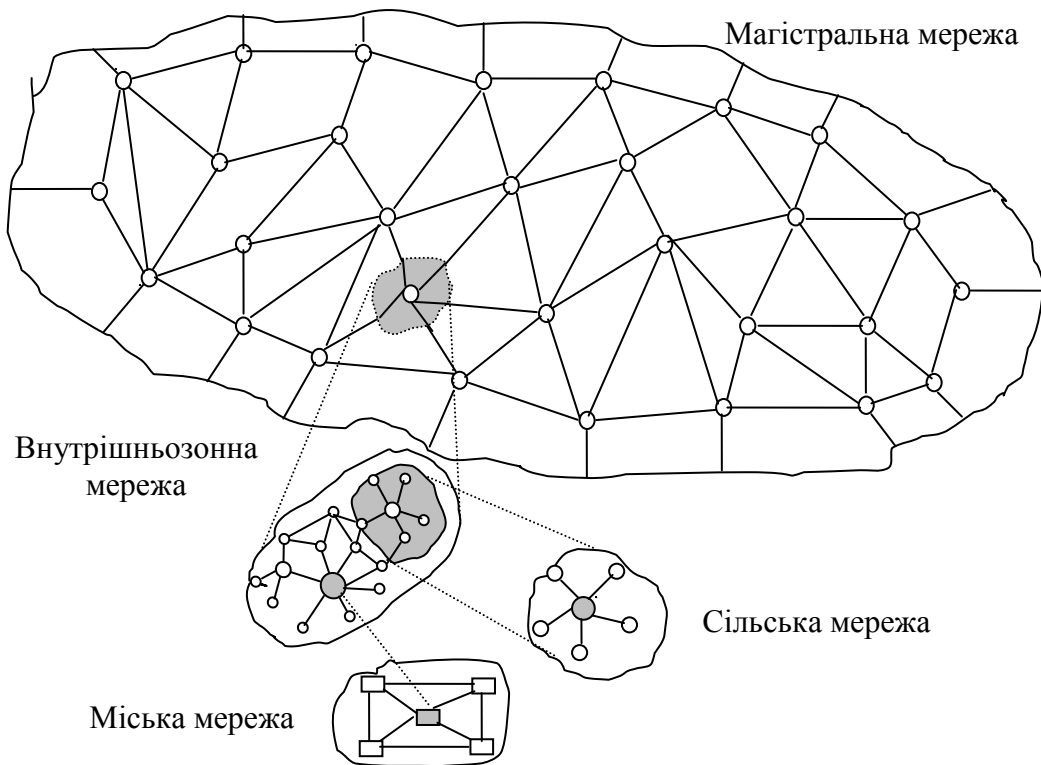


Рис. 1.6. Структура первинної мережі

Таким чином, вторинна мережа – це сукупність кінцевих пристроїв зазначеного виду, абонентських ліній, комутаційних пристроїв, а також каналів первинної мережі, виділених для даної вторинної мережі (рис. 1.7).

Вторинні мережі розрізняють за видом передаваної інформації і належністю.

Для сучасного періоду розвитку став характерним процес цифровізації і інтеграції видів зв'язку, який привів до створення на основі первинних і вторинних мереж нової дворівневої структури: транспортної (магістральної) мережі і мереж доступу. Транспортна мережа створена на базі цифрової пер-

винної мережі. Вона забезпечує організацію транспортних магістралей для цифрової передачі різних видів трафіка.

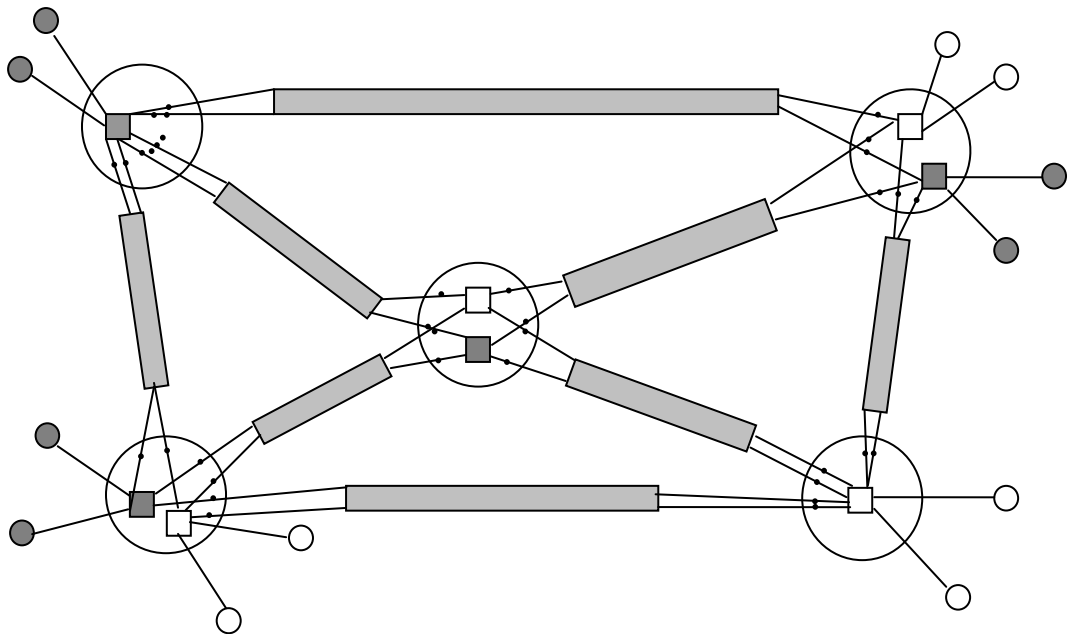


Рис. 1.7. Схема організації первинної і вторинних мереж (первинна мережа позначена прямокутниками, її межі – крапками, вузли комутації – квадратами, кінцеві засоби зв'язку – кружками, засоби різних вторинних мереж відрізняються кольором)

*Мережі доступу* – це мережі, за допомогою яких різні спеціалізовані сигнали від користувачів (завдяки каналам і лініям “останньої милі” (до 3–6 км)) передаються до портів транспортної мережі і в зворотному напрямку.

Глобальна мережа не обов'язково має охоплювати весь світ. Для цього достатньо, щоб вона була розгорнута на території хоча б однієї держави (мала розміри від сотень до тисяч кілометрів). Розміри регіональної мережі становлять десятки – сотні кілометрів, локальної мережі – одиниці метрів – одиниці кілометрів [26; 58].

Економічно доцільно будувати мережу за радіальною топологією, але її надійність гірша, ніж у сітчастої топології. Тому на практиці часто поєднують ці дві топології [5].

*Синхронні мережі* – це мережі з постійно діючою (незалежно від наявності сигналів) синхронізацією від високостабільних (не гірше  $10^{-11}$ ) генераторів.

*Плезіохронні мережі* – це мережі з тимчасовою синхронізацією від місцевих генераторів, автоматично підстроюваних на тривалий час від високостабільних генераторів.

*Асинхронні мережі* – це мережі з синхронізацією на період передавання і приймання сигналів [5; 26].

### **1.5. Зміст понять “комутація каналів” і “комутація пакетів” в сучасних ТКМ**

Під час **комутації каналів** (КЦ), виконуючи процедуру з’єднання, створюють між кінцевими ВЗ фізичний канал, складений з послідовно з’єднаних ділянок. Він нормально працюватиме, якщо швидкість генерування інформації не перевищуватиме пропускну спроможність жодної з ділянок, оскільки в КЦ такої мережі відсутня буферна пам’ять.

Достоїнство: якісна передача трафіків, чутливих до змінних затримок (мова, відео тощо).

Недоліки: затримка передавання на період встановлення з’єднання; відмова в обслуговуванні через зайнятість необхідних ділянок; низька ефективність використання пропускну спроможності фізичного каналу під час передачі сильно пульсуючих (комп’ютерних) трафіків.

Під час **комутації пакетів** [26] повідомлення до передачі в мережу поділяються на короткі пакети з адресною частиною і номером кожен. Пакети транспортуються мережею до кінцевого ВЗ незалежно один від одного (дейтаграмна передача). У комутаційних центрах є буферна пам’ять для зберігання пакетів на випадок перевантаження.

Достоїнства: можливість перерозподілу пропускну спроможності мережі між абонентами; можливість збільшення загальної середньої швидкості передачі сильно пульсуючих трафіків.

Недоліки: змінна тривалість затримки пакетів у буферній пам’яті КЦ при перевантаженнях.

Взагалі технологія комутації пакетів є перспективною, тому що вона є гнучкішою та універсальнішою. Проте під час створення віртуальних каналів, що підвищують якість обслуговування і зменшують ймовірність втрати пакетів, з нею успішно комбінується технологія комутації каналів. (Віртуальний канал – це канал, щодо якого користувач вважає, що він існує реально і надається тільки в його підпорядкування, хоча на справді фізичний канал, в якому прокладено цей віртуальний (логічний) канал, розподілений між багатьма користувачами).

Комутація каналів широко використовується також в магістралях.

## 2. Характеристики військового зв'язку та їх взаємозв'язок з характеристиками систем військового зв'язку

Властивість будь-якої системи, у тому числі системи ВЗв, визначається якістю виконання цільових функцій, для яких вона призначена. Цільова функція системи ВЗв полягає в забезпеченні обміну повідомленнями в системі управління військами (силами) і зброєю.

Якість виконання цільових функцій, як загальний показник, оцінюється окремими функціональними характеристиками, яким відповідають кількісні параметри (показники) якості виконання. Глава присвячена розгляду характеристик ВЗв і характеристик системи ВЗв, перелік яких є нормативним (відповідає вимогам [68]). Обов'язковою вимогою до фахівця в галузі ВЗв є знання переліку цих характеристик, їх змісту і кількісних показників.

### 2.1. Характеристики військового зв'язку

**Різновиди характеристик військового зв'язку і їх сутність.** Узагальненою характеристикою ВЗв будь-якого виду і роду є якість зв'язку, яка є *здатністю ВЗв забезпечувати своєчасне, достовірне та скритне передавання (приймання) інформації* ([68], п. 5.8.1):

$$p_{\text{як}} = p_{\text{як}}(T_{\text{пер}} \leq T_{\text{пер.пр}}, D \leq D_{\text{пр}}, \Pi_{\text{розв}} \leq \Pi_{\text{розв.пр}}),$$

де  $T_{\text{пер}}, T_{\text{пер.пр}}$  – час передачі повідомлень та його припустиме значення;  
 $D$ , – існуючий рівень помилок передачі повідомлень;  
 $D_{\text{пр}}$  – припустимий рівень помилок;  
 $\Pi_{\text{розв}}, \Pi_{\text{розв.пр}}$  – показник втрати скритності зв'язку (показник успішної розвідки повідомлень противником) та його припустиме значення.

Загальна ймовірність якісної роботи  $p_{\text{як}}$  розподіляється на три часткових показники, які відповідають ймовірності виконання кожної з вимог:  $T_{\text{пер}} \leq T_{\text{пер.пр}}, D \leq D_{\text{пр}}, \Pi_{\text{розв}} \leq \Pi_{\text{розв.пр}}$  (ймовірності своєчасної передачі повідомлень, ймовір-

ності зв'язку з припустимою достовірністю, ймовірності зв'язку з припустимою ймовірністю порушення скритності). Визначення цих понять зводиться до такого:

– *своєчасність (військового) зв'язку* є здатністю ВЗв забезпечувати обмін інформацією, її оброблення та розв'язання інформаційних і розрахункових задач у задані (нормативні) строки ([68], п. 5.8.2);

– *достовірність ВЗв* полягає в здатності військового зв'язку забезпечувати відтворення інформації з заданою точністю при її обміні та обробленні ([68], п. 5.8.3);

– *скритність ВЗв* є здатністю військового зв'язку зберігати у таємниці факт передачі інформації та її зміст під час її обміну, оброблення, зберігання та розв'язання інформаційних і розрахункових задач ([68], п. 5.8.4).

Якість зв'язку визначається особливостями електричних сигналів (зокрема, радіосигналів), які є матеріальними носіями повідомлень, і властивостями середовища поширення сигналів між вузлами ВЗв. Найбільша різноманітність умов передачі електричних сигналів властива радіозв'язку, тому основні характеристики ВЗв розглядатимуться на його прикладі.

*Радіосигнали* – це електромагнітні хвилі (ЕМХ), що поширюються від передавача (Прд) до приймача (Прм) радіосигналу через необмежене природне середовище (атмосферу) і не потребують створення штучних лінійних засобів (окрім засобів випромінювання та прийняття ЕМХ, тобто антен). Це дає змогу створення між віддаленими абонентами лінії прямого зв'язку, під якою розуміють “лінію ВЗв, що обладнана (розгорнута) безпосередньо між двома вузлами ВЗв та автоматизації пунктів управління або абонентами” ([68], п. 5.3.2).

**Скритність військового радіозв'язку (ВРЗв).** Основною позитивною рисою ВРЗв є відсутність штучних лінійних засобів і відповідно підвищена бойова готовність. Проте поширення ЕМХ між абонентами супроводжується їх поширенням в інших напрямках, і тому радіосигнали доступні для спостереження засобами розвідки протидіючою стороною. Таким чином, позитивні властивості радіозв'язку невід'ємно пов'язані з його природним недоліком щодо відкритості середовища поширення радіосигналів. Відповідно суттєвою характеристикою радіозв'язку є *його скритність*, загальне визначення якої має такий зміст: “здатність ВЗв зберігати у таємниці факт передачі та зміст інформації під час її обміну, оброблення, зберігання та розв'язання інформаційних і розрахункових задач” ([68], п. 7.4).

Скритність зв'язку поділяють на 3 види: енергетичну, структурну та інформаційну [31].

*Енергетична скритність* характеризує здатність радіозв'язку протистояти засобам радіорозвідки, спрямованим на виявлення факту передачі радіосигналів. Цей вид скритності може бути забезпечений за умови, якщо енерге-

тичний спектр радіосигналу не виділяється на фоні природних радіовипромінювань, що можливо тільки під час використання специфічного різновиду радіосигналів, а саме, широкосмугових сигналів [9; 20; 38].

*Структурна скритність* характеризує здатність використовуваних радіосигналів протистояти виявленню первинного сигналу, що передається лінією радіозв'язку, при цьому вважається, що факт передачі сигналу встановлений і форма радіосигналу виявлена. Загалом радіосигнал – це електромагнітне коливання  $e(t)$ , параметрами якого є змінна амплітуда  $E_m(t)$  і загальна фаза  $\Phi(t)$ , що пов'язана з миттєвою частотою  $\omega(t)$ :

$$\left. \begin{aligned} e(t) &= E_m(t) \cos \Phi(t) \\ \omega(t) &= \frac{d\Phi}{dt} = \omega_0 + \Delta\omega(t) \end{aligned} \right\} \quad (2.1)$$

де  $\omega_0$  – несуча частота радіосигналу.

Для передачі первинних сигналів  $u(t)$  застосовують їх кодування і модуляцію, що зводяться до відповідних перетворень:

$$u(t) \rightarrow v(t) \rightarrow s(t).$$

Структурна скритність характеризує радіосигнал щодо можливості зворотних перетворень:

$$\hat{s}(t) \rightarrow \hat{v}(t) \rightarrow \hat{u}(t)$$

без апріорних відомостей у спостерігача, що проводить розвідку. Рівень структурної скритності залежить від використовуваних видів кодування і модуляції.

*Інформаційна скритність* радіозв'язку полягає в здатності протистояти розкриттю змісту інформації, що передається. Цей вид скритності пов'язаний з шифруванням і імітостійкістю системи зв'язку, під якою розуміють “здатність системи ВЗв і автоматизації протистояти введенню хибної інформації, її зміні, знищенню, нав'язуванню хибних режимів роботи засобам зв'язку і автоматизації” ([68], п. 5.9.13).

Загалом скритність зв'язку залежить від усіх її складових і визначається ймовірністю визначення інформації, що передається радіосигналом. Якщо ймовірність порушення енергетичної, структурної та інформаційної скритностей позначити через  $p_e$ ,  $p_{стр}$ ,  $p_{інф}$ , то ймовірність виконання розвідки

$$p_{розв} = p_e p_{стр} p_{інф}. \quad (2.2)$$

У окремих випадках розвідку обмежують виявленням факту роботи радіолінії (тоді  $p_{розв} = p_e$ ).



**Достовірність військового радіозв'язку.** Достовірність зв'язку, що є другою складовою якості радіозв'язку, пов'язана з дією в середовищі поширення радіосигналів завад різного походження. Спотвореному внаслідок дії завад радіосигналу  $\bar{e}(t)$  відповідає спотворена копія первинного сигналу  $\bar{u}(t)$ . Відповідно достовірність зв'язку визначається як “здатність ВЗв забезпечувати відтворення інформації із заданою точністю під час її обміну та обробки” ([68], п. 5.8.3).

Завади, що діють в розглянутих частотних діапазонах, поділяють на два різновиди:

- мультиплікаційні завади, що пов'язані з часовими змінами в середовищі поширення;
- адитивні завади, що викликаються дією сторонніх джерел радіовипромінювання. Спотворений радіосигнал визначається співвідношенням

$$\bar{e}(t) = e(t)R(t) + n(t),$$

де  $R(t)$  – множник, що враховує дію мультиплікативних завад;

$n(t)$  – доданок, що відображає дію адитивних завад.

Обидві складові дії завад по-різному змінюються з плином часу на різних ділянках частотного діапазону, тому середовище поширення радіохвиль (ПРХ) потребує неперервного контролю за його станом під час наведення і під час дії радіоліній. Для військових радіоліній додатковим чинником є радіоелектронна протидія, що призводить до створення штучних радіохвиль (РХ) суттєвіших, ніж природні  $n_{\text{пр}}(t)$ :

$$n(t) = n_{\text{пр}}(t) + n_{\text{шт}}(t) \approx n_{\text{шт}}(t). \quad (2.3)$$

Характеристикою властивостей радіоліній виконувати передачу інформації в умовах дії завад є *завадостійкість* системи ВЗв, яку визначають як здатність системи військового зв'язку забезпечувати управління військами (силами) в умовах дії радіозавад усіх видів. **Завадозахищеність** – здатність системи військового зв'язку і автоматизації виконувати завдання за призначенням в умовах дії навмисних завад противника ([68] п. 5.9.7).

Кількісно *достовірність* зв'язку характеризують ймовірністю зв'язку з припустимим рівнем помилок:

$$p_d(D < D_{\text{пр}}),$$

де  $D$  – існуючий рівень помилок;

$D_{\text{пр}}$  – припустимий рівень помилок [31].

У свою чергу, рівень помилок характеризують ймовірністю помилок  $p_{\text{пом}}$ , визначення якої залежить від виду зв'язку. Так при цифровому зв'язку

$p_{\text{пом}}$  визначається як відношення кількості спотворених символів  $N_{\text{сп}}$  до загальної кількості переданих символів:

$$p_{\text{м}} = \frac{N_{\text{сп}}}{N}. \quad (2.4)$$

При Тлф зв'язку  $p_{\text{пом}}$  визначається кількістю спотворених елементів мови  $A_{\text{сп}}$  до загальної кількості її елементів  $A$ :

$$p_{\text{пом}} = \frac{A_{\text{сп}}}{A}. \quad (2.5)$$

Елементи мови при цьому можуть бути різними: звуки, склади, слова, речення.

Загальний показник достовірності зв'язку визначають як відношення середнього часу: безпомилкового зв'язку  $\bar{\tau}_{\text{бп}}$  або зв'язку з припустимим рів-

нем помилок  $\bar{\tau}_{i\delta}$  до загальної тривалості приймання сигналів  $\bar{\tau}$ :

$$\delta_{\bar{a}}(D \langle D_{i\delta} \rangle) = \frac{\bar{\tau}_{\bar{a}i}}{\tau} \quad \text{або} \quad \delta_{\bar{a}}(D \langle D_{i\delta} \rangle) = \frac{\bar{\tau}_{i\delta}}{\tau}. \quad (2.6)$$

Вимоги до припустимого рівня помилок залежать від виду повідомлень. Наприклад, при цифровому зв'язку припустимий рівень помилково відтворених символів відповідає  $p_{\text{пом}} = (3-5) 10^{-3}$ ; при Тлф зв'язку задовільний рівень відтворення речень відповідає  $p_{\text{пом}} = (3-4) 10^{-2}$ .

## 2.2. Характеристики системи військового зв'язку

### Різновиди характеристик системи військового зв'язку і їх сутність

Узагальнену характеристику системи ВЗв та автоматизації становить *якість системи*, яка визначається як сукупність властивостей системи, що забезпечує виконання поставлених завдань за призначенням. Вона визначається бойовою готовністю, функціональною сумісністю, стійкістю, мобільністю, пропускнуною спроможністю та безпекою ([68], п. 5.9.1).

Сутністю поняття “якість системи ВЗв”, на відміну від поняття “якість ВЗв”, є зміст об'єкта, стосовно якого визначається “якість”. *Військовий зв'язок*, як об'єкт, є процесом обміну інформацією в системах управління військами (силами). Відповідно поняття “якість ВЗв” характеризує якість “процесу обміну інформацією”. На відміну від цього *система ВЗв* є “... сукупністю взаємопов'язаних сумісних та узгоджених за завданнями систем ВЗв та автоматизації всіх ланок управління Збройних Сил України, яка призначена для забезпечення управління військами (силами), зброєю в мирний

час, під час їх приведення у вищі ступені бойової готовності, підготовки та ведення операцій (бойових дій)” ([68], п. 5.6.2).

Поняття “якість системи” характеризує сукупність матеріальних елементів з точки зору виконання цими елементами “...завдань забезпечення управління військами (силами) і зброєю”. Дві ключові складові якості системи ВЗв – бойова готовність і функціональна сумісність – зводяться до такого (рис. 2.1):

– *бойова готовність* системи ВЗв та автоматизації полягає в її здатності у визначені терміни і за будь-яких умов обстановки забезпечити управління військами (силами), зброєю ([68], п. 5.9.2);

– *функціональна сумісність* систем ВЗв та автоматизації зводиться до її здатності забезпечувати спільну роботу її засобів електрозв’язку та автоматизації з іншими системами без додаткових пристроїв спряження та додаткового програмного забезпечення ([68], п. 5.9.3).

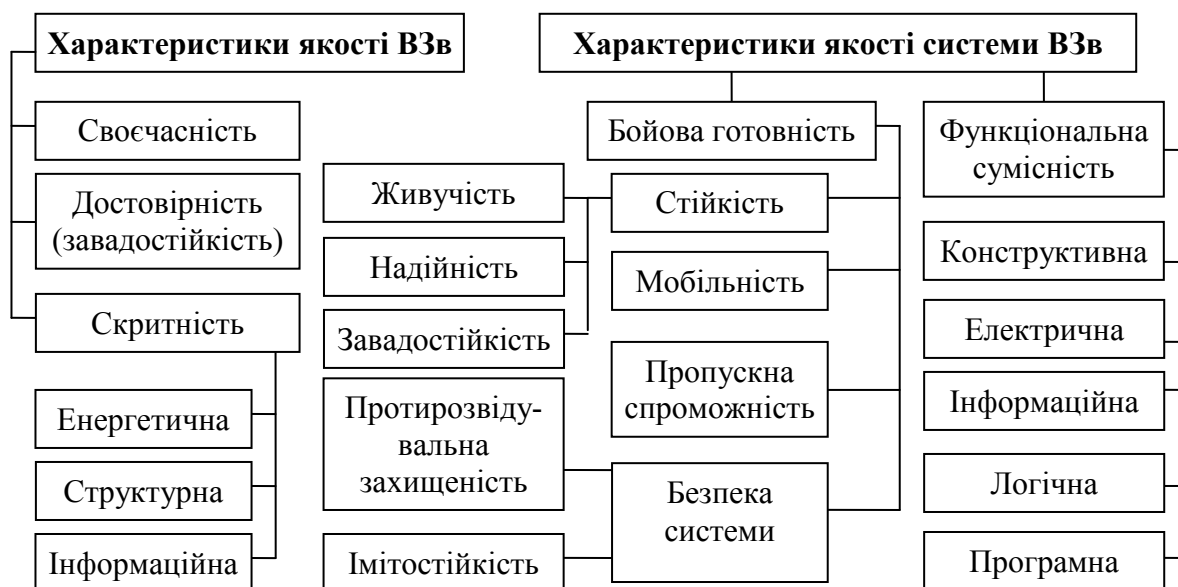


Рис. 2.1. Сутність понять “якість ВЗв” і “якість системи ВЗв”

**Бойова готовність** характеризує якість системи ВЗв і автоматизації з точки зору її здатності забезпечувати управління військами (силами), зброєю в задані строки і за будь-яких умов обстановки, зокрема в складних бойових обставинах, до яких належить протидія противника (вогнева та радіоелектронна), динаміка ведення бойових дій. Основними складовими бойової готовності є стійкість, мобільність, пропускна спроможність і безпека системи (рис. 2.1). У свою чергу, стійкість і безпека системи визначаються кількома складовими: живучістю, надійністю, ЕМС, завадостійкістю, розвідзахищеністю, імітостійкістю. Визначення цих понять зводиться до такого, як показано на рис. 2.1 [68].

*Стійкість* системи ВЗв та автоматизації характеризує її здатність забезпечувати управління військами (силами) в умовах впливу всіх вражаючих факторів. Стійкість обумовлюється такими складовими:

– *живучістю* системи ВЗв та автоматизації, яка становить здатність системи забезпечувати управління військами (силами) в умовах дії зброї противника;

– *надійністю* системи ВЗв та автоматизації, що характеризує здатність системи виконувати завдання за призначенням, зберігаючи в часі значення експлуатаційних показників у межах, передбачених експлуатаційною документацією;

– *завадостійкістю* системи ВЗв і автоматизації, що становить здатність системи забезпечувати управління військами (силами) в умовах дії радіозавад усіх видів;

– *завадозахищеністю* системи ВЗв та автоматизації, що полягає у здатності системи виконувати завдання за призначенням в умовах дії навмисних завод противника.

Завадостійкість системи ВЗв як системна характеристика визначається технічною характеристикою ліній радіозв'язку, яка має аналогічну назву – завадостійкість лінії радіозв'язку. Завадостійкість радіолінії характеризує її здатність передавати повідомлення з визначеною достовірністю в умовах дії завод визначеного виду. Кількісно завадостійкість характеризується залежністю ймовірності помилкової демодуляції від відношення рівня сигналу до рівня завод на вході демодулятора. Чим менше відношення, необхідне для приймання повідомлень із заданою достовірністю, тим вища завадостійкість приймання.

Заводи радіозв'язку, що діють в середовищі ПРХ у мирний час, обумовлені природними і промисловими чинниками, а в військових радіолініях у воєнний час головним джерелом завод є засоби РЕБ противника. Основною рисою визначення завадостійкості системи ВЗв і автоматизації та її складової – завадозахищеності є врахування РЕБ.

Завадостійкість радіолінії та її складова – завадозахищеність визначаються апаратурними чинниками, до яких належать:

- властивості антен Прд і Прм радіоканалу;
- властивості способу модуляції / демодуляції радіосигналів;
- властивості способу кодування / декодування радіосигналів.

Підвищення завадостійкості досягається застосуванням широкосмугових різноманітних сигналів. Розгляд цього напряму удосконалення систем зв'язку є визначальним завданням дисципліни.

*Мобільність* – здатність системи ВЗв та автоматизації розгортатися в установлені терміни, змінювати топологію та можливості відповідно до умов обстановки.

*Пропускна спроможність* – здатність системи ВЗв та автоматизації забезпечувати обслуговування потоків інформації за одиницю часу на інформаційних напрямках із заданою якістю. Детальніше ця характеристика буде розглянута далі.

*Безпека системи* ВЗв і автоматизації – це її здатність забезпечувати розвідзахищеність та імітостійкість. Дві складові, якими визначають безпеку системи ВЗв, пов’язані зі скритністю зв’язку як характеристикою процесу передачі інформації. Визначення складових безпеки зводиться до такого:

– *розвідзахищеність* – здатність системи ВЗв та автоматизації протистояти засобам розвідки противника щодо несанкціонованого доступу до інформації, визначення оперативної належності, місцезнаходження елементів і структури системи ВЗв та автоматизації і системи управління військами;

– *імітостійкість* – здатність системи ВЗв та автоматизації протистояти введенню хибної інформації, її змінюванню, знищенню, нав’язуванню хибних режимів роботи засобам зв’язку та автоматизації.

**Функціональна сумісність** систем ВЗв становить важливу й узагальнену складову якості через наявність в системі техніки зв’язку різних родів та видів і різних історичних поколінь розвитку. Функціональна сумісність визначається як “здатність системи ВЗв та автоматизації забезпечувати спільну роботу засобів електрозв’язку та автоматизації в ній з іншими системами без додаткових пристроїв спряження та додаткового програмного забезпечення”. Розрізняють декілька чинників, що впливають на функціональну сумісність, а саме: конструктивну, електричну, інформаційну, логічну та програмну сумісність. Зокрема, ЕМС – це здатність засобів зв’язку та автоматизації функціонувати із заданою якістю під впливом ненавмисних радіозавад і не створювати неприпустимих радіозавад іншим засобам зв’язку та автоматизації. Її також можна зарахувати до завадостійкості, як це зроблено в [68].

Техніці ВЗв, що забезпечує аналоговий зв’язок, властива низька функціональна сумісність. Для підвищення сумісності систем ВЗв необхідне впровадження цифрової техніки і застосування *інтегральної цифрової системи зв’язку*, яка визначається як “система ВЗв і автоматизації, що характеризується технічною, методологічною та організаційною єдністю у використанні цифрових сигналів ... для передавання та розподілу повідомлень”.

Враховуючи актуальність втілення цифрової техніки до перспективних засобів зв’язку, суттєва увага в посібнику приділяється цьому напрямку.

### **2.3. Пропускна спроможність системи військового зв’язку**

Пропускна спроможність системи ВЗв як *системна характеристика*, що визначає “здатність системи пересилати потоки повідомлень за одиницю часу”, пов’язана з *технічними характеристиками* основних елементів системи – ліній зв’язку і ВЗ.

Пропускна спроможність ліній характеризує максимальну швидкість пересилання інформації в каналах зв'язку. Одиницею обсягу інформації є *біт*, що відповідає передаванню елементарного двійкового повідомлення; швидкість пересилання інформації вимірюється в одиницях *біт/с*. Сучасні потреби пропускної спроможності каналів зв'язку визначаються, головним чином, потребами пересилання даних між комп'ютерними абонентами і сягають величин  $10^6$ – $10^9$  *біт/с*.

З визначенням пропускної спроможності пов'язані потенціально досяжні значення характеристик енергетичної і спектральної ефективності системи пересилання інформації.

## 2.4. Потенціально досяжні значення характеристик ефективності

Основна теорема теорії інформації для каналу з шумами полягає в такому. Якщо інформація джерела з продуктивністю  $H'$  підлягає передаванню каналом з пропускною спроможністю  $C > H'$ , то можна віднайти таку систему кодування повідомлень джерела, у якій частота помилок в цифрах переданого повідомлення буде як завгодно малою. Якщо виявиться, що  $C < H'$ , то передавання з втратами інформації, меншими ніж  $H' - C$ , буде неможливим.

Ця теорема має фундаментальне значення, оскільки вказує на існування потенціально досяжних значень дуже важливих характеристик системи передавання інформації. Ці значення виявились значно вищими за досягнуті нині на практиці. І хоча сучасна техніка зв'язку ще не повністю використовує можливості, виявлені теорією, вже досягнуті вражаючі результати. Теорія інформації стимулювала винахід великої кількості кодів, серед яких є дуже ефективні. І ця робота з успіхом продовжується [67].

До важливих характеристик будь-якої системи зв'язку належать показники ефективності використання енергетичних і спектральних (смугових) ресурсів.

Енергетична ефективність використання системи зв'язку визначається відношенням  $P_c/P_{\text{ш}}$  потужностей сигнал / шум

$$h_6^2 = \frac{E_6}{N_0} = \frac{P_c}{P_{\text{ш}}}, \quad (2.7)$$

де  $E_6$  – енергія сигналу, що несе один біт інформації;

$N_0$  – спектральна щільність потужності шумів радіолінії, яке має бути створене на вході Прм або його демодулятора для забезпечення роботи системи з припустимою ймовірністю помилки  $p_6$  у пересиланні біта інформації. Отож кращою з точки зору використання енергетичного ресурсу є варіант системи, в якому відношення  $P_c/P_{\text{ш}}$  є меншим, тому що при однакових шумах каналу у такій радіолінії витрачається менше енергії Прд для пе-

редавання кожного біту інформації з припустимою  $p_6$ . Отже, чим більше значення  $h_6^2$ , тим менша енергетична ефективність.

Спектральна ефективність використання системи зв'язку визначається відношенням

$$\gamma = \frac{V}{F} \quad (2.8)$$

реалізованої в ній швидкості  $V$  пересилання інформації до ширини смуги частот  $F$ , яку вона займає. Ця величина ще називається питомою швидкістю пересилання інформації і вимірюється у біт/с/Гц.

Ураховуючи, що в оптимальній системі досяжна швидкість пересилання інформації дорівнює пропускній спроможності каналу зв'язку і кількісно збігається з шириною інформаційної смуги пропускання, яка обернено пропорційна тривалості біту, в теорії зв'язку на основі формули Клода Шеннона для пропускної спроможності каналу зв'язку з шумами

$$C = F \log_2 \left( 1 + \frac{P_c}{P_{ш}} \right) \quad (2.9)$$

отримана і, зокрема, в [10] наведена формула залежності між потенціально досяжними значеннями енергетичної і спектральної ефективностей

$$h_6^2 = \frac{2^\gamma - 1}{\gamma} \quad (2.10)$$

для випадку найкращого використання каналу зв'язку. На *рис. 2.2* ця залежність зображена граничною кривою, яка розділяє усю площину на реалізуєму область, що лежить ліворуч від кривої, і на нереалізуєму область, що розташована праворуч від неї.

Найефективніші системи зв'язку характеризуються точками, що розташовані поблизу кривої ліворуч від неї. Наприклад,

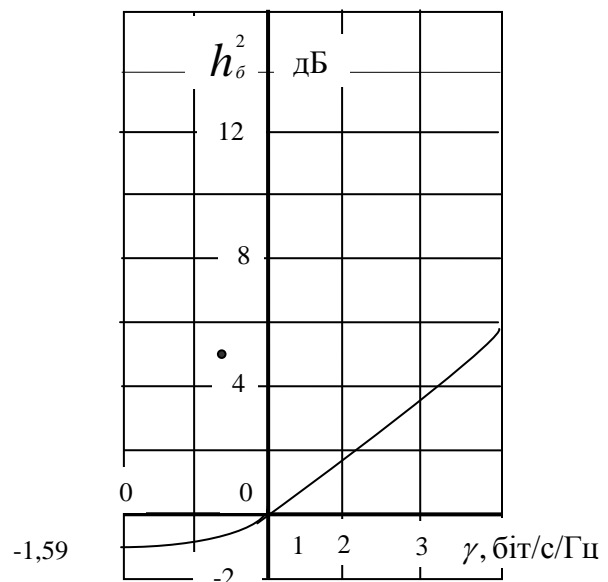


Рис. 2. Границя потенціально досяжних значень енергетичної і спектральної ефективності систем передачі інформації

система стільникового зв'язку стандарту GSM у разі відсутності затінення і завмирань на трасі ПРХ характеризується точкою з координатами  $h_0^2 = 5$  дБ (для забезпечення  $p_6 = 10^{-5}$ ) і  $\gamma = 0,675$  біт/с/Гц. З рис. 2.2 видно, що навіть у досить досконалії системі є невикористаний резерв з енергетичної ефективності у 6 дБ. Використавши його, можна було б збільшити спектральну ефективність майже до 3,7 біт/с/Гц, тобто збільшити швидкість пересилання інформації майже у 5,5 раза без збільшення потужності Прд, чутливості Прм, ширини використовуваної смуги частот.

Треба звернути увагу на істотне змінювання кривої в околі  $\gamma = 1$ . Навіть помірне збільшення  $\gamma > 1$  призводить до різкого зниження енергетичної ефективності, і навпаки: при  $\gamma < 1$  збільшення спектральної ефективності досягається за рахунок помірного зменшення енергетичної ефективності.

Таким чином, якість системи зв'язку визначається складовими, зображеними на рис. 2.1; характеристики якості ВЗв тісно пов'язані з характеристиками якості системи ВЗв; основна теорема теорії інформації має фундаментальне значення для забезпечення якісного зв'язку.



### 3. Цифрова обробка сигналів і її вплив на якість зв'язку

Основні складові якості ВЗВ: достовірність, скритність і своєчасність – залежать від виду і характеристик використовуваних сигналів і каналів зв'язку. У цій главі визначаються переваги цифрових сигналів (ЦС) над аналоговими [17; 21; 42].

#### 3.1. Відображення різних видів повідомлень цифровими сигналами

Сукупність відомостей про явище, процес, обстановку тощо називається *інформацією*. Інформація існує у вигляді повідомлень. Повідомлення генерують їх джерела в неперервній, дискретній або цифровій формі [67]. Прикладами неперервних повідомлень є мовні, телевізійні, телеметричні. До дискретних повідомлень належать телеграфні та телекомандні. Прикладами цифрових повідомлень є передавані комп'ютерні дані.

**Сигнал** – це електрична форма існування повідомлення. Передача неперервних, дискретних і цифрових повідомлень до недавнього часу здійснювалась відповідно аналоговими (АнС), дискретними і ЦС [10].

Аналоговий сигнал – це сигнал, інформаційний параметр якого становить неперервну і нескінченну множину можливих значень у функції неперервного часу.

Дискретний сигнал – це сигнал, інформаційний параметр якого становить неперервну і нескінченну множину можливих значень у функції дискретного часу.

Цифровий сигнал – це сигнал, інформаційний параметр якого становить кінцеву множину можливих значень у функції дискретного часу.

Основою інтеграції різних видів зв'язку в сучасних системах є застосування ЦС для передавання повідомлень будь-якого виду.

Перетворення аналогового сигналу (АнС) у багатопозиційний цифровий сигнал досягається виконанням операцій дискретизації і квантування. Перетворення багатопозиційного цифрового сигналу у двійковий цифровий сиг-

нал досягається виконанням операції кодування. Усі ці операції виконує аналого-цифровий перетворювач ( АЦП, див. рис. 4.6, 4.7).

Аналоговий радіосигнал теж може бути перетворений у цифровий сигнал. Однак через апаратурні ускладнення зі взяттям відліків високочастотних коливань аналого-цифровому перетворенню частіше піддають не самі радіосигнали, а їх відеоеквіваленти [67].

**Дискретні повідомлення [16].** Дискретні повідомлення – це сукупність елементів (букв, знаків тощо), множина  $m$  яких утворює алфавіт  $A$ ,  $j$ -й елемент якого позначимо  $a_j$ . Загальна кількість  $m$  елементів алфавіту має назву *обсягу алфавіту* і збігається з поняттям *ансамблю*. Елемент  $a_j$  можна вважати елементарним повідомленням.

У теорії інформації введена раціональна кількісна міра невизначеності апріорних даних. Вона називається *ентропією* і позначається символом  $H(A)$ . Кількість інформації у прийнятому повідомленні характеризується мірою усунутої ним невизначеності  $\Delta H(A)$ . Далі приймається, що в результаті прийняття повідомлення невизначеність усувається повністю, а тому *кількість інформації*  $I(A)$ , яку отримує абонент внаслідок прийняття повідомлення, визначається саме величиною  $H(A)$ .

*Кількість інформації*, яка міститься в елементі  $a_j$  алфавіту  $A$ , залежить від ймовірності  $P(a_j)$  його використання і обсягу алфавіту  $m$ . Усереднена по ансамблю кількість інформації на одне елементарне повідомлення складає

$$\bar{I}(a_j) = I(A) = H(A) = - \sum_{j=1}^m P(a_j) \log P(a_j), \text{ [біт]}. \quad (3.1)$$

Для обґрунтування цієї формули автор теорії інформації американський вчений Клод Шеннон, спочатку сформулював кілька вимог, які слід поставити до кількісної міри невизначеності, а потім довів, що існує тільки один математичний вираз, який відповідає цим вимогам. Цими вимогами є такі [67]:

– невизначеність  $H$  має сягати максимуму, коли ймовірності усіх подій однакові;

– невизначеність  $H$  має збільшуватись зі збільшенням кількості рівноймовірних подій;

– невизначеність  $H$  має дорівнювати нулю для достовірних подій.

Як видно з формули (3.1), вона цілком відповідає цим вимогам.

Отже, максимальну кількість інформації несе елемент рівноймовірних повідомлень, для яких  $P(a_j) = m^{-1}$ . Підставивши це в (3.1), отримаємо

$$H_{\max}(A) = I_{\max}(A) = \log_2 m. \quad (3.2)$$

У двійкового алфавіту  $m = 2$ , елементи 0 і 1. При рівномірному використанні цих елементів ( $P(0) = P(1) = 0,5$ ) ентропія дійсно досягає максимуму, що дорівнює 1 біту інформації. Отже, при такому розподілі ймовірностей кожен елемент несе 1 *біт* інформації.

Залежність усередненої кількості інформації, що несе один елемент алфавіту, від перерозподілу ймовірностей використання елементів двійкового алфавіту наведена на *рис. 3.1*.

*Продуктивність джерела повідомлень* визначається як середня кількість інформації, створюваної за одиницю часу. Якщо тривалість всіх повідомлень  $T_c$  однакова, то продуктивність

$$H'_t(A) = \frac{H(A)}{T_c}. \quad (3.3)$$

**Неперервні повідомлення** [16]. Аналогові сигнали, що їх відбивають, відрізняються нескінченною множиною можливих значень і відсутністю розривів цих значень за часом (*див. рис. 4.7*). Перетворення аналогових сигналів у двійкові цифрові здійснюється в результаті виконання трьох операцій: дискретизації, квантування і кодування, які виконує аналого-цифровий перетворювач (*див. рис. 4.6*).

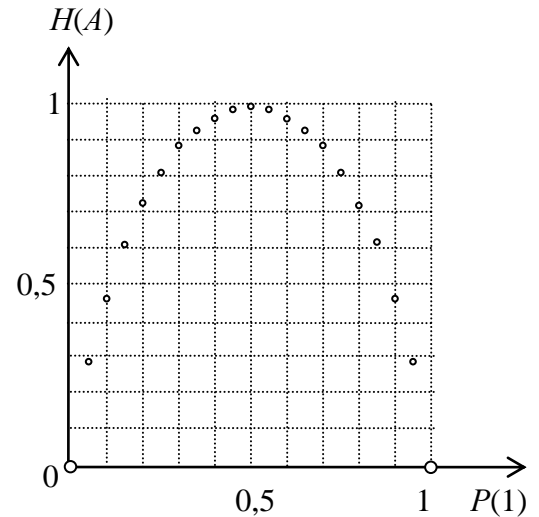
*Дискретизація* – це таке перетворення АНС, при якому він відображається сукупністю миттєвих відліків, що беруться з певним періодом  $T_d = F_d^{-1}$  чи частотою (*див. рис. 4.7*). Якщо спектр АНС був обмежений верхньою граничною частотою  $F_c$ , то частоту дискретизації треба вибрати за формулою Найквіста – Котельникова

$$F_d \geq 2F_c. \quad (3.4)$$

У разі невиконання цієї умови перетворення супроводжуватимуться виникненням істотного шуму дискретизації.

Після дискретизації АНС задача передавання лінією зв'язку неперервного повідомлення стає аналогічною задачі передавання дискретного повідомлення.

*Квантування* – це таке перетворення дискретизованого АНС, при якому діапазон його можливих значень поділяється на кінцеву кількість  $K$  областей (з кроком квантування  $\Delta$ ) і кожній з цих областей зіставляється фіксований рівень квантованої величини (*див. рис. 4.7*). Шум квантування є різницею між квантованими і неквантованими значеннями сигналу у моменти  $t_i$ :



*Рис. 3.1.* Залежність ентропії двійкового повідомлення від імовірності використання елементів алфавіту

$$\varepsilon_{\text{кв}}(t_i) = u_{\text{кв}}(t_i) - u(t_i).$$

Після виконання цих двох операцій задача передачі лінією зв'язку неперервного повідомлення стає аналогічною задачі передачі цифрового повідомлення.

Квантування супроводжується помилками, величина яких залежить від кількості  $N$  рівнів квантування і їх розташування. Якщо перетворюваний АНС  $u(t)$  є випадковим процесом з дисперсією  $\sigma_u^2$ , то дисперсія помилок квантування [67]

$$\sigma_{\text{кв}}^2 = \frac{d \sigma_u^2}{N^2},$$

де  $d$  – коефіцієнт пропорційності, який залежить від розподілу ймовірностей амплітуд відліків та розташування порогів і рівнів квантування.

Для мінімізації помилок статистичні характеристики АНС мають бути узгоджені з параметрами квантувача. Найпростіше це узгодження виконується при рівномірному розподілі ймовірностей амплітуд відліків АНС. У цьому випадку квантування робиться з рівномірним кроком, а рівні квантування розташовуються посередині між порогамі. При цьому  $d \approx 1$  і  $\sigma_{\text{кв}}^2$  буде найменшою.

При нормальному розподілі ймовірностей амплітуд відліків АНС порогові квантування краще розташовувати нерівномірно і так, щоб крок квантування був обернено пропорційний до щільності розподілу ймовірностей. При цьому, якщо  $N > 10$ , то  $d \rightarrow 2,72$ . Апаратура для нерівномірного квантування може бути набагато складнішою. Для її спрощення застосовують рівномірний квантувач з попереднім безінерційним нелінійним стиском АНС у компандері для імітації оптимального нерівномірного квантування, а при відновленні АНС після цифро-аналогового перетворення застосовують еспандер – нелінійний підсилювач з амплітудною характеристикою (АХ), зворотною до АХ компандера.

Загальна помилка аналого-цифрового перетворення АНС

$$\sigma_{\text{АПЦ}}^2 = \sigma_{\text{д}}^2 + \sigma_{\text{кв}}^2, \quad (3.5)$$

де  $\sigma_{\text{д}}^2 = \int_{F_c}^{\infty} G(f) df$  – дисперсія помилок дискретизації, що характеризується потужністю втраченої частини спектра АНС;

$\sigma_{\text{кв}}^2 = \frac{\Delta^2}{12}$  – дисперсія помилок квантування при рівномірному розподілі значень квантуємого сигналу в межах кроку квантування  $\Delta$ .

Треба так вибирати кількість розрядів АЦП, щоб помилка (3.5) була істотно меншою за рівень внутрішніх шумів.

Кодуванням називається ототожнення елементарних повідомлень алфавіту  $A$  з кодovими комбінаціями алфавіту  $B$  (рис. 3.2). Розрізняють три різновиди кодування: *примітивне (просте)*, *завадостійке* і *ефективне*.

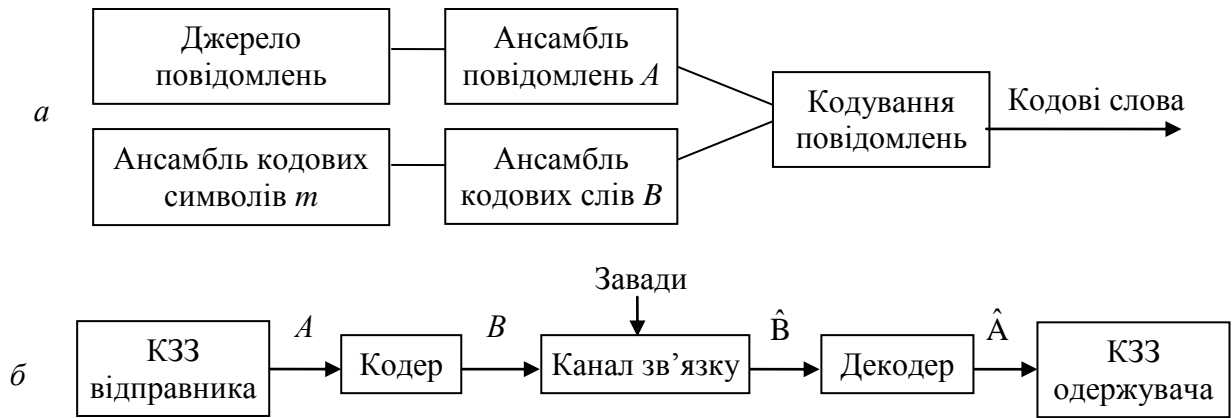


Рис. 3.2. Кодування квантованих повідомлень:

*а* – співвідношення ансамблів повідомлень, кодovих символів і кодovих слів;

*б* – перетворення кодovих слів у лінії зв'язку

*Просте (або примітивне)* кодування полягає в тому, що кількість кодovих комбінацій  $N = m^n$  однакової довжини (значності, розрядності)  $n$  алфавіту  $B$  збігається з кількістю  $K$  дискретних повідомлень (рівнів квантування) алфавіту  $A$ , і будь-якому з елементарних повідомлень (рівнів) алфавіту  $A$ , незалежно від частоти його використання, ставиться у відповідність одна з можливих кодovих комбінацій алфавіту  $B$ . При  $m$ -елементного коду це означає, що виконується рівність

$$K = m^n, \quad (3.6)$$

отже, необхідна розрядність кодovих комбінацій

$$n = \frac{\log K}{\log m}, \quad (3.7)$$

зокрема, у двійкових кодів  $m=2$ , тому

$$n = \log_2 K. \quad (3.8)$$

Саме такий (див. рис. 4.7) спосіб кодування застосовується для цифровізації мовних сигналів ( $F_c = 3,4 \text{ кГц}$ ,  $F_d = 8 \text{ кГц}$ ,  $T_d = 125 \text{ мкс}$ ,  $K = 256$ ,  $m = 2$ ,  $n = 8$ ).

Широко вживаються такі різновиди примітивних кодів: міжнародний телеграфний (Тлг) 5-значний код МКТ-2; різновиди американського стандартного коду ASCII, що відповідають алфавітам зі 128 і 256 елементами (на Україні аналогічні коди позначають абрeвіатурами КОІ-7 і КОІ-8).

*Завадостійке (корегуюче)* кодування полягає в тому, що множина кодів комбінацій  $N$  однакової розрядності  $n$  перевищує кількість дискретних повідомлень  $K$ . Завдяки цьому виникає можливість виявляти і виправляти спотворення повідомлень, що виникають внаслідок спотворення сигналів в каналах зв'язку (приклад – код Ріда – Соломона). Стосовно завадостійкого кодування існує теорема (теорема Шеннона для каналів з завадами): не зважаючи на спотворення сигналів в каналі з завадами, завдяки кодуванню можна забезпечити вірогідне (безпомилкове) пересилання повідомлень за умови, що пропускна спроможність каналу  $C_{кз}$  перевищує продуктивність джерела повідомлень  $H'_t(A)$ , тобто

$$C_{кз} = H'_t + \varepsilon, \quad (3.9)$$

де величина  $\varepsilon > 0$  може бути довільною, близькою до 0.

*Ефективне (економне)* кодування полягає в створенні неоднакових за довжиною кодів комбінацій і застосуванні тим довшої комбінації, чим нижча ймовірність вживання даного повідомлення алфавіту  $A$  (приклад – азбука Морзе).

**$\Delta$ -перетворення.** Описаний алгоритм АЦП, що називається імпульсно-кодовою модуляцією (ІКМ), найпоширеніший, але не єдиний. Заслугує на увагу ще один універсальний алгоритм АЦП, що називається  $\Delta$ -перетворенням. Під час його роботи значення перетворюваного АНС  $u(t_k)$  порівнюється в черговому такті зі значенням його цифрового передбачення (рис. 3.3) і здійснюється дворівневе квантування їх різниці, а саме: пересилається значення  $b_i = +1$ , якщо ця різниця додатна, або значення  $b_i = -1$ , якщо ця різниця від'ємна.

Цифрове передбачення будується відповідно з алгоритмом

$$\hat{u}(t_k) = \sum_{i \leq k} \Delta b_i,$$

де  $\Delta$  – крок квантування.

$F_d = 1/q$  – тактова частота і частота дискретизації ( $q$  – період дискретизації), яку доводиться вибирати значно вищою, ніж при ІКМ. Передаваний ЦС має всього два значення  $+1$  і  $-1$ . Отже, система зв'язку передає псевдовипадкову послідовність (ПВП), що складається з дворозрядних чисел зі значеннями  $+1$  і  $-1$ .

Відновлення АНС в приймальній апаратурі здійснюється згладжуванням послідовності імпульсів, що формуються у тактові моменти часу і мають амплітуду, яка визначається наведеною формулою. Частота зрізу згладжувального фільтра низьких частот (ФНЧ) має дорівнювати максимальній частоті спектра АНС.

З рис. 3.3 видно, що на ділянках повільної зміни АНС цифрова апроксимація коливається навколо значень АНС, а на ділянці швидкої зміни АНС цифрова апроксимація істотно відстає від значень АНС. Це може призвести до великих похибок квантування, якби не одна дуже важлива властивість ЦС, яка полягає в тому, що ділянкам повільних змін АНС відповідають ділянки знакозмінного ЦС, а ділянкам швидких змін АНС – ділянки однакових значень (+1 – при швидкому зростанні перетворюваного АНС і  $-1$  – при швидкому його спаданні). Ця властивість використовується для автоматичного встановлення на приймальному кінці радіолінії оптимального кроку квантування перед цифро-аналоговим перетворювачем (ЦАП) залежно від змін чи не змін знаків у визначеній кількості останніх за часом ЦС.

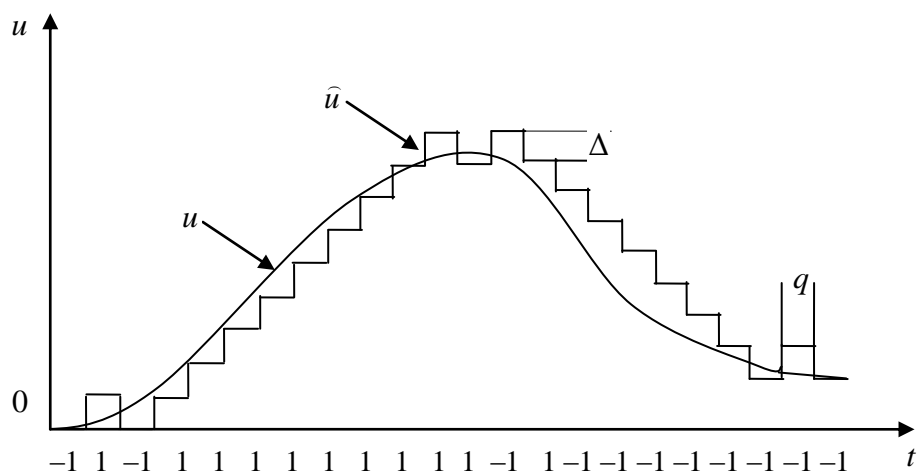


Рис. 3.3.  $\Delta$ -перетворення

Отже, за апаратною реалізацією  $\Delta$ -модуляція набагато простіша за ІКМ через відсутність багаторівневого квантування і простоту оптимізації поточного кроку квантування. Недоліки  $\Delta$ -модуляції полягають у неможливості передавання початкового рівня АНС і гіршій точності пересилання сигналу, ніж при ІКМ. Через це  $\Delta$ -модуляція застосовується тільки в деяких каналах службового зв'язку [67].

### 3.2. Завадостійкість і пропускна спроможність каналів цифрового зв'язку

**Пропускна спроможність** каналу визначається як максимальна кількість інформації, яку канал здатний передавати від входу кодера до виходу декодера за одиницю часу за умови використання будь-якого джерела

повідомлень і будь-яких властивостей кодера (з урахуванням можливої надмірності повідомлень і кодів):

$$C_K = \frac{H_{\text{сим.мак}}}{T_{\text{сим}}} = v_K H_{\text{сим.мак}}, \quad (3.10)$$

де  $v_K = T_{\text{сим}}^{-1}$  – технічна швидкість передачі елементів ЦС в каналі зв'язку.

У цифровому каналі максимальна кількість інформації, яку переносить  $m$ -ічний елемент (символ) ЦС, наявна при рівномірному використанні елементів. З урахуванням цього пропускна спроможність каналу без завад

$$C_K = v_K \log_2 m. \quad (3.11)$$

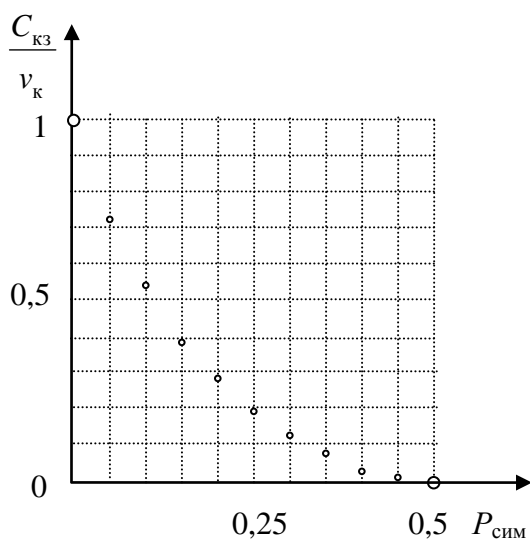
У каналі з завадами при використанні двійкових символів (0 та 1) і однакової ймовірності спотворення цих символів  $p_{\text{сим}}$  пропускна спроможність каналу

$$C_{K3} = v_K [1 + p_{\text{сим}} \log p_{\text{сим}} + (1 - p_{\text{сим}}) \log (1 - p_{\text{сим}})]. \quad (3.12)$$

Пропускна спроможність цього каналу при збільшенні  $p_{\text{сим}}$  в межах  $0 \leq p_{\text{сим}} \leq 0,5$  зменшується від  $C_{K3} = v_K$  до 0 (рис. 3.4). Передача символів 0 і 1 при  $C_{K3} = 0$  відбувається, як і раніше, з технічною швидкістю  $v_K$ , але прийняті символи не несуть інформації щодо переданих.

Пропускна спроможність аналогового (і цифрового) каналу визначається шириною його смуги пропускання  $F_K$  і відношенням потужностей сигнал / шум  $\rho_K^2 = \left( \frac{P_c}{P_{\text{ш}}} \right)_K$ :

$$\rho_K^2 = \left( \frac{P_c}{P_{\text{ш}}} \right)_K :$$



$$C_{K3} = F_K \log \left[ 1 + \left( \frac{P_c}{P_{\text{ш}}} \right)_K \right] = \quad (3.13)$$

$$= F_K \log (1 + \rho_K^2) = F_K \log \left( 1 + \frac{P_c}{N_0 F_K} \right),$$

де  $N_0$  – спектральна щільність потужності шуму. Пропускна спроможність безмежно зростає з підвищенням  $\rho_K^2$ , а збільшення  $C_{K3}$  із зростанням  $F_K$  асимптотично обмежене. Останнє обумовлене збільшенням потужності шумів  $P_{\text{ш}}$  в каналі зі зростанням його смуги  $F_K$ .

Рис. 3.4. Залежність нормованої пропускної спроможності каналу передачі двійкових повідомлень від ймовірності похибки у пересиланні символу



При  $F_k \rightarrow \infty$  пропускна спроможність досягає рівня  $C_{кза} \cong 1,443 \frac{P_c}{N_0}$ . Важливо, що асимптотичний рівень  $C_{кза}$  визначається відношенням  $\frac{P_c}{N_0}$ , а зростання  $C_{кз}$  при малих значеннях  $F_k$  пропорційне ширині смуги:  $C_{кза} \cong 1,443 F_k$ .

*Реальні канали зв'язку* відрізняються від ідеальних неповнотою використання їх пропускної спроможності. Повнота (ефективність) використання пропускної спроможності каналів залежить від виду кодування і модуляції сигналів. Порівнюють різні реальні канали з точки зору повноти використання пропускної спроможності за допомогою показника, що має назву *інформаційної ефективності* і визначається як відношення реалізованої швидкості передачі інформації  $V$  в каналі, що використовується, до його пропускної спроможності  $C_{кз}$ :

$$\eta = \frac{V}{C_{кз}}. \quad (3.14)$$

Канали зв'язку з використанням ЦС забезпечують ефективніше використання пропускної спроможності, ніж канали з використанням аналогових сигналів. Інформаційна ефективність аналогових і цифрових каналів наведена у табл. 3.1.

Таблиця 3.1

**Завадостійкість і ефективність аналогових і цифрових сигналів**

Види сигналів	Параметри				Види сигналів	Параметри			
	$\eta$	$g$	$g_{вз}$	$B$		$\eta$	$g$	$g_{вз}$	$B$
ІС	1	17 200	315	20	ЧМ	0,17	666	33,3	20
ІКМ-ФМ	0,48	1000	50	20	ФМ	0,12	222	11,1	20
ІКМ-ЧМ	0,32	500	25	20	АМ	0,42	0,2	0,1	2
ІКМ-АМ	0,23	250	12,5	20	ОМ	1	1	1	1

**Завадостійкість** – це здатність каналу зв'язку забезпечувати передачу повідомлень в умовах дії в ньому завад. Вона визначається співвідношенням потужностей сигналу і завад (шумів) на виході каналу  $\rho_{вих}^2 = \left( \frac{P_c}{P_{ш}} \right)_{вих}$ . Рівень завад в каналі (включаючи всі його елементи) оцінюється відповідним спів-

відношенням  $\rho_k^2 = \left( \frac{P_c}{P_{ш}} \right)_k$ . Завадостійкість каналів оцінюють *виграшем*  $g$  виду кодування повідомлень і модуляції радіосигналів. Виграш забезпечується модемом (а для дискретних каналів – модемом і кодеком). Значення виграшу оцінюється співвідношенням

$$g = \frac{\rho_{\text{вих}}^2}{\rho_k^2}. \quad (3.15)$$

Виграш може значно перевищувати 1, якщо  $F_k > F_c$ . В ідеальному каналі величина виграшу визначається, виходячи з рівності пропускної спроможності  $C_{кз}$  і продуктивності джерела повідомлень  $H'_{t\varepsilon}$ , яка приводить до співвідношення

$$\rho_{\text{вих}}^2 = \left( 1 + \rho_k^2 \right)^{\frac{F_k}{F_c}}. \quad (3.16)$$

Наприклад, при  $\rho_k^2 = 0,5$  (потужність сигналу в каналі вдвічі менша потужності шумів) і базі каналного сигналу  $\frac{F_k}{F_c} = 20$  (ширина спектра сигналу в каналі більш ніж на порядок перевищує ширину спектра первинного сигналу) на виході каналу  $\rho_{\text{вих}}^2 = 4 \cdot 10^3$ , чому відповідає виграш  $g = 8 \cdot 10^3$ .

У разі використання радіосигналів виграш теж залежить від виду кодування і модуляції, оскільки ці операції супроводжуються розширенням спектра сигналу і збільшенням його бази. Тому у формулі (3.16) як показник степеня використовується

$$B = B_{\text{pc}} B_{\text{рч}} = \frac{F_k}{F_c} \frac{\Delta f_{\text{рч}}}{F_k} = \frac{\Delta f_{\text{рч}}}{F_c}, \quad (3.17)$$

а виграш, як і раніше, розраховується за формулою (3.15).

Ефективність використання радіочастотного ресурсу враховується узагальненим (питомим) виграшем  $g_{\text{уз}} = \frac{g}{B}$ , що визначає приріст виграшу у разі збільшення бази сигналу на одиницю.

Цифрові сигнали щодо завадостійкості мають значну перевагу порівняно з аналоговими. Дані щодо виграшу використання цифрових і аналогових сигналів наведені в табл. 3.1. Дані відповідають однаковим умовам щодо виду первинних сигналів ( $F_c = \text{const}$ , пік-чинник  $\Pi = 3$ ), бази сигналів ( $B = 20$ , за винятком сигналів з амплітудною і односмуговою модуляцією) і відношень сигнал – шум вихідного сигналу ( $\rho_{\text{вих}}^2 = 40 \text{ дБ}$ ).

У таблиці наведені відомості про параметри ідеального сигналу, ЦС з ІКМ під час використання простого кодування і трьох різновидів маніпуляції несучої частоти: фазової (ІКМ-ФМ), частотної (ІКМ-ЧМ), амплітудної (ІКМ-АМ) – і аналогових сигналів з частотною, фазовою, амплітудною і односмуговою модуляціями (відповідно ЧМ, ФМ, АМ, ОМ). Перевага ЦС полягає в тому, що в них обидва показники ( $\eta$  і  $g$ ) високі, при цьому найвищі показники властиві сигналам ІКМ-ФМ (саме цим обумовлено їх поширення в сучасних засобах зв'язку [38]).

### 3.3. Розвідзахищеність цифрових радіоліній

**Взаємозв'язок з широкосмуговістю сигналів.** Ймовірність помилки під час пересилання біта визначається відношенням енергії біта  $E_b$  до спектральної щільності потужності завад в каналі:

$$h^2 = \frac{E_b}{N_0}. \quad (3.18)$$

Задана достовірність зв'язку досягається при певному значенні  $h^2$ , яке доцільно позначити символом  $h_{\text{дост}}^2$ . Досягнення необхідної величини  $h_{\text{дост}}^2$  залежить від значень обох співмножників (3.18). Збільшення бази радіосигналу за рахунок розширення його спектра дає змогу досягти необхідної достовірності за нижчого рівня спектральних складових радіосигналу і тим самим підвищити протирозвідувальну захищеність цифрової радіолінії [9].

**Лінії військового широкосмугового зв'язку.** Різновидами розширення спектра є такі:

- *пряме розширення спектра* досягається кодуванням кожного біта (як елемента первинного ЦС) за допомогою послідовності імпульсів – *чипів*, тривалість яких значно менша, а ширина спектра значно більша, ніж у біта;

- *багаточастотне розширення спектра* досягається передаванням в загальній смузі частот сигналу біта одночасно на кількох піднесучих частотах, через що спектр цього паралельного частотного коду буде значно ширшим, ніж спектр первинного ЦС;

- *розширення спектра за допомогою псевдовипадкового перестроювання* робочої (несучої) частоти (ППРЧ) у межах всього частотного ресурсу комплексу. Залежно від співвідношення тривалості біта  $T_b$  і тривалості роботи на одній несучій частоті  $T_{\text{нч}}$  розрізняють три різновиди ППРЧ:

- міжбітову ППРЧ, при якій  $T_{\text{нч}} > T_b$ , так що декілька біт передаються на одній несучій частоті;

- побітову ППРЧ, при якій  $T_{\text{нч}} = T_b$ , так що кожен біт передається на окремій несучій частоті;

внутрішньобітову ППРЧ, при якій  $T_{\text{нч}} < T_{\text{б}}$ , так що кожен біт передається на декількох несучих частотах.

У сучасній техніці ВЗв застосовується повільна або швидка міжбітова ППРЧ, для якої характерно, що радіосигнали, якими передаються групи одностотних бітів, не є широкосмуговими. Широкосмуговість проявляється під час передавання повідомлень, які налічують велику кількість таких груп.

У сучасних засобах зв'язку найпоширенішою формою застосування широкосмугового сигналу (ШСС) є ППРЧ. Комплекси з ППРЧ, що застосовуються для забезпечення КХ радіозв'язку в тактичній ланці управління (ТЛУ), забезпечують повільну ППРЧ (частота зміни несучої порядку  $100 \text{ Гц}$ ) з шириною смуги перестроювання  $\approx 100 \text{ кГц}$  і кроком зміни несучих частот  $1\text{--}10 \text{ кГц}$ . Другим прикладом є JTIDS, ОСНОД, MIDS, в яких інтегровані функції зв'язку, навігації, розпізнавання, управління зброєю тощо [24].

Таким чином, переваги ЦС над аналоговими полягають:

- у можливості повнішого використання пропускної спроможності каналів зв'язку, а отже, у забезпеченні своєчасності ВЗв;
- у вищій завадостійкості передачі повідомлень, скритності і достовірності ВЗв завдяки можливості регенерації елементів ЦС у проміжних вузлах;
- у відповідності ЦС широкому впровадженню цифрової техніки, комп'ютеризації технологічних і інформаційних процесів, інтеграції видів зв'язку, стандартизації та уніфікації технічних засобів, застосуванню інтегральної елементної бази загального призначення.

### **3.4. Принципи забезпечення безпошукового і безпідстроювального радіозв'язку**

**Радіочастотні сигнали ліній радіозв'язку.** Для ВРЗв використовуються частоти діапазону  $1.5\text{--}120 \text{ МГц}$  (рис. 3.5). Складність роботи в ньому зумовлена трьома чинниками: обмеженістю, перевантаженістю і високим рівнем завад. Саме тому приймальні і передавальні пристрої розглядаються на прикладі цього діапазону. Через це тут розглядаються питання безпошукового і безпідстроювального радіозв'язку, економної модуляції ЦС і кореляційного приймання ЦС.

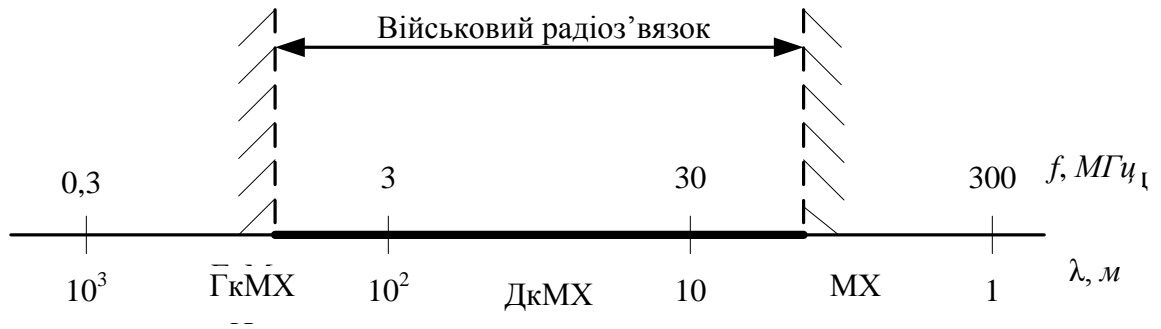


Рис. 3.5. Діапазон частот / хвиль військового радіозв'язку

Радіолінії забезпечують обмін повідомленнями між абонентами через створення, випромінювання, приймання і оброблення радіочастотних сигналів (РЧС).

Загальне аналітичне представлення РЧС надається виразом

$$s(t) = S_m(t) \cos \Phi(t) = S_m(t) \cos[\omega_n t + \varphi(t)], \quad (3.19)$$

де  $S_m(t)$ ,  $\Phi(t)$  – миттєві значення амплітуди і повної фази РЧС;

$t$ ,  $f_n$  – поточний час і несуча частота;

$\omega_n = 2\pi f_n$ ,  $\varphi(t)$  – кругова несуча частота і миттєве значення початкової фази РЧС.

Зміна миттєвих значень одного або кількох наведених параметрів РЧС відбувається в Прд в процесі модуляції або маніпуляції. Спектр РЧС, на відміну від спектра первинного сигналу, розташований в області радіочастот. Ширина спектра  $\Delta f_{\text{см}}$  визначається видом модуляції / маніпуляції (рис. 3.6, а).

Електромагнітна сумісність роботи декількох радіоліній в одному середовищі поширення РЧС досягається завдяки рознесенню смуг частот, в яких розташовані спектри РЧС різних радіоліній. Кожній радіостанції надається: робоча радіочастота, якій має дорівнювати несуча ( $f_n = f_p$ ), і смуга, в межах якої дозволено вести радіовипромінювання (рис. 3.6, а).

Безпошуковий і безпідстроювальний радіозв'язок (ББРЗ) досягається використанням сітки рівновіддалених робочих частот (рис. 3.6, б), перехід між якими здійснюється шляхом автоматичного цифрового управління. Різниця двох сусідніх робочих частот сітки називається крок сітки ( $F_{\text{кр}}$ ).

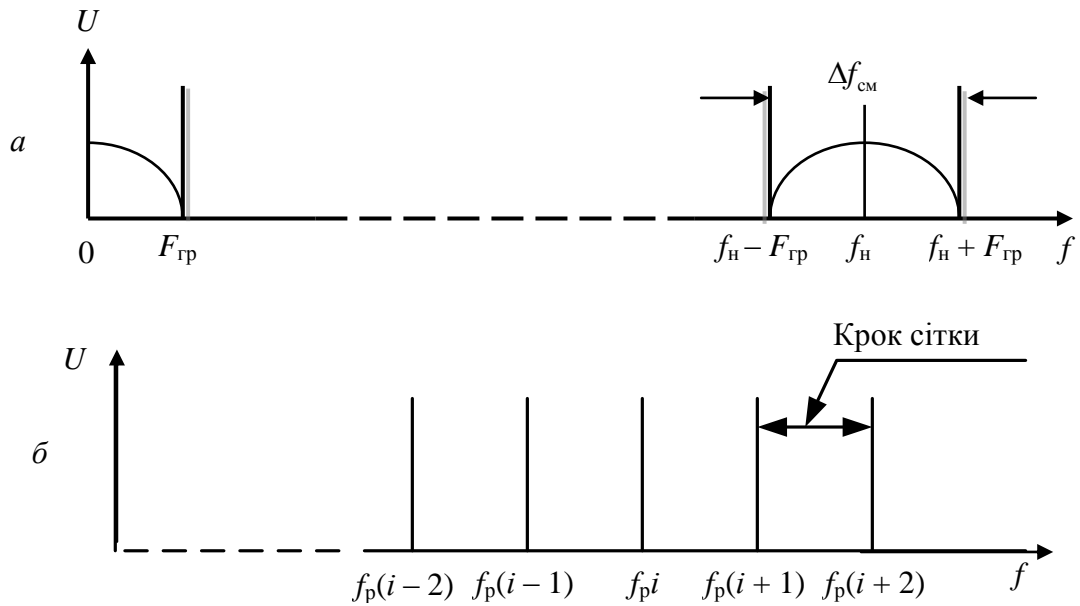


Рис. 3.6. Діаграми спектрів первинного і радіочастотного сигналів (а) і сітки робочих частот радіолінії (б)

Ширина відведеної смуги радіолінії  $\Delta f_{см}$  визначає досяжну швидкість пересилання інформації. У лінії без завад вона дорівнює технічній швидкості  $v_б$  передавання елементарних двійкових сигналів (бітів) і пов'язана з відведеною смугою частот, яка дорівнює граничній частоті спектра первинного сигналу

$$F_{гр} = \frac{1}{T_б} = v_б, \quad (3.20)$$

і відповідно в радіолінії

$$v_б = \frac{\Delta f_{см}}{B}. \quad (3.21)$$

У радіолінії з завадами вона менша, але пропорційна технічній швидкості передачі бітів  $v_б$ , збільшення якої можливе через збільшення відведеної смуги частот або через зменшення бази  $B$  сигналу. Перше можливе у разі використання вищих частот, друге – при втіленні економних методів модуляції / маніпуляції сигналів.

**Архітектура передавача (Прд) і приймача (Прм)** (тобто концепція взаємозв'язку елементів Прд і Прм) залежить від різновиду зв'язку в радіолініях, який може бути одностороннім або двостороннім. При цьому двосторонній зв'язок може бути трьох різновидів:

– *симплексний* зв'язок, при якому передавання і приймання здійснюється радіостанціями почергово;

– *напівдуплексний* зв'язок, при якому симплексний зв'язок здійснюється шляхом автоматичного переходу з передавання на приймання і навпаки;

– дуплексний зв'язок, при якому кожен з абонентів може одночасно передавати і приймати.

Дуплексний зв'язок з використанням аналогових сигналів можливий лише за умови використання двох односторонніх радіоліній з різними робочими частотами в кожній. Симплексний зв'язок і напівдуплексний зв'язок (з використанням ЦС і часовим розподілом каналів) забезпечуються однією двосторонньою радіолінією з однією робочою частотою (рис. 3.7).

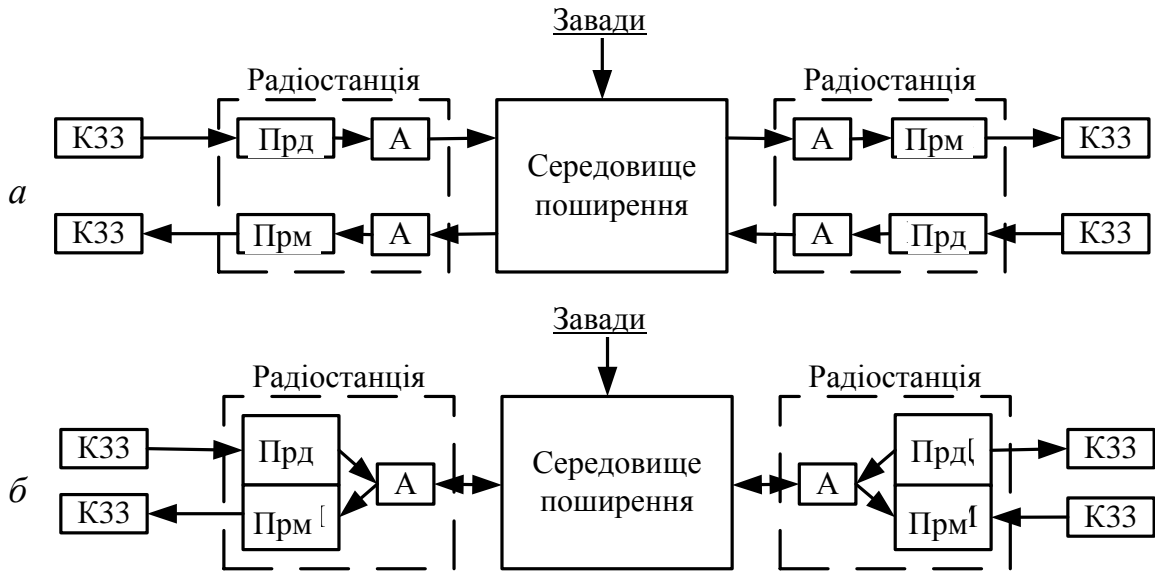


Рис. 3.7. Структурні схеми радіоліній, що забезпечують дуплексний (а) і симплексний (б) зв'язок

Загальний принцип створення і приймання РЧС на робочій частоті радіолінії  $f_p$  полягає в застосуванні в Прд і Прм допоміжних (проміжних) РЧС, несуча частота яких  $f_{MH}$  істотно менша  $f_p$  і називається місцевою несучою ( $f_{MH} \ll f_p$ ). В Прд спектр первинного сигналу переноситься спочатку на місцеву несучу частоту  $f_{MH}$ , а потім на несучу частоту  $f_n = f_p$ ; в Прм обробка здійснюється у зворотному порядку (рис. 3.8). Так технічно простіше виконувати оброблення і перенесення спектра сигналу на різні значення  $f_n$ .

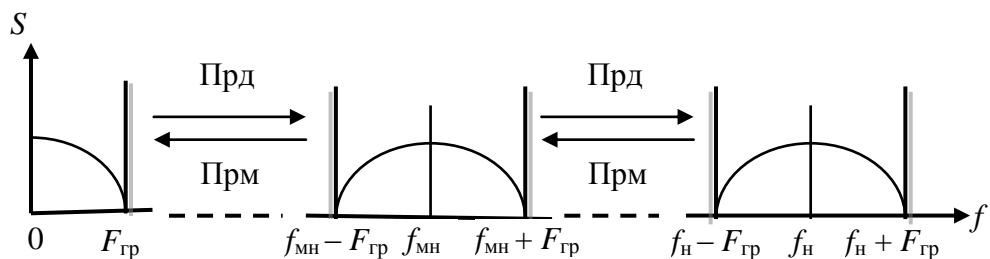


Рис. 3.8. Діаграма спектрів первинного і радіочастотних сигналів несучій і місцевій несучих частотах

Узагальнена структурна схема радіопередавача (рис. 3.9, а) включає в себе:

- збудник передавача (ЗП), на вхід якого подаються первинні електричні сигнали від кінцевого засобу зв'язку (КЗЗ), а на виході існують малопотужні радіосигнали несучої частоти  $f_n$  аналогічні сигналам, що підлягають випромінюванню;

- підсилювач потужності (ПП) сигналів до необхідного вихідного рівня;

- узгоджувальний антенний пристрій (УАП), що трансформує вхідний опір антени, залежний від несучої частоти  $f_n$ , в оптимальний для ПП опір навантаження на частоті  $f_n$ . З УАП вихідний РЧС Прд надходить до антени для випромінювання.

На рис. 3.9, б зображена структурна схема збудника. На ній показано:

- кодування первинного сигналу відбувається в кодері (К);

- модулятор (М) модулює місцеву несучу вихідним сигналом кодера і створює місцевий РЧС;

- змішувач (Зм) переносить спектр місцевого РЧС на частоту  $f_n$ ;

- смуговий фільтр (СФ) подавляє наслідки нелінійних спотворень;

- джерелом високостабільних гармонічних коливань різного призначення ( $f_{мн}, f_{зс}$  тощо) є синтезатор частот (СЧ);

- автоматичне цифрове управління здійснюється з пульта управління (ПУ).

Узагальнена структурна схема радіоприймача (рис. 3.10) містить в собі:

- тракт попередньої селекції і підсилення радіосигналів на несучій частоті радіолінії  $f_n = f_p$  (тракт ПСП);

- тракт гетеродинування і підсилення радіосигналів на місцевій несучій частоті  $f_{мн}$  (тракт ГПЧ);

- СЧ, який створює коливання частоти зсуву  $f_{зс}$ ;

- кінцеві тракти, які забезпечують демодуляцію і декодування сигналів, тобто виконують функції, зворотні до модуляції і кодування в Прд;

- пристрій управління (ПУ) Прм, який забезпечує змінення режимів його роботи, зокрема, автоматичне управління частотою настройки Прм, що відповідає вимозі забезпечення ББРЗ. СЧ і ПУ у Прд і Прм – спільні.



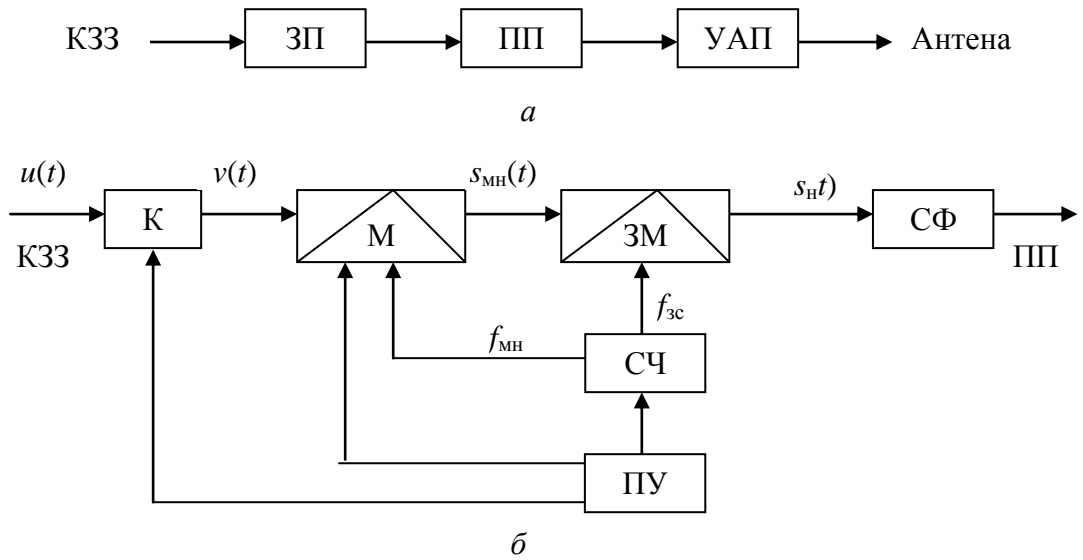


Рис. 3.9. Узагальнені структурні схеми передавача (а) і його збудника (б)

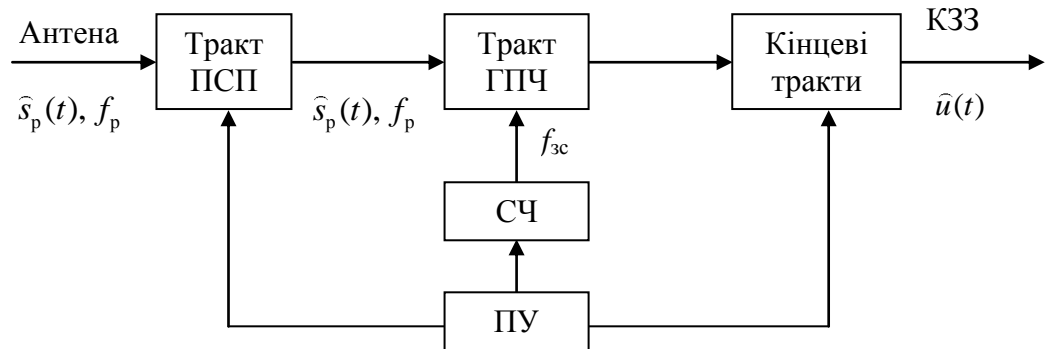


Рис. 3.10. Узагальнена структурна схема радіоприймача

Структурна схема цифрового синтезатора [45] частот зображена на рис. 3.11. У ній первинним джерелом коливань є опорний кварцовий генератор (ОКГ), який створює високостабільні коливання з частотою  $f_{оп}$  ( $1 \pm \delta$ ). Відносна стабільність частоти ОКГ  $\delta$  визначає відносну стабільність несучої частоти  $f_H = f_{сч}$ .

Частота вихідних коливань  $f_{сч}$  надходить з генератора частоти, керованою напругою (ГКН). Керуючу напругу для нього створює фазовий дискримінатор (ФД). Крім того, схема містить 3 подільники частоти, підсилювач і ФНЧ.

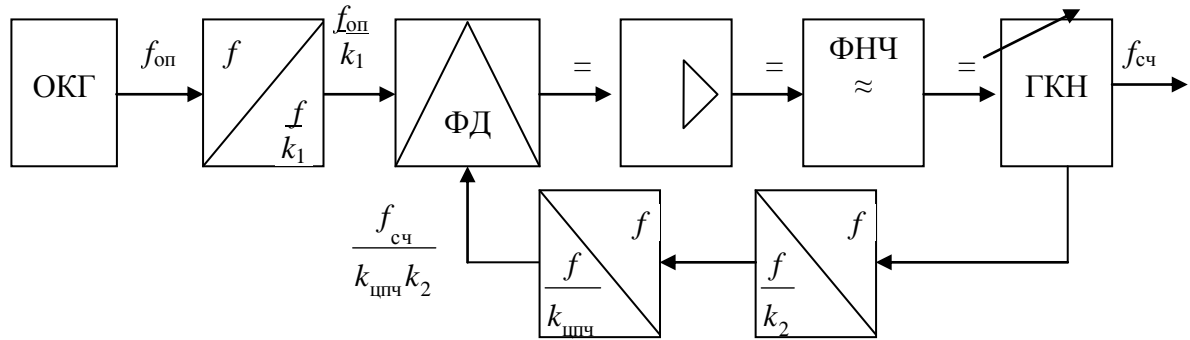


Рис. 3.11. Структурна схема простого синтезатора

У сталому режимі роботи керувальна напруга є незмінною (постійною), а частоти обох вхідних коливань ФД збігаються. З рівняння цих частот виходить, що частота вихідних коливань синтезатора визначається частотою ОКГ і коефіцієнтами ділення подільників:

$$f_{\text{сч}} = k_{\text{щч}} \frac{k_2}{k_1} f_{\text{оп}}. \quad (3.22)$$

Зміна значення  $k_{\text{щч}}$  на одиницю відповідає зміні  $f_{\text{сч}}$  на крок сітки частот  $F_{\text{кр}}$ :

$$F_{\text{кр}} = \frac{k_2}{k_1} f_{\text{оп}}. \quad (3.23)$$

Вибором значень  $k_1$ ,  $k_2$  і  $f_{\text{оп}}$  можна забезпечити будь-яке значення кроку  $F_{\text{кр}}$ , а межі зміни коефіцієнта ділення  $k_{\text{щч}}$  визначають кількість несучих (робочих) частот. Для забезпечення ББРЗ важливо, що зміна  $k_{\text{щч}}$  може відбуватися шляхом електричного управління, перехідний процес якого триває частки секунди.

У синтезаторах частот сучасних радіозасобів значення  $f_{\text{оп}}$  мають величину в межах 5–10 МГц, відносна стабільність частоти  $\delta \cong 10^{-7}$ ; крок сітки частот  $F_{\text{кр}} - 10 \text{ Гц}, 100 \text{ Гц}, 1 \text{ кГц}$ .

### 3.5. Економна модуляція цифрових сигналів

**Двійкова маніпуляція з мінімальним зсувом частот (МЗЧ).** Обмеженість частотного ресурсу потребує економного його використання. Це може бути досягнуто застосуванням  $m$ -ічного (замість двійкового) кодування і (або) двійкової частотної маніпуляції з МЗЧ. Розглянемо спочатку останній спосіб. Він має здійснюватись так, щоб двійкові радіочастотні сигнали (РЧС),

що відповідають значенням бітів 0 і 1, були ортогональними. Це необхідно для кореляційної обробки РЧС у Прм, яка є оптимальною.

Двійкова частотна маніпуляція може бути:

– некогерентною – коли зсув  $\Delta f_{zc}$  миттєвих частот неузгоджений з початком і тривалістю біту  $T_b$ ;

– когерентною – коли зсув миттєвих частот узгоджений з початком і тривалістю біту:  $\Delta f_{zc} = 0,5T_b^{-1}$ .

Двійкова маніпуляція з МЗЧ є когерентною. Вона забезпечує мінімальний зсув миттєвих частот, при якому забезпечується ортогональність двійкових РЧС. Крім того, в ній забезпечується зсув початкової фази РЧС впродовж тривалості біту на  $\pm \frac{\pi}{2}$ . Ортогональність і вказаний набіг фази забезпечують відсутність розриву фази на стиках бітів і, як наслідок, компактність спектру та зменшення внутрішньосистемних завад. Мінімальний зсув частоти і компактність спектру забезпечують економне використання відведеного частотного діапазону. Ортогональність двійкового РЧС створює умови для його оптимальної обробки у радіоприймальному пристрої.

**Спектрально-ефективні ансамблі сигналів.** У ряді випадків неможливо отримати смугу частот, необхідну для передавання спектра двійкових сигналів навіть з МЗЧ. Тоді доводиться застосовувати економніші методи маніпуляції, які отримали назву *спектрально-ефективних*. До них, зокрема, належать  $m$ -ічні (недвійкові) методи цифрової амплітудної, частотної, фазової, амплітудно-фазової маніпуляції.  $M$ -ічний символ несе  $k = \log_2 m$  біт інформації, де  $m$  – обсяг алфавіту недвійкових (багатопозиційних) символів.

При застосованні  $m$ -ічних символів, тривалість кожного з яких становить сумарну тривалість  $k$  двійкових символів, ширина спектра  $m$ -ічних символів буде у  $k$  разів меншою, ніж у двійкових символів. Це забезпечить економне використання смуги частот.

При однаковій тривалості двійкового і  $m$ -ічного символів збільшується швидкість передавання інформації. В обох варіантах збільшується спектральна ефективність ансамблю сигналів (2.8).

### 3.6. Кореляційне приймання цифрових сигналів

Якісна різниця умов приймання аналогових і ЦС полягає у тому, що ЦС створюються з обмеженої множини елементарних кодових символів (0 і 1), які об'єднуються в кодові слова. Кожному символу (0 і 1) відповідає певний елементарний РЧС. Алфавіт кодових символів і відповідних РЧС відомі відправнику і одержувачу повідомлень, чого не скажеш про аналогові сигнали, які змінюються у часі непередбачено.

Унаслідок дії завад форма прийнятих сигналів може відрізнитись від переданих. Але апріорне знання форми елементарних РЧС  $s(t)$  і невелика їх кількість дають можливість порівнювати з ними прийнятий сигнал  $\hat{s}(t)$  і тим самим забезпечити оптимальне приймання цифрового РЧС. При такому прийманні визначається максимально правдоподібна оцінка виду елементарного сигналу, при якій ідентифікація кодового символу (0 чи 1) робиться з мінімальною ймовірністю помилки.

У разі застосування у Прд двійкового кодування алфавіт кодових символів (0; 1) і відповідних двійкових РЧС нараховує всього два елементи. Тому для оптимального приймання у Прм достатньо мати копії усього двох елементарних РЧС  $s_0(t)$  і  $s_1(t)$ , які враховуються при порівнянні з прийнятим сигналом  $\hat{s}(t)$ .

У кореляційному Прм (рис. 3.11) оброблення прийнятого сигналу  $\hat{s}(t)$  зводиться до перемноження його з кожною із копій  $s_0(t)$ ,  $s_1(t)$  і з подальшою інтеграцією добутків упродовж періоду  $T_0$  існування символу. Результати інтегрування

$$R_i = \frac{1}{T_0} \int_0^{T_0} s_i(t) \hat{s}(t) dt, \quad i = 0, 1 \quad (3.24)$$

є випадковими величинами, але завдяки ортогональності  $s_0(t)$ ,  $s_1(t)$  в середньому  $R_1 > R_0$ , якщо передавався символ “1”, і навпаки,  $R_1 < R_0$ , якщо передавався символ “0”. Порівняння величин  $R_1$  і  $R_0$  та прийняття рішення  $v_1(t)$  чи  $v_0(t)$  про вигляд символу, який передавався, відбувається у вирішувальному пристрої (ВП). Ймовірність помилки  $p_{\text{пом}}$  такого рішення залежить від виду і енергетичних характеристик сигналу і завад. При завадах типу білий гаусів шум і рівномірному використанні символів (0 і 1)  $p_{\text{пом}}$  визначається відношенням  $h^2 = \frac{E_0}{N_0}$ , де  $E_0$  – енергія елементарного РЧС,  $N_0$  – спектральна

щільність потужності шуму. При фіксованому значенні  $h^2$  ймовірність  $p_{\text{пом}}$  залежить від виду маніпуляції двійкових сигналів. Дослідження показали, що найвищу завадостійкість забезпечує використання сигналів з когерентною фазовою модуляцією, найгіршу – з некогерентною частотною. Когерентна частотна модуляція з МЗЧ поступається когерентній фазовій частотній модуляції, але має перевагу над некогерентною частотною модуляцією.

Недоліки кореляційного приймання пов’язані з більшими витратами на апаратурну реалізацію кореляційних Прм. Основна трудність реалізації кореляційного приймання полягає в необхідності забезпечення *синхронної роботи* помножувачів і інтеграторів Прм з сигналом, що надходить на вхід Прм.

Існує інший метод досягнення аналогічних переваг, який зветься *узгоджене приймання сигналів*, але під час його застосування зростають труднощі апаратурної реалізації. Незважаючи на це, кореляційне та узгоджене приймання ЦС поширене в новітніх телекомунікаційних технологіях.

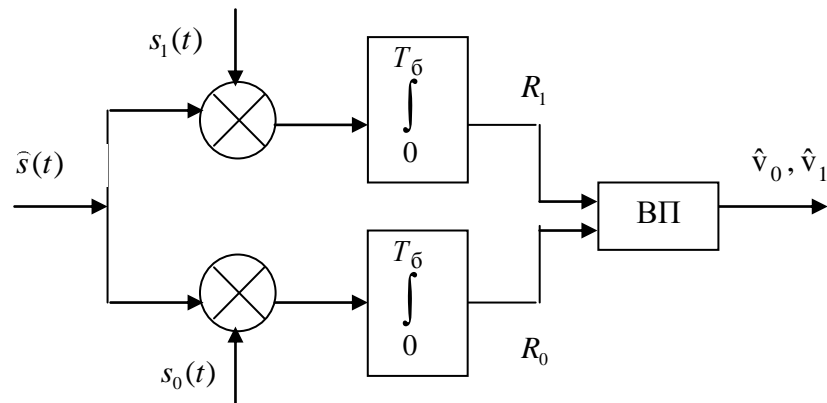


Рис. 3.11. Спрощена функціональна схема кореляційного приймача

Таким чином, переваги ЦС над аналоговими полягають:

- у можливості повнішого використання пропускнуї спроможності каналів зв'язку;

- у вищій завадостійкості під час передавання повідомлень, ще й завдяки можливості регенерації елементів ЦС у проміжних вузлах;

- у адекватності ЦС широкому впровадженню цифрової техніки, комп'ютеризації технологічних та інформаційних процесів, інтеграції видів зв'язку, стандартизації і уніфікації технічних засобів, застосуванню інтегральної елементної бази загального призначення.

Основні принципи побудови передавальних і приймальних засобів новітніх радіостанцій ОТЛУ відображують потреби:

- економічного використання частотного ресурсу, виділеного для ВРЗв;

- зменшення потужності випромінювання для підвищення скритності;

- підвищення завадостійкості і завадозахищеності радіоліній ВЗв.

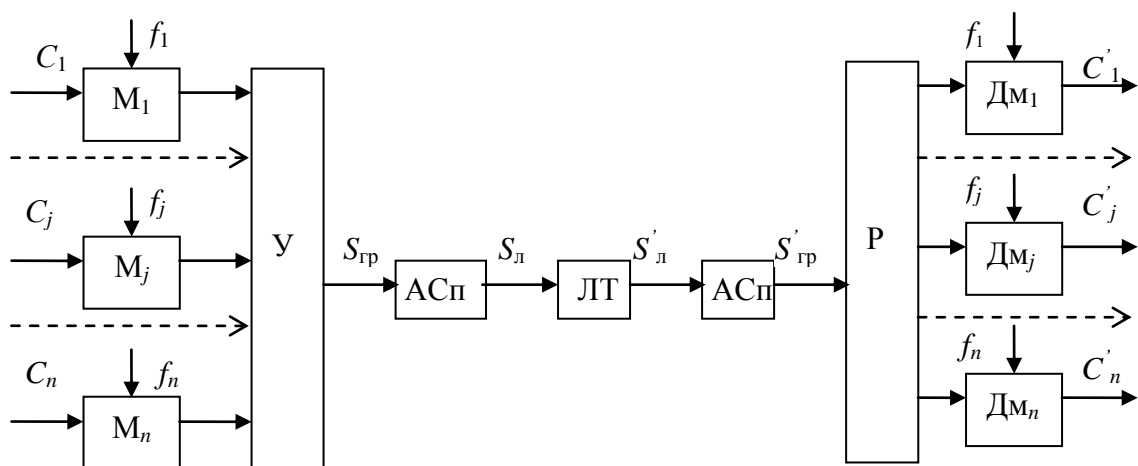
Актуальність і невідкладність розв'язання цих завдань зумовлена масовим застосуванням засобів військового і цивільного радіозв'язку.

## 4. Системотехнічні властивості каналотвірних засобів військового зв'язку

Розглянемо такі питання: каналотвірна апаратура (КТА) з частотним розділенням каналів (ЧРК); КТА з часовим розділенням каналів (ЧсРК); КТА з кодовим розділенням каналів (КРК); синхронізація при паралельному пересиланні даних; синхронізація при послідовному пересиланні даних; особливості синхронізації в системах багатостанційного доступу; асинхронні системи багатостанційного доступу з кодовим розподілом каналів.

### 4.1. Каналотвірна апаратура з частотним розділенням каналів

**Система передачі з ЧРК** [4, 5] – це система, в лінійному тракті якої для кожного каналу відводиться окрема смуга частот. Принципи формування та оброблення сигналу показані на *рис. 4.1*, де ліворуч зображена передавальна частина КТА, в центрі – лінійний тракт, праворуч – приймальна частина іншої КТА. Кожен зразок КТА містить в собі обидві частини.



*Рис. 4.1.* Структурна схема системи передачі з частотним розділенням каналів

Вхідні сигнали  $C_j(t)$ ,  $j = 1, \dots, n$  не мають ознак, за якими їх можна розділити в приймальній частині іншої КТА: їх спектри лежать в одній і тій самій смузі частот  $F_1, F_2$ . Вносяться такі ознаки в модуляторах  $M_j$  зі СФ $_j$ ,  $j = 1, \dots, n$ ,

на виході яких формуються односмугово-модульовані сигнали  $S_j(t, f_j)$ ,  $j = 1, \dots, n$ , спектри яких зсунуті по осі частот на різну величину і не перекриваються (рис. 4.2). В ущільнювачі  $У$  з цих індивідуальних сигналів складається груповий сигнал  $S_{гр}(t, f)$ . В апаратурі спряження (АСп) сигнал перетворюється до виду  $S_{л}(t, f)$ , зручного для передавання лінійним трактом, узгоджуються опори КТА і ЛТ, корегується амплітудно-частотна характеристика (АЧХ).

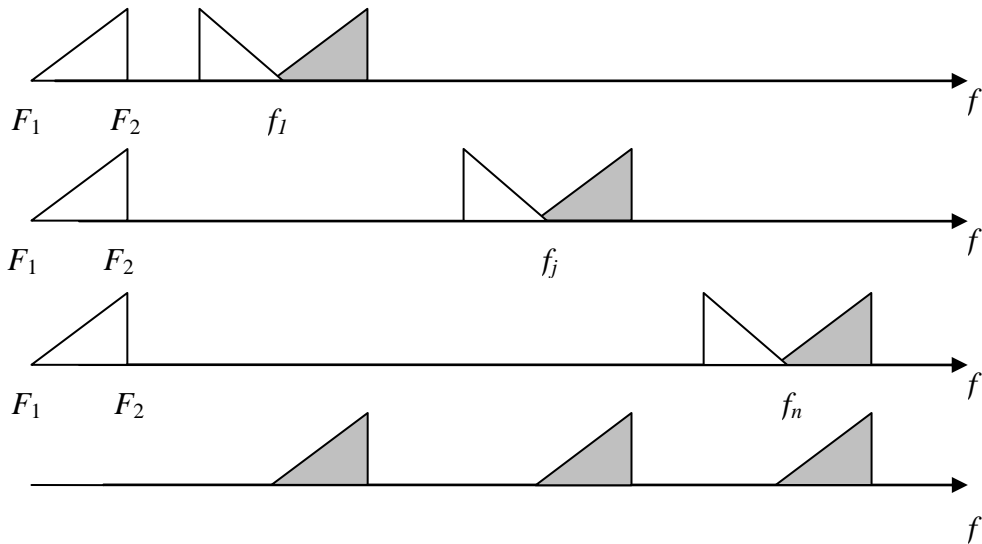


Рис. 4.2. Зсув спектрів при частотному ущільненні сигналів

У приймальній частині іншої КТА, що увімкнена до протилежного кінця ЛТ:

- розділювач  $P$  являє собою систему електричних СФ $_j$ ,  $j = 1, \dots, n$ , що настроєні на відповідні смуги частот і для розділення сигналів використовують введені раніше ознаки. Він забезпечує частотне розділення групового сигналу  $S'_{гр}(t, f)$  на індивідуальні сигнали  $S'_j(t, f_j)$ ,  $j = 1, \dots, n$ ;

- демодулятори ДМ $_j$ ,  $j = 1, \dots, n$  з ФНЧ відтворюють з деякою похибкою передавані низькочастотні сигнали  $C'_j(t)$ ,  $j = 1, \dots, n$  зі спектрами у смузі частот  $F_1, \dots, F_2$ . Для цього на ДМ мають бути подані як несучі такі само частоти  $f_1, \dots, f_n$ , які використовувались у модуляторах  $M$ .

У цьому полягає принцип частотного ущільнення і розділення каналів.

**Достоїнства:** завдяки односмугово-модульованим сигналам, лінійний сигнал економно використовує відведену смугу частот і енергію джерела живлення.

**Недоліки:** складність фільтрів, необхідність мати в приймальній частині іншої КТА для демодуляції такі самі частоти  $f_1, \dots, f_n$ , які використовувались в Прд даної КТА.

**Стандартні групи каналів формуються** відповідно до індивідуального або групового принципу побудови КТА.

*Індивідуальний принцип* полягає у виділенні кожному каналу (на ділянці до остаточного ущільнювача) повного комплекту пристроїв, який забезпечує необхідні перетворення сигналу лише даного каналу (рис. 4.3).

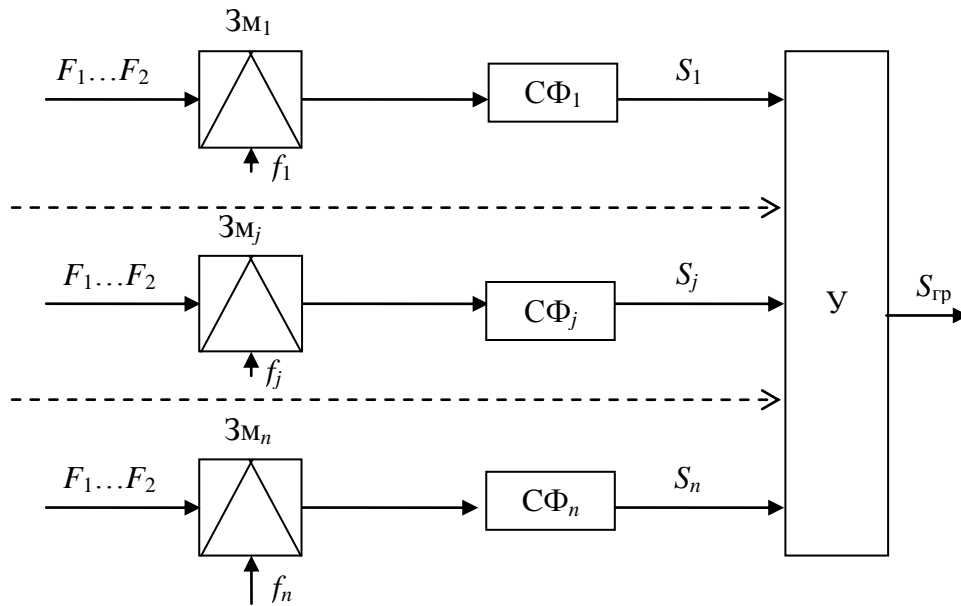


Рис. 4.3. Структурна схема передавача апаратури, побудованої за індивідуальним принципом

Достоїнства: простота нарощування кількості каналів; простота виділення каналу (сигналу) на проміжній станції.

Недоліки: малоканальність; громіздкість і висока вартість порівняно з апаратурою, побудованою за груповим принципом.

*Груповий принцип* полягає у формуванні лінійного сигналу шляхом багатоступеневого ущільнення (рис. 4.4, 4.5) і розділення.

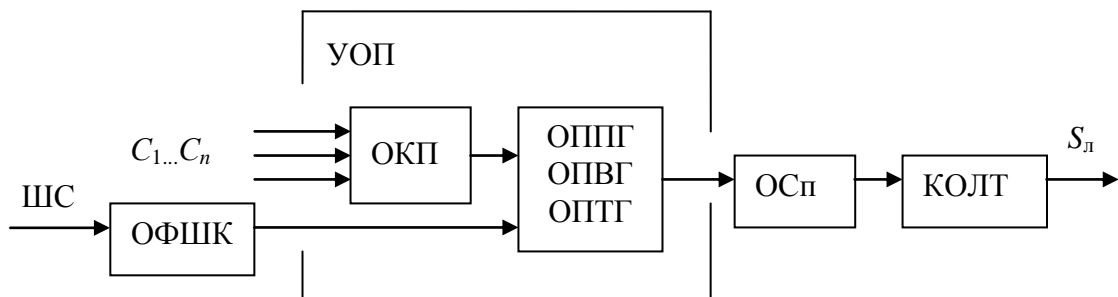


Рис. 4.4. Структурна схема передавача каналотвірної апаратури, побудованої за груповим принципом

До складу такої КТА входять:

– уніфіковане обладнання перетворення (УОП), що складається з обладнання каналного перетворення (ОКП) і обладнання перетворення первинних груп (ОППГ), вторинних груп (ОПВГ) і третинних груп (ОПТГ);



- обладнання формування широкосмугових каналів (ОФШК) на основі каналів попередніх груп, первинних (ПГ) або вторинних (ВГ) груп;
- обладнання спряження (ОСп), що забезпечує перенесення спектра зі смуги частот групового сигналу до смуги частот лінійного сигналу в тракці передачі і зворотного перетворення в тракці прийому;
- кінцеве обладнання лінійного тракту (КОЛТ), що забезпечує необхідне підсилення, корекцію і регулювання АЧХ трактів, дистанційне електроживлення, телеконтроль, службовий зв'язок.

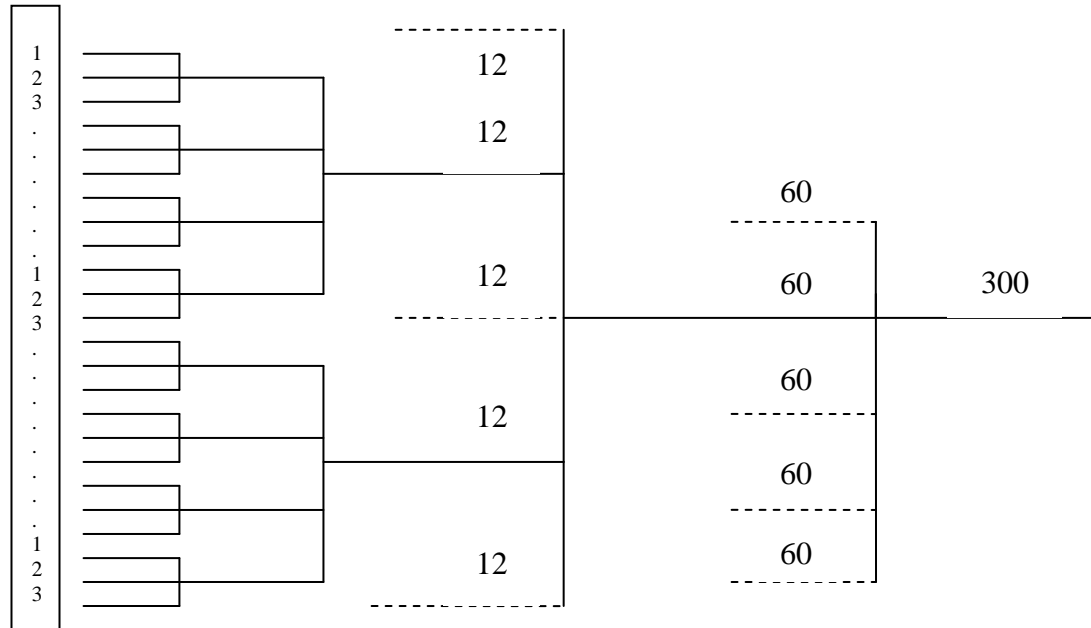


Рис. 4.5. До формування груп з каналів тональної частоти

Повертаючись до ОКП, слід зазначити, що до його складу належать пристрої, які забезпечують перетворення кожних 12 каналів тональної частоти (ТЧ) у смугу частот 60–108 кГц основної первинної групи і зворотне перетворення.

Обладнання каналного перетворення може бути побудоване з використанням триканальних попередніх груп (рис. 4.5), спектри сигналів яких займають смугу частот в діапазонах 12–24 кГц чи 132–144 кГц), або на базі обладнання, яке забезпечує безпосереднє формування основних первинних груп сигналів зі спектрами в діапазоні частот 60–108 кГц.

Побудова КТА за груповим принципом дає змогу:

- зменшити кількість типів пристроїв (модуляторів, демодуляторів, фільтрів, генераторів частот тощо), які відрізняються за своїми характеристиками;
- використати уніфіковане обладнання, що знижує вартість виробництва;
- отримувати широкосмуговий канал замість кількох вузькосмугових каналів ТЧ.

У разі реалізації групового принципу виділення каналу (сигналу) на проміжній станції стає складнішим, однак, застосовують переважно цей принцип.

Частотне розділення каналів застосовується, наприклад, в апаратурі тонального телеграфування (П-318, П-319, П-327, П-330 “Азурь” та ін.).

## 4.2. Каналотвірна апаратура з часовим розділенням каналів

У процесі побудови КТА цифрових систем передачі (ЦСП) мовних та інших аналогових сигналів реалізуються три принципи:

– принцип аналого-цифрового (АЦП) та цифро-аналогового (ЦАП) перетворення;

– принцип часового об’єднання індивідуальних ЦС у цифровий груповий сигнал (ЦГС);

– принцип перетворення ЦГС у цифровий лінійний сигнал (ЦЛС).

**Принцип АЦП** передбачає дискретизацію сигналу за часом, квантування його за рівнями, перетворення цих рівнів у двійкові цифрові коди. Відповідно до цього АЦП складається з дискретизатора, квантувача і кодера (рис. 4.6).



Рис. 4.6. Структурна схема аналого-цифрового перетворювача

З принципу роботи АЦП, який показаний на рис. 4.7, видно, що ЦСП передає не увесь мовний сигнал, а окремі його значення (вибірки, відліки), вибрані за допомогою імпульсів дискретизації. Згідно з теоремою Котельникова частота імпульсів дискретизації має бути не меншою за подвійну максимальну частоту сигналу:  $f_d \geq 2F_m$ . Згідно з рекомендаціями МККТТ спектр мовного сигналу обмежується величиною  $F_m = 3,4 \text{ кГц}$  (що вносить певну помилку дискретизації). Отже, достатньо вибрати частоту дискретизації  $f_d = 8 \text{ кГц}$ , якій відповідає період дискретизації  $T_d = 125 \text{ мкс}$ . У результаті дискретизації формується амплітудно-імпульсно-модульований сигнал (АІМС-1).

Амплітуда АІМС-1 має нескінченну кількість значень. Для їх обмеження з метою забезпечення можливості подальшого кодування короткою кодовою комбінацією у квантувачі виконується квантування за рівнями. Різниця між неквантованим і квантованим АІМС являє собою шуми квантування, величина яких має бути меншою за рівень теплових шумів.

Надалі квантовані амплітуди АІМС за допомогою тактових імпульсів (ТІ), які надходять на кодер з частотою  $2,048 \text{ МГц}$ , перетворюються там у двійкові цифрові кодові групи. Для мовного сигналу достатньо  $2^8 = 256$  рівнів

квантування. Звідси випливає, що в АЦП потрібен 8-розрядний кодер. Так формується основний цифровий канал (ОЦК) зі швидкістю передачі інформації  $V = 8 \text{ кГц} \times 8 \text{ біт} = 64 \text{ кбіт/с}$ . Оскільки період тактових позицій (імпульсів) не перевищує  $0,5 \text{ мкс}$ , то тривалість кожної 8-розрядної (бітної) кодової комбінації не перевищує  $4 \text{ мкс}$ .

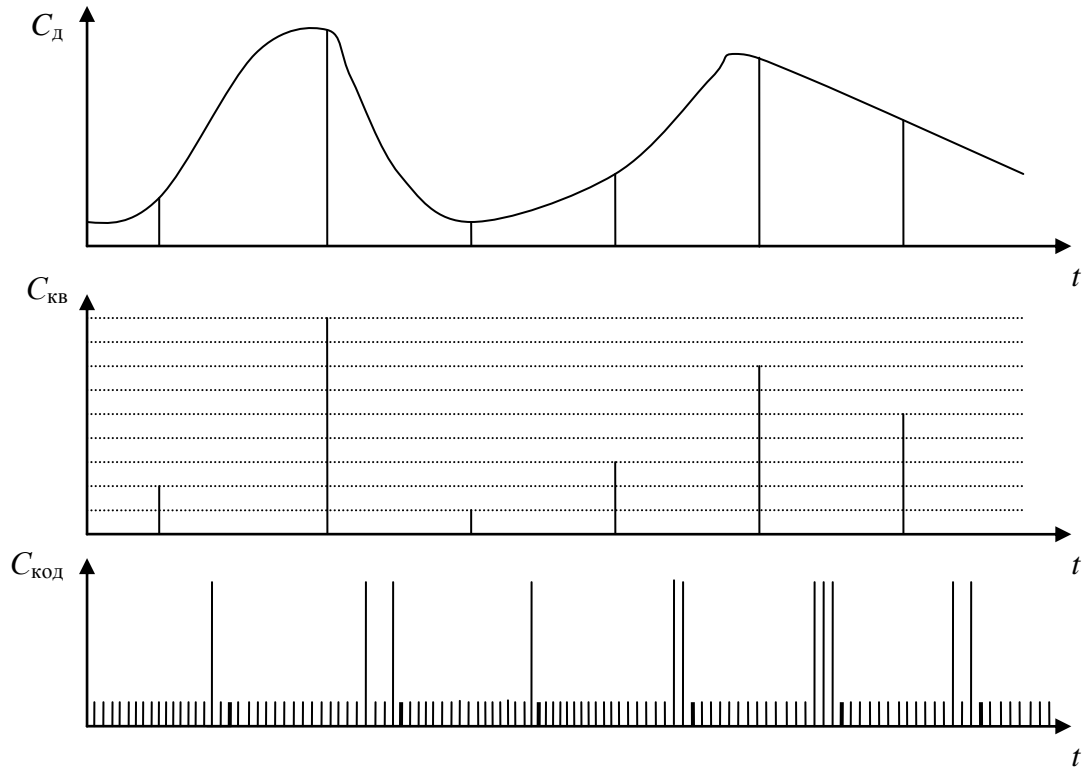


Рис. 4.7. Перетворення аналогового сигналу у цифровий сигнал

**Принцип часового об'єднання** [4; 5] індивідуальних ЦС у ЦГС полягає в тому, що період дискретизації  $T_d = 125 \text{ мкс}$ , а тривалість кожної кодової групи не перевищує  $4 \text{ мкс}$ . Отже, в проміжках між кодовими групами бітів одного індивідуального каналу (сигналу) можна розмістити кодові групи бітів інших індивідуальних каналів (сигналів) і таким чином сформувати ЦГС.

Відомі два способи формування цифрового групового сигналу.

Перший спосіб реалізується об'єднанням виходів дискретизаторів різних каналів. Тоді квантувач і кодер стають груповими пристроями, які забезпечують послідовне квантування і кодування АІМС усіх каналів. Починаючи з 70-х років ХХ ст. у такий спосіб будувались КТА ІКМ-24 в США, ІКМ-30 НОКІА в Фінляндії, ІКМ-30 в СРСР.

Другий спосіб реалізується об'єднанням виходів кодерів, через що весь АЦП стає індивідуальним. Цей спосіб став можливим завдяки успіхам в розробленні великих інтегральних схем. Починаючи з 90-х років, у такий спосіб будувались СК-30 в Росії, ІКМ-15/30, ІКМ-30к, ІКМ-30-5 в Україні, ІКМ-30ПБ в Болгарії.

**Принцип перетворення ЦГС в ЦЛС** реалізується у 2 етапи.

На першому етапі за допомогою мультиплексора інформаційний ЦГС доповнюється сигналами синхронізації, управління і взаємодії, дискретної інформації, службового зв'язку тощо. Але цей ЦГС, що є потоком нулів і імпульсів однієї полярності, недостатньо завадостійкий і не забезпечує надійної самосинхронізації. Він має й інші недоліки. Щоб позбавитись їх, на другому етапі здійснюється інвертування однополярних імпульсів через один і таким чином, однополярний ЦГС перетворюється у біполярний ЦЛС. Крім того, на цьому етапі нормалізуються амплітуда, форма і тривалість імпульсів сигналу.

З виходу КТА ЦЛС із заданими параметрами надходить у цифровий лінійний тракт.

У приймальній частині іншої КТА, що увімкнута до протилежного кінця цифрового лінійного тракту, за допомогою демультимплексорів і ЦАП здійснюється зворотне перетворення сигналів.

Різновиди КТА ІКМ-30 забезпечують формування 30 оперативних (інформаційних) і 2 службових канали ОЦК (зі швидкістю передавання інформації 64 *кбіт/с* на канал). За потреби може здійснюватись подальше ущільнення каналів (вторинне, третинне тощо). В Україні для цього виробляється КТА 5-го покоління, яка може працювати як на металевий, так і на волоконно-оптичний лінійний тракт.

### **4.3. Каналотвірна апаратура з кодовим розділенням каналів**

**Основні принципи каналоутворення** [24; 36]. На відміну від ЧРК і ЧсРК, в яких передбачено поділ відведеного діапазону на вузькі канали за частотною або часовою ознакою, при КРК група абонентів працює одночасно в загальній і широкій смузі частот, а розподіл каналів здійснюється за формою сигналів.

Основними принципами КРК є кодування інформації, яка передається; розширення спектра сигналу; управління потужністю передаваних сигналів.

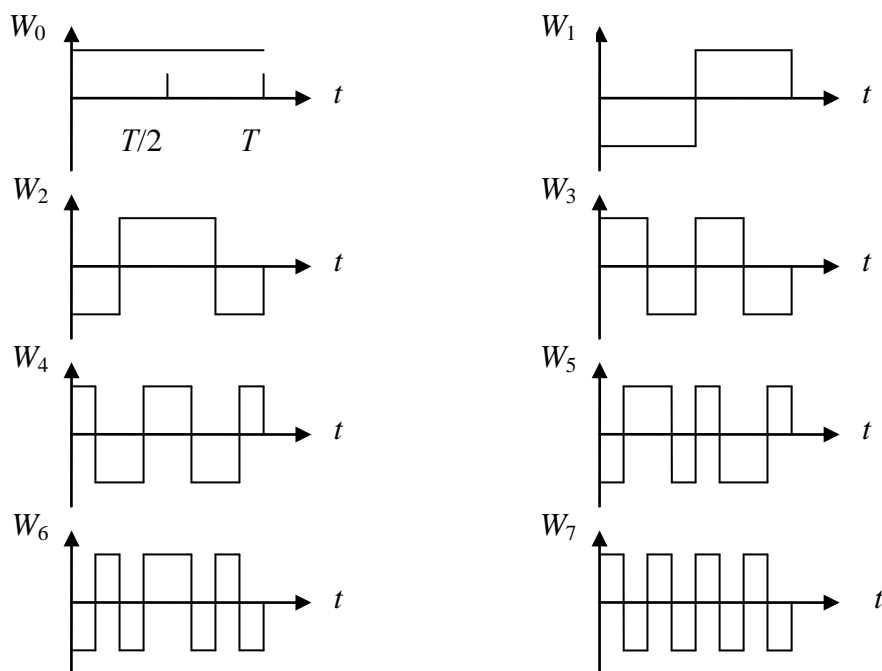
Кодове розділення каналів застосовується в системах супутникового і стільникового зв'язку (ССЗ).

**Структура сигналів і організація зв'язку.** При КРК відведений системі діапазон частот поділяють на широкі смуги по 1–5 *МГц*. Кожній підсистемі надають по дві такі смуги, рознесені між собою на десятки мегагерц. Одну смугу використовують в синхронних каналах (для зв'язку від базової (БС) до абонентської станції (АС)), другу – в асинхронних каналах (від АС до БС). У межах кожної смуги працюють одночасно десятки абонентів.

Інформація, яка передається кожним абонентом, кодується, для чого визначається інтервал ортогональності в один чи декілька тактових періодів. Далі, кодова послідовність бітів, розташованих на кожному з таких інтерва-

лів, замінюється відповідною кодовою послідовністю чипів, тобто значно коротших елементарних імпульсів з ширшим спектром частот. Кодова послідовність чипів має бути ортогональною стосовно кодових послідовностей чипів, застосовуваних іншими станціями або для заміни інших кодових послідовностей бітів. Цим створюються умови для збільшення широкосмуговості та завадостійкості і подальшого розділення сигналів. Приймаючи такі сигнали, виділити інформацію може тільки той абонент, який володіє застосованим кодом. Саме це створює умови для одночасної роботи в загальній смузі частот великої кількості абонентів і для надійного обміну інформацією навіть тоді, коли рівень завад перевищує рівень сигналу на 20–30 дБ. Для захисту інформації застосовується також згорткове кодування і блокове перемежування.

Для надійного розділення каналів і зменшення внутрішньосистемних завад застосовують ортогональні коди, наприклад коди Уолша. Їх можна уявити розташованими у вигляді рядків матриці, створених на основі ортогональних функцій Уолша. Приклади таких функцій перших 8 порядків показані на *рис. 4.8*. Слід звернути увагу на те, що на інтервалі ортогональності  $T$  кожна непарна функція – симетрична відносно точки з координатами  $(T/2, 0)$ , а кожна парна функція – симетрична відносно прямої, що проходить через ту саму точку паралельно осі ординат.



*Рис. 4.8.* Функції Уолша

Особливість матриці Уолша полягає в тому, що кожен її рядок  $W_i(t_k)$  є ортогональним до будь-якого іншого рядка, а також до рядка  $\bar{W}_i(t_k)$ , елемен-

ти якого створені з елементів іншого рядка за допомогою їх інвертування (операції логічного заперечення). Ортогональність рядків можна виразити нормованим скалярним добутком

$$\frac{1}{n} \sum_{k=0}^{n-1} W_i(t_k) W_j(t_k) = \begin{cases} 1 & i=j \\ 0 & i \neq j \end{cases}, \quad \frac{1}{n} \sum_{k=0}^{n-1} W_i(t_k) \bar{W}_j(t_k) = \begin{cases} -1 & i=j \\ 0 & i \neq j \end{cases}, \quad (4.1)$$

де  $i, j = 0, 1, \dots, n-1$ ;

$n$  – порядок матриці і кількість елементів у її рядку.

У Прм є узгоджений фільтр, який у разі застосування ортогональних кодів забезпечує виділення необхідного сигналу, а решту подавляє.

Стандартом IS-95 рекомендована для використання матриця Уолша 64 або 128 порядку. Цього досить для розділення каналів абонентів, яких обслуговує БС.

Для максимізування абонентської ємності БС необхідно, щоб АС, перебуваючи будь-де, випромінювали сигнали такої потужності, за якої на вході БС забезпечувався б приблизно однаковий мінімально необхідний для якісного зв'язку рівень їх сигналів. Є приклади автоматичного регулювання потужності АС за командами БС в межах 85 дБ з кроком 1 дБ і повторюванням цих команд через 1–20 мс.

Робота на мінімально-необхідних рівнях сигналів принципово важлива, тому що саме вона створює умови для *лінійного* підсумовування у груповому сигналі *великої* кількості індивідуальних сигналів, що одночасно надходять на БС від різних АС, або формуються в БС для одночасної передачі всім АС.

Від *лінійності* підсумовування і *однаковості* рівня підсумованих сигналів залежить якість кореляційного оброблення групового сигналу, рівень внутрішньосистемних завад і, врешті решт, ємність системи зв'язку.

**Способи кодування.** Стандарт IS-95 передбачає використання ШСС з тактовою частотою 1,2288 МГц (тривалістю елементарного символу  $\tau_e = 0,814$  мкс). Усі сигнали, що випромінює БС, піддаються тактовій і циклової синхронізації від ПВП, що розширяє спектр сигналу. Для цього в усіх БС використовують єдиний час, наприклад від GPS.

Для формування ШСС передбачене використання матриць Уолша, а також довгих (ДПВП) і коротких (КПВП) М-последностей. Період ДПВП триває  $2^{41} \tau_e = 466$  год, період КПВП –  $2^{15} \tau_e = 2/75$  с. Моменти початку ДПВП і КПВП, що формуються в БС, синхронізуються з системним часом.

Відомі два способи формування ШСС.

В *абонентській станції* (рис. 4.9) цифровий потік передаваної інформації, що надходить з кодера каналу на перетворювач Уолша, розбивається на слова (інтервали ортогональності) по 6 біт, і кожному різновиду слова (а їх –  $2^6 = 64$  варіанти) ставиться у відповідність один з 64 рядків матриці Уолша.

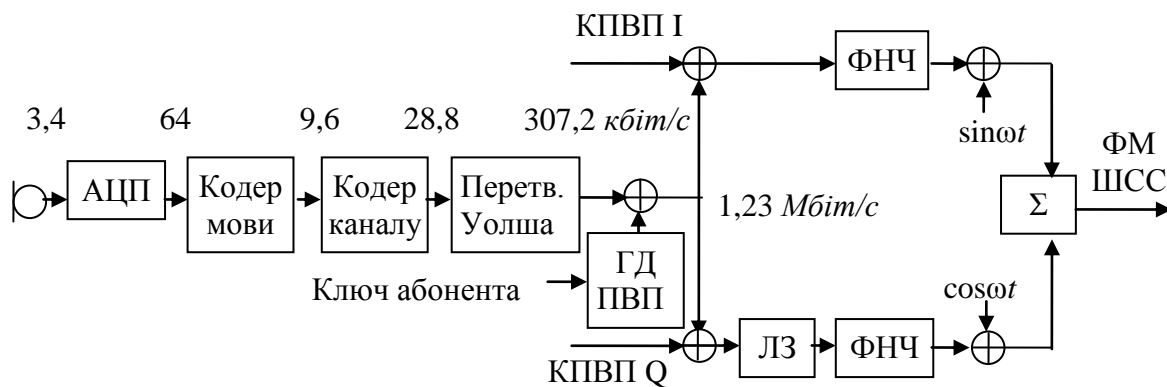


Рис. 4.9. Структурна схема кодування у асинхронному каналі (від АС до БС)

Отже, кожна АС під час передавання використовує весь арсенал рядків цієї матриці. Для ідентифікації АС на вході БС і розділення в ній абонентських каналів використовують відповідні ділянки ДПВП, що надходять з генератора і визначаються індивідуальним ключем кожного абонента. Цей, а також короткі коди, що генеруються зі значно більшими швидкостями (рис. 4.9), збільшують ширину і вирівнюють спектр сигналу. Це приводить до підвищення завадозахищеності системи і конфіденційності зв'язку [62]. Адресою БС є відповідна ділянка короткого коду [67; 71].

У базовій станції (рис. 4.10) для кодування інформації, переданої кожному абонентському каналу, виділяється лише один з 64 рядків матриці Уолша, що генерується з періодом та довжиною в 64 двійкових символи і тактовою частотою 1,2288 МГц. Кожному одиничному біту інформації ставиться у відповідність цей рядок матриці Уолша без будь-яких змін, а кожному нульовому біту інформації – цей самий, але інвертований рядок матриці Уолша. Це використовується як основна адреса АС для виділення в АС адресованого їй сигналу і для підвищення завадозахищеності каналу. Персональна ділянка довгого коду використовується як додаткова адреса і для забезпечення конфіденційності зв'язку. Для цього ДПВП піддається у розріджувачі процедурі децимації у 64 рази. Відповідно на виході розріджувача частота проходження символів зменшується до 19,2 кбіт/с, внаслідок чого ці символи стають синхронними і синфазними з бітами кодової послідовності, які надходять з кодера каналу. Для шифрування ці дві послідовності складаються за модулем 2.

Для дешифрування в АС послідовність демодульованих бітів має бути ще раз підсумована за модулем 2 з такою самою прорідженою ДПВП.

Для створення ширшого і рівномірнішого спектру реалізується ще й додаткова маніпуляція КПВП з тактовою частотою 1,2288 МГц. Крім того, КПВП передається ще й адреса БС, яка дає змогу АС відрізнити одну БС від інших 511 БС. Адреса БС визначається величиною зсуву використаної для адресування ділянки КПВП відносно системного часу.

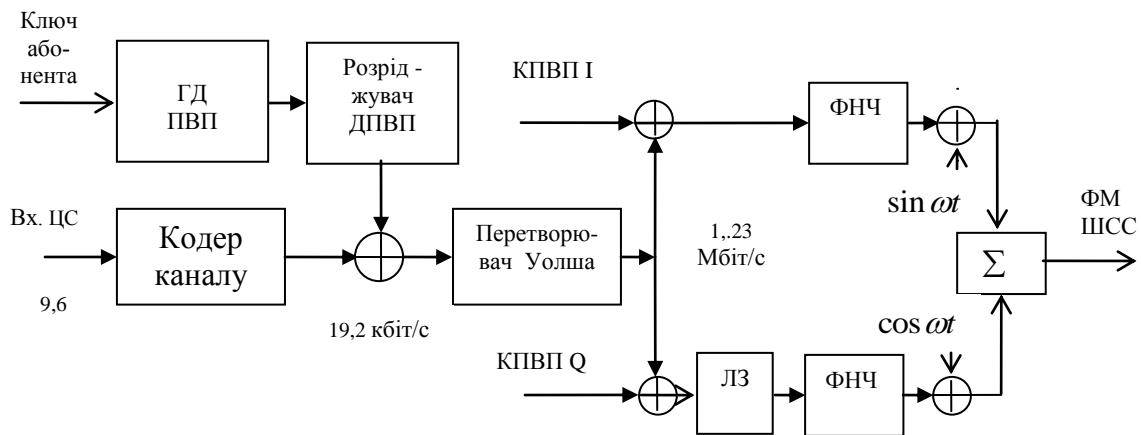


Рис. 4.10. Структурна схема кодування у синхронному каналі (від БС до АС)

Отже виходить, що абонентська ємність підсистеми БС – АС визначається порядком застосованої матриці Уолша. З 64 каналів БС один призначений для безперервного передавання пілот-сигналу  $W_0$ , який використовується для грубої синхронізації і регулювання потужності Прд АС; ще один канал  $W_{32}$  використовується для точної синхронізації, 7 – для персонального виклику АС, 55 – для прямого доступу (передачі мовної і службової інформації). Однак на практиці ємність обмежується і впливом інтерференції сигналів. У мобільних підсистемах вона становить 25–35, в стаціонарних – 45, є приклади нормального одночасного функціонування 55 каналів.

**Призначення довгого і короткого кодів [67].** Одним із важливих основоположних принципів роботи КТА з КРК є розширення спектра сигналів. Застосування ШСС дає змогу: розділити декілька променів з різною затримкою сигналів при багатопробеному поширенні; в системах ВЗв організувати стійке передавання інформації в умовах навмисних завад, потужність яких на вході Прм у сотні – тисячі разів перевищує потужність корисних сигналів; підвищити скритність передачі.

Основна вимога, якій має задовольняти ШСС – це псевдовипадковість чи шумоподібність. Такі важливі властивості для зменшення внутрішньосистемних завад, як “хороші” автокореляційна (АКФ) і взаємна кореляційна (ВКФ) функції, тобто АКФ з малими боковими пелюстками і ВКФ з пелюстками, близькими до нуля; найрівномірніший амплітудний спектр – є похідними від їх шумоподібності. Такими властивостями володіє доволі довга реалізація теплового (білого гаусового) шуму. Її АКФ є  $\delta$ -функція Дірака, енергетичний спектр – рівномірний. “Хороша” псевдовипадковість у кодів Баркера, але їх мало. За допомогою ансамблю послідовностей Уолша одноосібно



розв'язати це завдання неможливо. Послідовності Уолша ортогональні, легко формуються сучасною цифровою технікою, але мають регулярну структуру і не вносять до сигналу елемента псевдовипадковості. Вони зсувають, але недостатньо розширяють спектр і, як наслідок, мають високий  $\left(\frac{n-1}{n}\right)$  рівень

максимальних бокових пелюсток АКФ і пелюсток ВКФ. Але на основі послідовностей Уолша можна побудувати похідні ансамблі із задовільними кореляційними характеристиками. Це можна зробити посимвольним перемноженням (при елементарних символах 1 і -1) або складанням за модулем 2 (при елементарних символах 0 і 1) послідовності Уолша з деякою утвірною ПВП тієї самої тривалості. Утвірну ПВП слід вибирати так, щоб її аперіодична АКФ мала низький рівень бокових пелюсток. Аналіз показав, що похідні ПВП, що створені на основі послідовностей Уолша довжиною  $n = 16, 32$  і  $64$  та утвірною ПВП такої самої тривалості з максимальним рівнем бокових пелюсток  $\frac{1}{\sqrt{n}}$ , мають максимальний рівень бокових пелюсток АКФ відповідно  $9/16, 12/32, 17/64$ . Це значно нижче, ніж у АКФ послідовностей Уолша, що мають бокові пелюстки відповідно  $15/16, 31/32, 63/64$ . Найпоширенішими у широкосмугових системах зв'язку як утвірні ПВП є ПВП типу  $M$ -послідовності з елементарними символами 0 і 1 або -1 і 1. З їх ділянок і створені довгі та короткі коди, що застосовані в моделях (див. рис. 4.9 та 4.10).

**Кодове розділення сигналів** розглянемо на прикладі АС. Перш за все, виконуються функції, для яких були призначені довгий і короткий коди (див. способи кодування). Для цього прийманий сигнал повторно перемножується на копії цих кодів посимвольно або складається з ними по модулю 2. У результаті залишаються очищені (значною мірою від завад, довгого та короткого кодів) коди Уолша.

Припустимо, що нині БС передає груповий сигнал, у складі якого ретранслюються індивідуальні сигнали, адресовані 1, 2 і 3-й АС. Для кодування БС використала рядки матриці Уолша 8 порядку з індексами 1, 2, 3. При цьому БС ретранслює у даному такті для 1 і 3-ї АС одиничний біт, а для 2-ї – нульовий біт. Отже, груповий сигнал, що формується порозрядним складанням, має вид

**Кодове розділення сигналів** розглянемо на прикладі АС. Перш за все, виконуються функції, для яких були призначені довгий і короткий коди (див. способи кодування). Для цього прийманий сигнал повторно перемножується на копії цих кодів посимвольно або складається з ними по модулю 2. У результаті залишаються очищені (значною мірою від завад, довгого та короткого кодів) коди Уолша.

Припустимо, що нині БС передає груповий сигнал, у складі якого ретранслюються індивідуальні сигнали, адресовані 1, 2 і 3-й АС. Для кодування БС використала рядки матриці Уолша 8 порядку з індексами 1, 2, 3. При цьому БС ретранслює у даному такті для 1 і 3-ї АС одиничний біт, а для 2-ї – нульовий біт. Отже, груповий сигнал, що формується порозрядним складанням, має вид

$$S = W_1 + \bar{W}_2 + W_3 = (-1-1-1-1+1+1+1+1) + (+1+1-1-1-1-1+1+1) + (+1+1-1-1+1+1-1-1) = 11-3-31111.$$

Для виділення в АС з такого групового сигналу призначеного їй індивідуального сигналу кожна АС в процесі кореляційної обробки розраховує нормований скалярний добуток групового сигналу на виділений їй рядок матриці Уолша. У результаті 1, 2 і 3-я АС відповідно отримують:

$$\frac{1}{n}SW_1 = \frac{1}{n}(W_1W_1 + \bar{W}_2W_1 + W_3W_1) = \frac{1}{n}(n + 0 + 0) = 1,$$

$$\frac{1}{n}SW_2 = \frac{1}{n}(W_1W_2 + \bar{W}_2W_2 + W_3W_2) = \frac{1}{n}(0 - n + 0) = -1,$$

$$\frac{1}{n}SW_3 = \frac{1}{n}(W_1W_3 + \bar{W}_2W_3 + W_3W_3) = \frac{1}{n}(0 + 0 + n) = 1.$$

Це свідчить про те, що кожна АС правильно виділила з групового сигналу переданий їй у даному такті індивідуальний сигнал і визначила його величину: одиничний біт для 1 і 3-ї АС і нульовий – для 2-ї АС.

В умовах завад кореляційне оброблення слід виконувати згідно з п. 3.6.

Достоїнства КРК: забезпечення високої скритності і завадостійкості сигналів; ослаблення на 20–30 дБ завмирань сигналу; у кілька разів менші ніж при ЧРК і ЧсРК випромінювана потужність і енергоспоживання; м'яка передача обслуговування абонентів базовими станціями.

Донедавна вважалось, що при КРК через взаємні завади в асинхронних каналах (від АС до БС) недостатньо ефективно використовується відведена смуга частот. Дослідження [67] показали, що ефективність навіть зростає у 6–8 разів, і ось чому:

- під час передавання мовних сигналів 2/3 часу припадає на паузи. На цей час Прд АС вимикається, за рахунок чого кількість одночасно діючих АС можна збільшити у 2–3 рази порівняно з ЧРК, при якому закріплена за абонентом смуга залишається за ним і на час пауз;

- при КРК, на відміну від ЧРК і ЧсРК, немає потреби в захисних інтервалах, за рахунок чого можна збільшити ефективність ще в 2 рази;

- решту приросту ефективності можна забезпечити за рахунок використання секторних антен і поляризаційної вибіркості.

Недоліки КРК: складність технічної реалізації, що зумовлена необхідністю точної синхронізації і жорсткого витримування фазових співвідношень; необхідність регулювання рівня сигналу; залежність швидкості пересилання інформації від швидкості відносного переміщення абонента через недостатню швидкодію сигнальних процесорів.

У системах 3-го покоління передбачено забезпечення швидкості пересилання інформації абонентам: стаціонарним – 2 Мбіт/с, пішохідним – 384 кбіт/с, автомобільним – 144 кбіт/с. Цифрова форма сигналів, їх широко-смуговість, шифрування інформації забезпечують вищу ніж в інших системах якість зв'язку.

Таким чином, КРК – один з найефективніших методів. Все частіше він застосовується в комплексах супутникового, стільникового та інших родів і видів зв'язку поряд з частотним та часовим методами розділення каналів.

Основними принципами КРК є кодування інформації, яка передається; розширення спектра сигналу; управління потужністю сигналів, що передаються.

#### 4.4. Синхронізація під час паралельного пересилання даних

Паралельне пересилання даних застосовується в локальних комп'ютерних мережах, де завдяки невеликим відстаням, це не приводить до істотного подорожчання кабельної системи [44].

Проблема синхронізації в системах з паралельним пересиланням даних виявилась нескладною. Для її розв'язання до 8 ліній, якими одночасно пересилаються 8 бітів даних, додається ще одна – для передавання тактових строб-імпульсів синхронізації (рис. 4.11). Застосовуючи генератор строб-імпульсів, Прд точно вказує Прм, коли в каналі зв'язку з'являться призначені для нього дані.

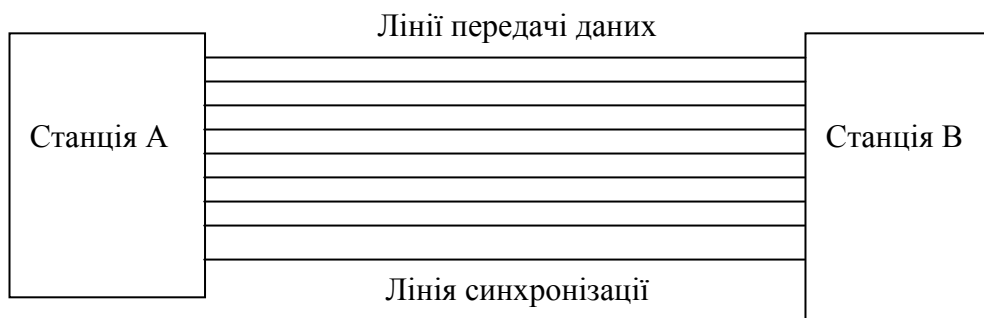


Рис. 4.11. Синхронізація при паралельній передачі даних

Якщо швидкість пересилання даних і відстань між станціями А і В перебувають у межах, за яких передані сигнали не мають істотного зсуву фаз, то інформація, яку надає генератор тактових строб-імпульсів, буде достатньою для уникнення неправильної вибірки даних з каналу зв'язку.

#### 4.5. Синхронізація під час послідовного пересилання даних

Послідовне пересилання даних застосовується в регіональних і глобальних мережах через дорожнечу лінійного обладнання і кабельних ліній великої довжини. За таких умов пересилання даних і синхронізація здійснюються по одній і тій самій лінії (рис. 4.12).

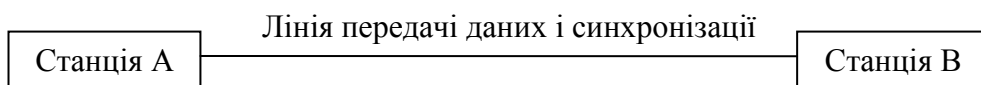


Рис. 4.12. Синхронізація при послідовній передачі даних

Принципово необхідними елементами ЦСП є пристрої тактової і циклової синхронізації.

**Тактова синхронізація** [44]. Прд і Прм різних взаємодіючих КТА містять у своєму складі генератори частоти однакового номіналу, але їх фактичні частоти можуть дещо відрізнятися.

Якщо тактова частота Прм точно відповідає тактовій частоті Прд (рис. 4.13, а), або близька до неї (рис. 4.13, б), то приймання ЦС в умовах без завад виконується правильно.

Якщо тактова частота Прм істотно відрізняється від тактової частоти Прд (рис. 4.13, в), то приймання виконується неправильно (наприклад, приймається 11001001 = 201 замість 11010010 = 210). Отже, для правильного приймання і декодування даних Прм має якимось отримувати тактову частоту Прд для синхронізації генератора ПІ.

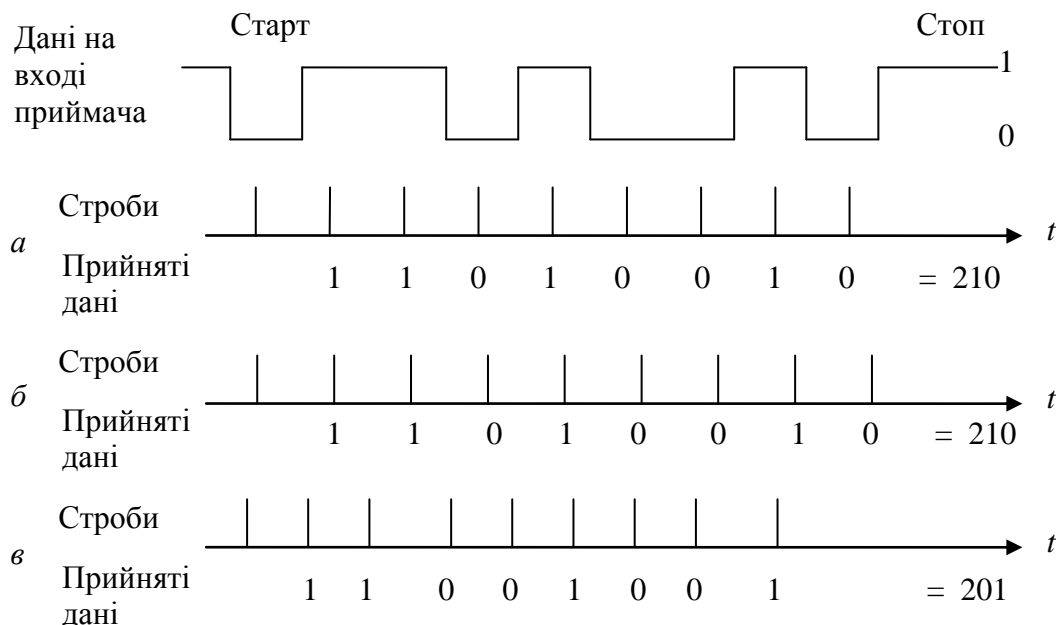


Рис. 4.13. Результати приймання даних за точної (а), наближеної (б) і неточної (в) тактової синхронізації

Розрізняють пристрої синхронізації за спецсигналом і пристрої синхронізації за інформаційним сигналом. У першому варіанті використовується сигнал, який спеціально передається по окремому часовому чи частотному каналу. У другому варіанті коливання тактової частоти Прд виділяються зі спектра прийнятого інформаційного сигналу. Синхронізація забезпечується фазовим автопідстроюванням по ним генератора тактової частоти Прм.

**Циклова синхронізація** [44] призначена для забезпечення синфазності роботи елементів ЦСП, що є необхідною і достатньою умовою правильного розподілу сигналів по відповідних каналах. Для розв'язання цієї задачі Прм потрібна інформація про початок кожного циклу (кадру, пакета, інтервалу дискретизації). Ця інформація забезпечується передачею на початку

кожного циклу відповідної комбінації імпульсів, яка називається синхрогрупою, або синхροпреамбулою, відмітними рисами якої є відома структура і періодичний характер. Кількість імпульсів у синхрогрупі вибирається на основі компромісу між часом входження у синхронізм і пропускнуою спроможністю. Основні параметри циклової синхронізації:

$T_B$  – час входження в синхронізм, який визначає швидкодію системи. Це інтервал часу між моментом виходу системи із синхронізму і моментом установлення правильних фазових співвідношень;

$T_Y$  – час утримання синхронізму, який визначає завадостійкість системи.

Вимоги до цих характеристик суперечливі. Для аналізу і проектування доцільно використовувати коефіцієнт втрати синхронізму, який визначається через середні значення згаданих вище характеристик:

$$K = \frac{\overline{T}_B}{\overline{T}_B + \overline{T}_Y}. \quad (4.2)$$

Синхронізація здійснюється по-різному у разі одноступеневого і багатоступеневого формування ЦГС.

У разі **одноступеневого формування ЦГС** синхронна робота елементів приймальної частини КТА забезпечується послідовностями імпульсів генератора Прм, синхронізованого коливаннями тактової частоти генератора Прд, відфільтрованими зі спектра прийнятого ЦГС (рис. 4.14).

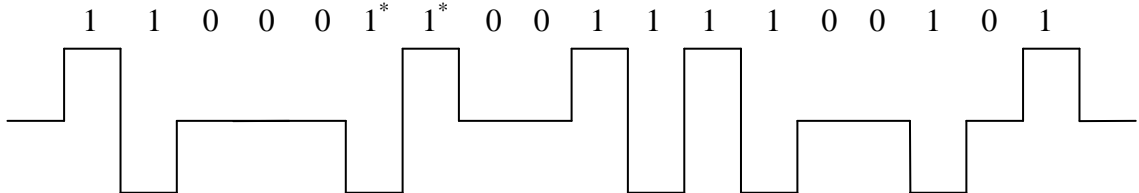


Рис. 4.14. Код, який самосинхронізується

Синфазність забезпечується синхрогрупою, яка передається одним з часових каналів, можливо, разом з ПІ. Так здійснюється синхронізація в КТА з ЧсРК на 12, 24 і 30 каналів.

У разі **багатоступеневого формування ЦГС**, коли, наприклад, на основі 30-канальних груп формуються 120, 480 (рис. 4.15), 1920, 7680-канальні групи, основна задача полягає у вирівнюванні тактових частот ЦГС, які об'єднуються, з тактовою частотою КТА, яка об'єднує. Це може здійснюватися на синхронній або на асинхронній основі.

*Синхронне групоутворення* досягається застосуванням первинного генератора або взаємною синхронізацією генераторів усіх взаємодіючих КТА.

Достоїнства: повна реалізація пропускної спроможності цифрового лінійного тракту.

Недоліки: виведення з ладу первинного генератора може призвести до виходу з ладу всієї ЦСП; технічні труднощі взаємної синхронізації генераторів усіх взаємодіючих КТА.

*Асинхронне групоутворення* базується на застосуванні запам'ятовуючих пристроїв в КТА, яка об'єднує цифрові потоки, а також на використанні вирівнювальних бітів. Ці біти вставляються в разі меншої швидкості цифрового потоку або вилучаються в разі більшої швидкості цифрового потоку порівняно з номінальною швидкістю (рис. 4.16). Інформація щодо місцезнаходження цих вставок і вилучень передається спеціально виділеними часовими інтервалами групового сигналу і використовується для відновлення тактової частоти кожного сигналу в приймальній частині кінцевої КТА ЦСП. У системах з асинхронним групоутворенням через необхідність передачі цієї інформації коефіцієнт використання пропускної спроможності цифрового лінійного тракту зменшується на 2–4%.

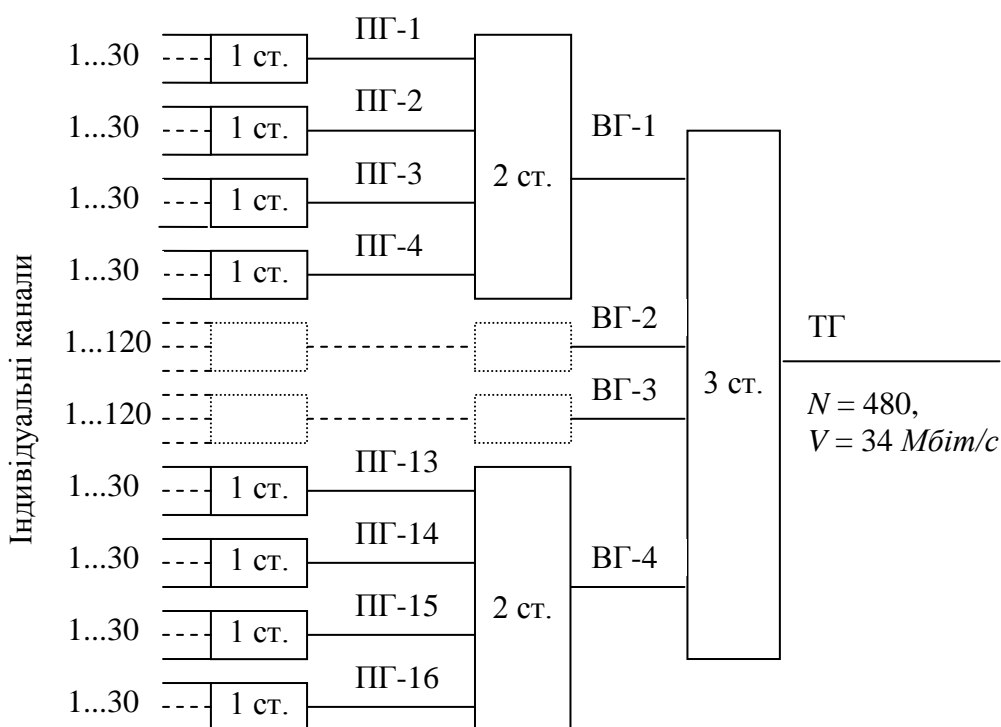


Рис. 4.15. Схема групоутворення в КТА

**Синхронізація в перспективних технологіях зв'язку.** Вирівнювання швидкостей цифрових потоків за рахунок вставок і (або) вилучень бітів застосовується і в технології плезіохронної (майже синхронної) цифрової ієрархії (PDH), пропускна спроможність якої обмежена рівнем 139 Мбіт/с.

Синхронне групоутворення застосовується в технологіях синхронної цифрової ієрархії (SDH), хвильового мультиплексування (WDM) і щільного

хвильового мультиплексування (DWDM). Разом із застосуванням волоконно-оптичних ЛТ перша з цих технологій забезпечує гігабітні, а остання – терабітні швидкості пересилання інформації. У цих технологіях застосовується примусова синхронізація за принципом “первинний – вторинний” генератори. Як головний зовнішній еталон використовується атомний (рубідієвий або цезієвий) стандарт частоти  $2048 \text{ кГц}$  з відносною нестабільністю не гірше  $10^{-11}$ . Вторинними є джерела синхроімпульсів з відносною нестабільністю  $5 \cdot 10^{-8}$ , які виділяються з лінійного сигналу або з сигналу глобальної навігаційної супутникової системи. Далі йдуть кварцові генератори з  $\delta = (1-5) \cdot 10^{-6}$ .

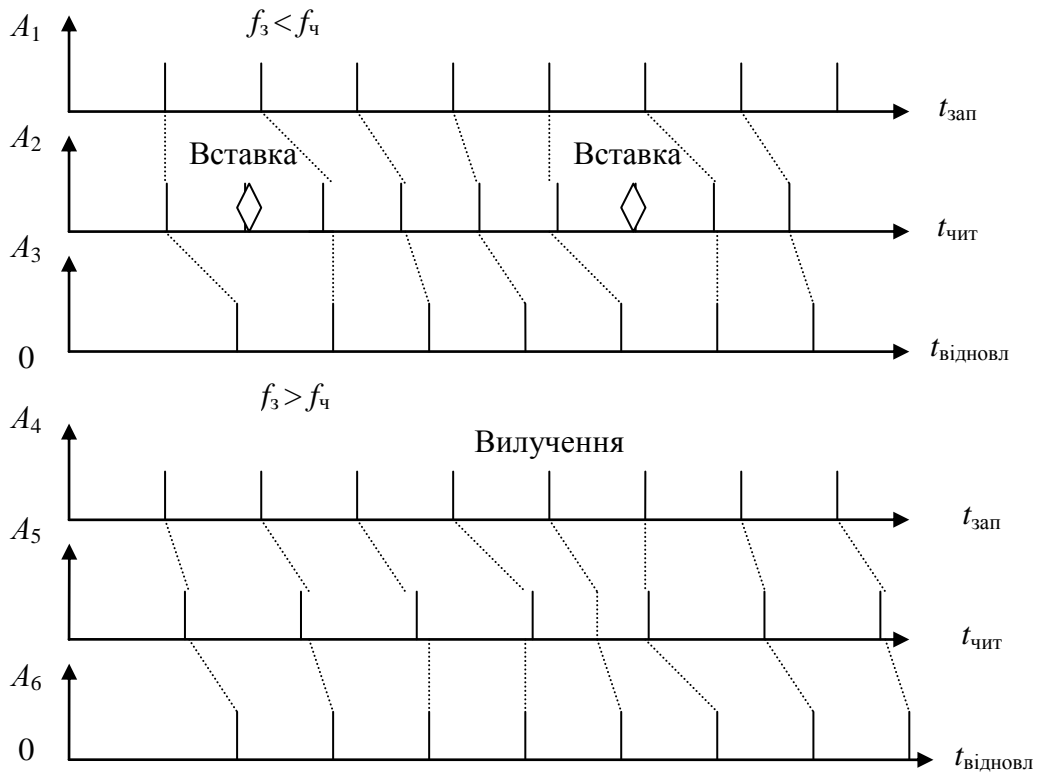


Рис. 4.16. Узгодження швидкостей при  $f_3 < f_4$  і при  $f_3 > f_4$

Кількість генераторів, які послідовно синхронізують один одного, має бути не більше 10, мультиплексорів на шляху синхросигналу – не більше 20. У разі більшої їх кількості треба знову використовувати зовнішнє джерело високоточної синхронізації.

Для забезпечення надійної роботи у кожній КТА має бути декілька джерел синхронізації, хоча завжди використовується найстабільніше. Відомості про стабільність частоти синхронізатора передаються мережею.

## 4.6. Особливості синхронізації в системах багатостанційного доступу

У системах багатостанційного доступу з ЧсРК і КРК (супутникових, стільникових, транкінгових тощо), на відміну від багатоканальних систем передачі, груповий сигнал утворюється тільки на вході ретранслятора (Р). Отже, момент випромінювання Прд кожної АС має визначатись на основі знання точної відстані між АС і Р та параметрів руху Р і АС. Розглянемо сутність одного з методів забезпечення синхронізації на прикладі системи багатостанційного доступу з ЧсРК [59].

Ретранслятор випромінює послідовність синхросигналів (СС), які приймаються усіма АС. У мікропроцесорі, що входить до складу кожної АС, розраховується час затримки  $t_3$  випромінювання свого інформаційного сигналу (ІС) стосовно СС, прийнятого від ретранслятора. Час затримки має бути таким, щоб переданий АС сигнал потрапив на виділену йому часову позицію у складі групового сигналу на вході ретранслятора. Покажемо це на прикладі (рис. 4.17).

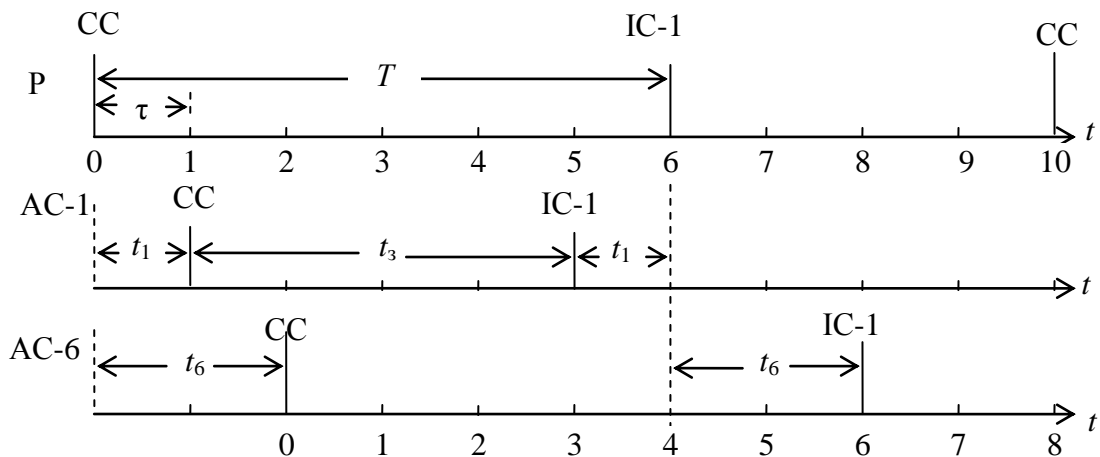


Рис. 4.17. Синхронізація в системах багатостанційного доступу

Нехай система багатостанційного доступу з ЧсРК працює таким чином, що сигнал АС-1, адресований АС-6, має приходити на шостій часовій позиції після прийняття АС-6 синхросигналу Р. Необхідно визначити момент початку пересилання сигналу АС-1. З рис. 4.17, Р впливає, що цей сигнал має бути перевипромінений ретранслятором через шість часових інтервалів після випромінювання ним СС: ( $T = n\tau = 6\tau$ ).

З рис. 4.17, АС-1 видно, що при затримці  $t_1$  у поширенні сигналу від Р до АС-1 випромінювання інформаційного сигналу АС-1 має розпочатися через період  $t_3 = T - 2t_1$  після прийняття нею СС від Р. У цьому випадку, як виходить з рис. 4.17, АС-6, незалежно від часу поширення сигналу від Р до АС-6, сигнал, що надходить на адресу АС-6 від АС-1 буде розташований на шостій



часовій позиції. Час затримання  $t_3$  визначається мікропроцесором АС за відомими тривалістю  $\tau$  та номером  $n$  часової позиції і вимірним часом  $t_i$  поширення СС від Р до АС- $i$  або прогнозованим  $t_i$  на підставі закладених у блок пам'яті параметрів положення і руху Р.

#### 4.7. Асинхронні системи багатостанційного доступу з кодовим розподілом каналів

В асинхронних системах багатостанційного доступу з КРК синхронізація між абонентськими каналами відсутня, і кожна пара абонентів може передавати інформацію незалежно від інших абонентів системи. Оскільки в таких системах за каналами не закріплені ні частотні смуги, ні часові інтервали і час роботи кожного каналу довільний, то вони належать до систем з вільним доступом у загальний частотний канал.

У системах з вільним доступом кожному абоненту присвоюється визначена форма ПВП, що є розпізнавальною ознакою (“адресою”) даного абонента. На відміну від звичайного розділення за формою, де умова ортогональності виконується лише тоді, коли сигнали окремих каналів передаються синхронно і одночасно, в асинхронних системах квазіортогональність сигналів має зберігатись при довільних взаємних часових зсувах сигналів різних каналів. Системи передачі, в яких використовуються такі сигнали, дістали назву **асинхронно-адресних систем передачі** (ААСП).

Процедура встановлення зв'язку в ААСП може бути такою [59]. Перший абонент устанавлює на своєму Прд адресу другого абонента і посилає сигнал виклику. Другий абонент приймає цей виклик, визначає код першого абонента, який має міститися у переданому сигналі, устанавлює на своєму Прд код першого абонента і посилає сигнал відповіді.

Важливою перевагою ААСП [59] є непотрібність БС. Усі абоненти мають прямий доступ один до одного без частотного перестроювання Прд і Прм, для чого досить набрати “адресу” викликуваного абонента, тобто змінити форму адресної кодової послідовності (АКП). Джерела повідомлень і їх отримувачі можуть розташовуватися у різних пунктах і використовувати для радіозв'язку одну і ту саму смугу частот, через що легко збільшується кількість абонентів і здійснюється циркулярний зв'язок.

Під час організації багатоканального зв'язку необхідна велика кількість АКП, а для ефективного використання ємності лінії зв'язку придатні лише деякі послідовності, які *якнайменше* відрізняються від ортогональних. На сьогодні синтезована низка квазіортогональних послідовностей з властивостями, наближеними до білого гауссівського шуму. Їх база  $B = \Delta f \tau \gg 1$ , АКФ наближається до  $\delta$ -функції, а взаємна кореляційна функція при довільних часових зсувах близька до нуля.

Розглянемо деякі приклади квазіортогональних шумоподібних послідовностей, що застосовуються в ААСП.

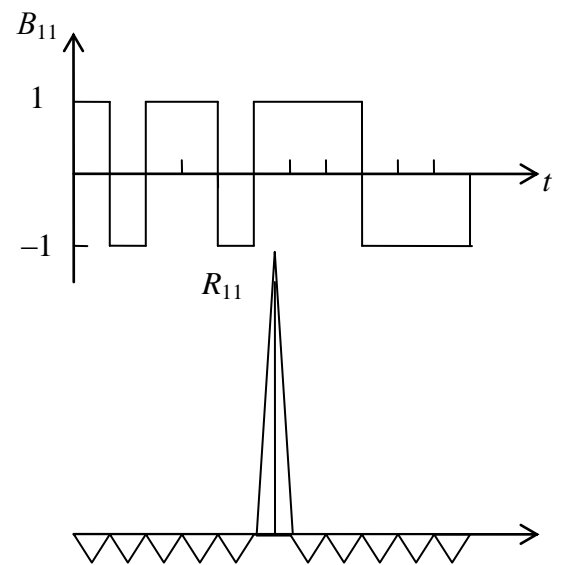
**Послідовності Баркера.** З різних квазіортогональних шумоподібних послідовностей найкращі кореляційні властивості мають послідовності Баркера, які складаються з імпульсів прямокутної форми, що можуть приймати значення  $\pm 1$ . При кількості  $n$  імпульсів у групі максимум АКФ теж дорівнює  $n$ , рівень бічних пелюстків АКФ і значення взаємної кореляційної функції не перевищують 1, тобто  $\frac{1}{n}$  від нормованого максимального значення.

На *рис. 4.18* зображена послідовність Баркера для  $n = 11$  і її ненормована АКФ  $R(\tau)$ .

Однак ансамбль послідовностей Баркера невеликий. Встановлено, що вищезазначеним вимогам  $\frac{1}{n}$  вони задовольняють тільки при  $n \leq 13$ , а при  $n > 13$  максимумами їх взаємно кореляційних функцій більші ніж  $\frac{1}{n}$ , що погіршує їх здатність до розділення каналів.

**Лінійні рекурентні  $M$ -послідовності** мають трохи гірші кореляційні властивості, ніж послідовності Баркера. У лінійних рекурентних  $M$ -послідовностях відношення головного максимуму до максимального бічного пелюстка АКФ зростає приблизно як  $\sqrt{n}$ . Автокореляційна функція лінійної рекурентної  $M$ -послідовності має таку форму, як у кольорового шуму. Лінійні рекурентні  $M$ -послідовності формуються генераторами двійкових імпульсів з використанням реєстру зсуву. Під час передавання ПВП найчастіше застосовуються фазова або відносна фазова модуляція.

**Послідовності, сформовані за допомогою частотно-часової матриці (ЧЧМ)** найчастіше застосовуються в ААСП. Адреса абонента представляється у вигляді послідовності радіоімпульсів з різними частотами і різними часовими інтервалами між ними. Ці послідовності передаються у смузі частот, відведеної для лінійного тракту. На *рис. 4.19* зображений варіант побудови такої АКП за допомогою ЧЧМ. Передане повідомлення насамперед піддається імпульсній модуляції. В одних системах використовується фазово-імпульсна модуляція, в інших – різновиди дельта-модуляції.



*Рис. 4.18.* Код Баркера і його функція автокореляції

Кожен імпульс  $a_{\text{ФІМ}}$ , отриманий в результаті первинної імпульсної модуляції, перетворюється в адресну кодову послідовність з  $n$  імпульсів, розділених інтервалами. Після модуляції ці  $n$  імпульси  $U_{\text{ФІМ}}$  відрізняються частотою свого заповнення (усього таких частот  $m$ ) і можуть займати  $l$  різних положень за часом. Змінюючи положення імпульсів за часом, а також частоти їх заповнення, можна одержати дуже велику кількість адресних кодових послідовностей [59]:

$$N = n! C_m^n C_{l-1}^{n-1}, \text{ де } m \geq n, \quad C_m^n = \frac{m!}{n!(m-n)!}.$$

У цій формулі передбачається, що всі адреси складаються з тієї самої кількості імпульсів  $n \leq m$ . Крім того, в АКП на кожній частоті випромінюється не більше одного радіоімпульсу, а також одночасно не випромінюються імпульси на різних частотах.

Зазвичай кількість імпульсів збігається з кількістю частот:  $n = m$ , тоді кількість АКП розраховується за формулою

$$N = n! C_{l-1}^{n-1}. \quad (4.3)$$

На практиці [59] приймають  $n = m = 3 \dots 10$ ,  $l = 17$ . Звідси виходить, що при  $n = m = 3$  кількість АКП  $N = 720$ , при  $n = m = 4$  кількість АКП  $N = 13440$ .

Формування АКП здійснюється за допомогою лінії затримки (ЛЗ). Відеоімпульси  $a_{\text{ФІМ}}(t)$  з модулятора ФІМ надходять на ЛЗ, яка має  $l$  виводів. Для формування адреси визначеного абонента використовуються  $n$

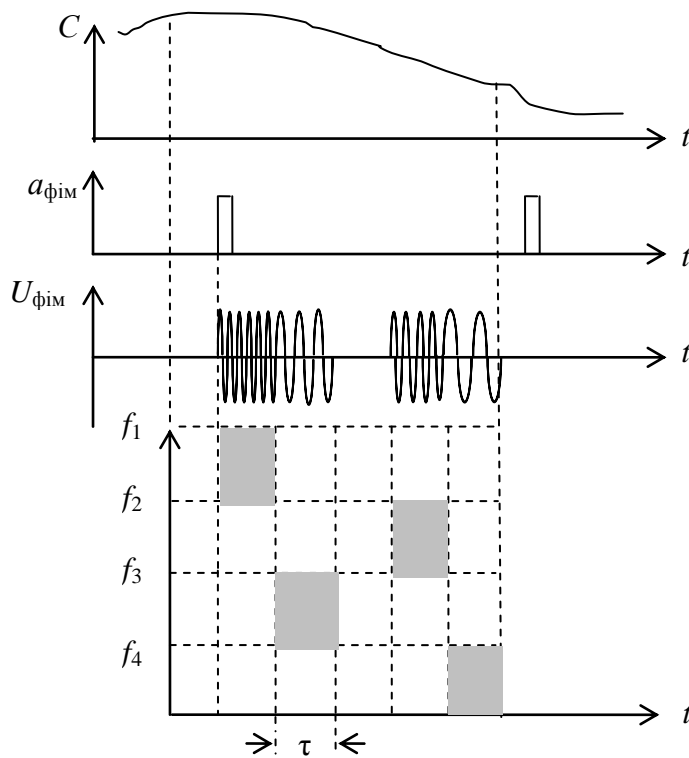


Рис. 4.19. Застосування частотно-часових матриць в асинхронно-адресних СП

выводів. При цьому для формування різних адрес застосовуються різні сполучення  $n$  виводів із  $l$ . Унаслідок цього імпульс сигналу “розщеплюється” в ЛЗ на  $n$  імпульсів, розділених паузами. Кожен з цих імпульсів передається на своїй частоті  $f_1, \dots, f_m$ .

У Прм колювання на несучих частотах  $f_1, \dots, f_m$  розділяються СФ, демодулюються і надходять на ЛЗ, відрегульовані відповідно до присвоєної дано-

му Прм адреси так, щоб на виходах ЛЗ всі  $n$  імпульсів збіглися у часі. Вони подаються на схему збігу, на виході якої з'являється імпульс тільки тоді, коли імпульси, затримані у всіх гілках ЛЗ, збігаються у часі. У ФНЧ відбувається відновлення з деякою похибкою переданого сигналу.

Визначаючи кількість абонентів, які можуть одночасно працювати в ААСП, треба враховувати наявність взаємних завад, зумовлених неповною ортогональністю каналних сигналів. Рівень цих завад зростає через збільшення кількості абонентів, тому вимоги до достовірності можна задовольнити, якщо кількість одночасно передаваних повідомлень не перевищує  $N_{\text{доп}}$ . Згідно з [59], це число визначається за формулою

$$N_{\text{доп}} \cong \frac{B}{h_{\text{доп}}^2}, \quad (4.4)$$

де  $B$  – база сигналу;

$h_{\text{доп}}^2$  – допустиме (за якістю зв'язку) відношення енергії сигналу даного каналу до спектральної щільності потужності завад, створюваних усіма іншими каналами.

Отже, допустима кількість одночасно працюючих абонентів пропорційна базі сигналу, а збільшити її можна тільки за рахунок раціонального використання інтервалів між імпульсами.

Особливість роботи ААСП при передаванні двійкових ЦС полягає у необхідності двох різних каналів для передавання двох різних АКП: однієї для передавання “0”, другої для передавання “1”. Тому треба налаштувати шифратор і дешифратор своєї станції на дві АКП викликуваного абонента.

Недоліками ААСП слід вважати: високі вимоги до лінійності приймального тракту в широкому динамічному діапазоні; залежність рівня внутрішньосистемних завад від кількості абонентів, що обумовлене неповною ортогональністю АКП і відсутністю синхронізації. Але методи побудови квазі-ортогональних ЧЧМ вже відомі.

**Методика побудови квазіортогональних ЧЧМ.** Відомо [70], що на основі простого числа  $N$  за деяких умов можна побудувати ансамбль з  $M = N - 1$  квазіортогональних ЧЧМ. Покажемо це на прикладі простого числа  $N = 7$ .

1. Спочатку складають допоміжну матрицю  $B$  за умови, що кожен її рядок є послідовністю цілих додатних чисел  $b_i \leq N$  з постійною кодовою відстанню  $d_i$  між сусідніми елементами цього рядка, а сукупність  $d$  кодових відстаней в усіх рядках матриці  $B$  складає повну систему  $i = 1, \dots, M$ :

$$B = \begin{pmatrix} 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 & 7 \\ 1 & 3 & 5 & 7 & 2 & 4 & 6 \\ 1 & 4 & 7 & 3 & 6 & 2 & 5 \\ 1 & 5 & 2 & 6 & 3 & 7 & 4 \\ 1 & 6 & 4 & 2 & 7 & 5 & 3 \\ 1 & 7 & 6 & 5 & 4 & 3 & 2 \end{pmatrix}, \quad d = \begin{pmatrix} 1 \\ 2 \\ 3 \\ 4 \\ 5 \\ 6 \end{pmatrix}.$$

2. Далі роблять перехід від матриці  $B$  до квадратної матриці частотно-часових послідовностей  $A$  відкиданням першого стовпця матриці  $B$  і зменшенням на одиницю значень решти її елементів:

$$A = \begin{pmatrix} 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 \\ 2 & 4 & 6 & 1 & 3 & 5 \\ 3 & 6 & 2 & 5 & 1 & 4 \\ 4 & 1 & 5 & 2 & 6 & 3 \\ 5 & 3 & 1 & 6 & 4 & 2 \\ 6 & 5 & 4 & 3 & 2 & 1 \end{pmatrix}.$$

3. На основі  $M$  рядків матриці  $A$  будують ансамбль з  $M$  квазіортогональних ЧЧМ. При цьому враховують, що (рис. 4.20):

– на основі кожного ( $i$ -го) рядка матриці  $A$  можна побудувати одну ( $i$ -ту) ЧЧМ. Отже, їх ансамбль складатиметься з  $M$  ЧЧМ;

– часове положення  $k$ -го активного елемента  $i$ -ї ЧЧМ збігається з розташуванням відповідного (за стовпцевим індексом) елемента матриці  $A$  у її  $i$ -му рядку;

– частотне положення  $k$ -го активного елемента  $i$ -ї ЧЧМ визначається величиною елемента  $a_{ik}$  матриці  $A$ .

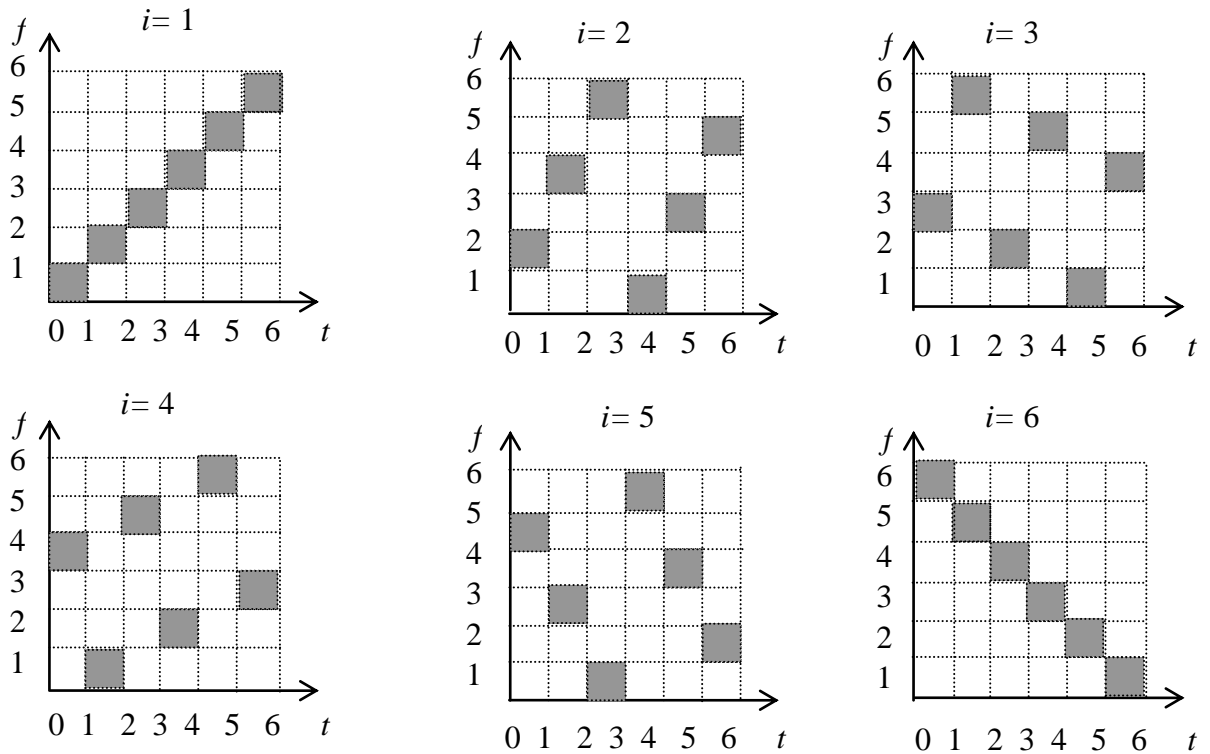


Рис. 4.20. Ансамбль квазіортогональних ЧЧМ 6-го порядку

Особливості ЧЧМ: в кожен момент часу випромінювання спектра сигналу здійснюється на одній піднесучій частоті; в межах однієї ЧЧМ кожна піднесуча використовується лише один раз. У разі часового зсуву ЧЧМ відносно її електронної копії збіг усіх їх елементів відбувається одночасно, що означає, що їх АКФ не має бокових пелюсток, а її максимум дорівнює  $M$ . У разі часового зсуву ЧЧМ відносно електронної копії будь-якої іншої ЧЧМ того самого ансамблю одночасний збіг відбувається не більш як у третини елементів. Це означає, що взаємна кореляційна функція має пелюстки, які відрізняються від нуля, що свідчить про квазіортогональність ЧЧМ і що при кореляційній обробці ЧЧМ значно розрізняються одна від одної.

Процес визначення елементів  $a_{ik}$  матриці  $A$  і управління піднесучими частотами  $f_{ik}$  можна автоматизувати на основі формул

$$a_{ik} = ik - N \left( \frac{ik}{N} \right)_{\text{ц.ч.}}, \quad (4.5)$$

$$f_{ik} = f_1 + (a_{ik} - 1)\Delta f, \quad (4.6)$$

де  $i$  – номер рядка матриці  $A$  і номер ЧЧМ;

$k$  – номер стовпця матриці  $A$  і номер відтинка часу, на якому розташований відповідний активний елемент  $i$ -ї ЧЧМ;

ц.ч. – індекси, які свідчать, що береться ціла частина відношення, записано-

го в дужках;

$f_1$  – значення першої (найменшої) піднесучої частоти в ЧЧМ;

$\Delta f$  – різниця між значеннями сусідніх піднесучих частот ЧЧМ.

На основі цих формул можна організувати реалізацію режиму ППРЧ в системі зв'язку, враховуючи, що частоти різних ЧЧМ одного ансамблю не перекриваються.

**Вправи.** Побудуйте 5 перших ЧЧМ ансамблю на основі вказаного у *табл. 4.1* простого числа  $N$ , де  $n$  – номер слухача у “Журналі обліку занять”. Перевірте правильність їх побудови за допомогою формули (4.5).

Таблиця 4.1

**Вихідні дані для вправ**

$n$	1, 8, 15	2, 9, 16	3, 10, 17	4, 11, 18	5, 12, 19	6, 13, 20	7, 14, 21
$N$	11	13	17	19	23	29	31

## 5. Системотехнічні властивості комутаційних засобів військового зв'язку

Розглядаються питання: побудови комутаційних центрів аналогового зв'язку, узагальнена структурна схема, алгоритми функціонування центрів комутації; комутаційні засоби локальних комп'ютерних мереж і комутаційні засоби глобальних ТКМ [26; 48].

### 5.1. Основи побудови комутаційних центрів аналогового зв'язку

**Комутаційний центр (КЦ)** – це один з основних елементів мережі, який зв'язує елементи в єдину багатоцільову систему. Можливості КЦ багато в чому визначають ефективність використання ліній зв'язку, каналоутворювальної та іншої апаратури. Разом з тим, можливості КЦ не можуть бути реалізовані без інших елементів мережі зв'язку (*див. рис. 1.2*).

Основні функції КЦ:

- приймання, оброблення і розподіл заявок на установлення зв'язку за напрямками згідно з адресами користувачів;
- забезпечення визначеної черговості в передаванні повідомлень згідно з пріоритетами;
- введення повідомлень від джерел інформації до мережі зв'язку і виведення їх користувачам;
- запам'ятовування визначених видів повідомлень і передавання їх за заданою черговістю;
- групування каналів (повідомлень) за напрямками мережі зв'язку;
- маневр каналами різних напрямків мережі;
- узгодження з різними типами КТА, кінцевої і спеціальної апаратури;
- забезпечення взаємодії різних мереж зв'язку;
- надання абонентам мережі різних видів додаткових послуг та ін.

Решта питань побудови розглядаються в п. 5.3.

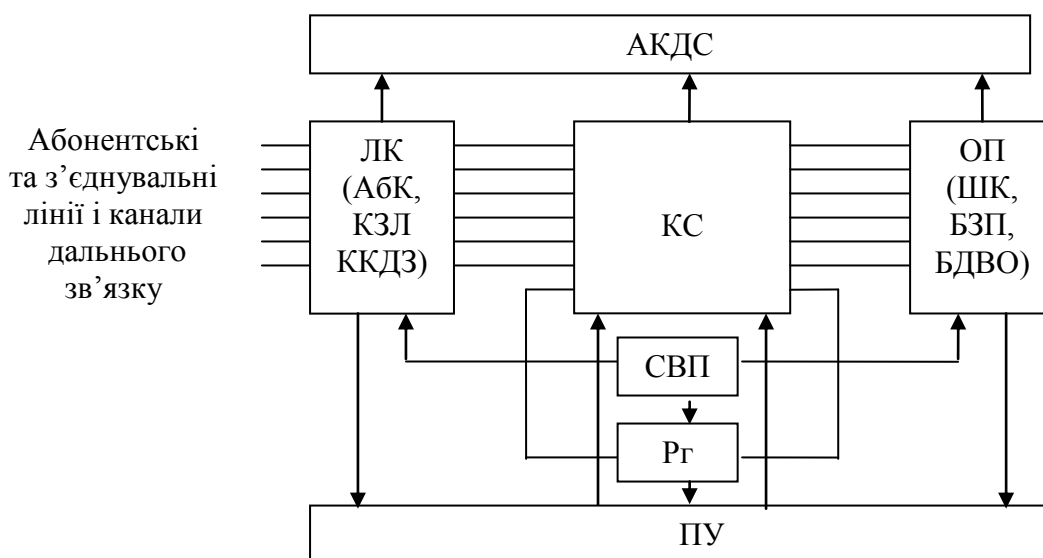
Перші КЦ були створені наприкінці XIX ст. і з того часу було створено п'ять поколінь КЦ. Перші два покоління побудовані на електромеханічних шукачах (машинних, моторних, крокових) і відрізнялись способом управління комутаційними приладами (прямим чи непрямим). До них належать АТС



“Красная заря”, АТС-47, АТС-49, АТС-54 і Тлг АТА-57, АПС-ША. Третє покоління побудовано на основі координатних, релейних або кодових з’єднувачів. Це Тлф АТС-К, АТСК-100/2000 і Тлг АПС-К, АТ-ПС-ПД. Четверте покоління КЦ побудовано на основі квазіелектронної і електронної комутаційних систем і перестроюваного в процесі експлуатації пристрою управління. Прикладом є польова квазіелектронна АТС П-178. До п’ятого покоління належать програмовані цифрові АТС, наприклад, Фарлеп, “Каскад – Карпати”, модульна концепція якої забезпечує можливість створення різних конфігурацій АТС: центральну, вузлову, кінцеву, міську підстанцію, опорно-транзитну станцію та ін.

## 5.2. Узагальнена структурна схема комутаційного центра аналогового зв’язку

Незалежно від типів обладнання, призначення і режимів роботи, узагальнена структурна схема КЦ набуває вигляду, показаному на *рис. 5.1*.



*Рис. 5.1.* Узагальнена структурна схема комутаційного центра

Основні елементи КЦ:

- лінійні комплекти (ЛК), що призначені для підключення до КЦ різного типу ліній (абонентський комплект (АБК), комплекти з’єднувальних ліній (КЗЛ)) та каналів зв’язку (наприклад, комплект каналів дальнього зв’язку (ККДЗ)) й узгодження з ними КЦ;
- реєстр (Рг) – для приймання адресної частини повідомлень, її оброблення і передачі до пристрою управління свого або взаємодіючого КЦ;
- пристрій управління (ПУ) – для управління процесом встановлення з’єднання в даному КЦ. У процесі функціонування ПУ розв’язує задачу по-

шуку раціонального шляху, визначення стану лінійних входів, комутаційних і обслуговуючих приладів КЦ, встановлення черговості обслуговування заявок, що надходять тощо;

- комутаційна система (КС) – призначена для проключення з'єднання за командами, отриманими з ПУ;

- обслуговуючі прилади (ОП) – застосовуються для забезпечення заданого режиму роботи кожного з'єднання, для пересилання сигналів джерелам інформації про основні етапи проходження з'єднань, а також про приймання від джерел інформації повідомлень для запам'ятовування і подальшої передачі в необхідному напрямку. Перша і друга функції виконуються шнуровим комплектом (ШК), третя – блоком запам'ятовування повідомлень (БЗП). Крім того, до складу ОП входить блок додаткових видів обслуговування (БДВО);

- сигнально-визивний пристрій (СВП) – містить в собі генераторне обладнання для вироблення і формування інформаційних сигналів;

- апаратура контролю, діагностики і сигналізації (АКДС) і пристрій електроживлення (на схемі не показаний).

На *рис. 5.1* зображена структурна схема КЦ з несиметрично розташованою комутаційною системою. Існують також КЦ з симетрично розташованими (відносно ОП) комутаційними системами.

### **5.3. Алгоритми функціонування комутаційного центра аналогового зв'язку**

Спеціалізація мереж зв'язку за видами передаваних повідомлень і видами комутації сприяла спеціалізації КЦ. Такими спеціалізованими КЦ є центр комутації каналів (ЦКК) і центр комутації повідомлень (ЦКП) [48].

Основні відмінні риси ЦКК:

- суміщення операцій введення і виведення інформації в єдиний комутаційний процес;

- створення кризного тракту для передавання повідомлень крізь КЦ у необхідному напрямку зв'язку.

Заявки, які надходять на ЦКК, обслуговуються з явними втратами або з очікуванням (умовними втратами).

У першому випадку після надходження заявки в ЦКК вона негайно забезпечується з'єднанням для пересилання повідомлення, якщо в необхідному напрямку є вільний шлях і прилади обслуговування (ОП), інакше їй відмовляють в обслуговуванні.

У другому випадку, якщо шлях і (або) ОП у необхідному напрямку зайняті, то заявці в обслуговуванні не відмовляють, а ставлять у чергу. У разі звільнення необхідного шляху і ОП вони надаються для обслуговування очікуваних заявок з урахуванням пріоритету за чергою.

У ЦКК широко використовуються обидва способи обслуговування.

ЦКК є основою для побудови телефонних станцій усіх типів. Телефонні станції внутрішнього (місцевого) зв'язку здійснюють комутацію абонентських і з'єднувальних ліній, а телефонні станції дальнього зв'язку – усіх типів абонентських і з'єднувальних ліній з каналами дальнього зв'язку, а також взаємну комутацію каналів дальнього зв'язку.

За такими самими принципами побудовані станції абонентського Тлг і Тлг станцій прямих з'єднань.

Основні відмінні риси центра комутації повідомлень:

- розділення операцій введення і виведення повідомлень;
- відокремлене за часом встановлення з'єднань на ділянках “викликальний канал – блок запам'ятовування повідомлень” і “блок запам'ятовування повідомлень – викликуваний канал”.

Одним з важливих приладів ЦКП (з групи ОП) є БЗП, який, як правило, у ЦКК відсутній. Цей блок може бути розміщений як безпосередньо в ЦКП, так і поза ЦКП.

Різниця між ЦКК і ЦКП за обладнанням обмежується саме наявністю або відсутністю БЗП, і хоча в ЦКК теж буває необхідність у БЗП, ЦКП без нього взагалі не будується.

Принципова різниця між ЦКК і ЦКП полягає ще й в алгоритмах процесу комутації, реалізованого в програмах пристрою управління КЦ.

Розглянемо, як проходить цей процес в ЦКК і ЦКП за допомогою алгоритмів [48].

У ЦКК з обслуговуванням заявок за системою з явними втратами схема алгоритму встановлення з'єднань або відмови набуває вигляду

$$A_B = A_1 A_2 A_3 A_4 P_5 // A_6 A_7 K A_8 K, \quad (5.1)$$

де  $K$  – оператор закінчення процесу обслуговування, а функції решти операторів і графічна схема алгоритму зображені на *рис. 5.2*.

У ЦКК з обслуговуванням заявок за системою з очікуванням схема алгоритму встановлення з'єднань набуває вигляду

$$A_o = A_1 A_2 A_3 A_4 P_5 // A_6 A_7 K A_9 A_{10} A_{11} A_7 K. \quad (5.2)$$

Аналіз алгоритмів (5.1) і (5.2) свідчить, що в другому випадку обслуговуються усі заявки, які надходять на КЦ, хоча деякі з них обслуговуються з затримкою, яка визначається довжиною черги, а також часом, впродовж якого усі канали у необхідному напрямку були зайняті. Але цей випадок супроводжується непродуктивним зайняттям каналу, яким надійшла заявка, на час

очікування. Тому обслуговування з очікуванням застосовується, як правило, тільки для абонентських та іноді для замовно-з'єднувальних ліній.

Структурна схема алгоритму встановлення з'єднання, реалізованого в ЦКП, набуває вигляду:

$$A_{\text{п}} = A_1 A_2 A_3 A_4 A_{12} A_{13} A_9 A_{10} A_{11} A_6 A_{14} A_{15} K. \quad (5.3)$$

З алгоритму випливає, що для ЦКП є характерним довший час проходження повідомлень (порівняно з ЦКК) навіть тоді, коли в необхідному напрямку немає черги. Це пов'язано з проходженням інформації через БЗП, але застосування цього блоку вкрай необхідне для проходження через центр комутації (ЦК) дискретних повідомлень, якщо на різних напрямках зв'язку використовується апаратура з різними принципами дії, швидкостями передачі, способами кодування, синхронізації тощо, а в ЦКП їх треба якось узгоджувати.

У сучасних КЦ комутація каналів чи повідомлень не змінює суті центра комутації, а є лише режимом його роботи. Починаючи з четвертого покоління, розроблені універсальні ЦКК-П, в яких реалізовані обидва режими.

Структурна схема ЦКК-П, який забезпечує передачу повідомлень в одному напрямку з використанням однотипної апаратури передачі даних, набуває вигляду

$$A_{\text{кп}} = A_1 A_2 A_3 A_4 P_5 // A_6 A_7 K A_{12} A_{13} A_9 A_{10} A_{11} A_6 A_{14} A_{15} K. \quad (5.4)$$

Графічна схема цього алгоритму теж зображена на *рис. 5.2*.

Прикладом суміщення операцій комутації каналів і комутації повідомлень в одному КЦ є сучасні АТС як внутрішнього, так і дальнього цифрового зв'язку.

Порівнюючи дві системи комутації аналогового зв'язку, можна відзначити таке.

Для центра комутації каналів характерні:

- швидке встановлення повного (крізного) з'єднання між джерелом і користувачем інформації;
- можливість діалогу між абонентами під час обміну інформацією;
- зручність користуванні засобами зв'язку для абонентів.

Для центра комутації повідомлень характерні:

- можливість використання апаратури, яка відрізняється за принципом дії, швидкістю передачі, способами кодування, синхронізації тощо;
- ефективніше використання каналів на перевантажених напрямках зв'язку;
- обмін повідомленнями в час, зручний для абонентів, які перебувають у різних часових поясах.

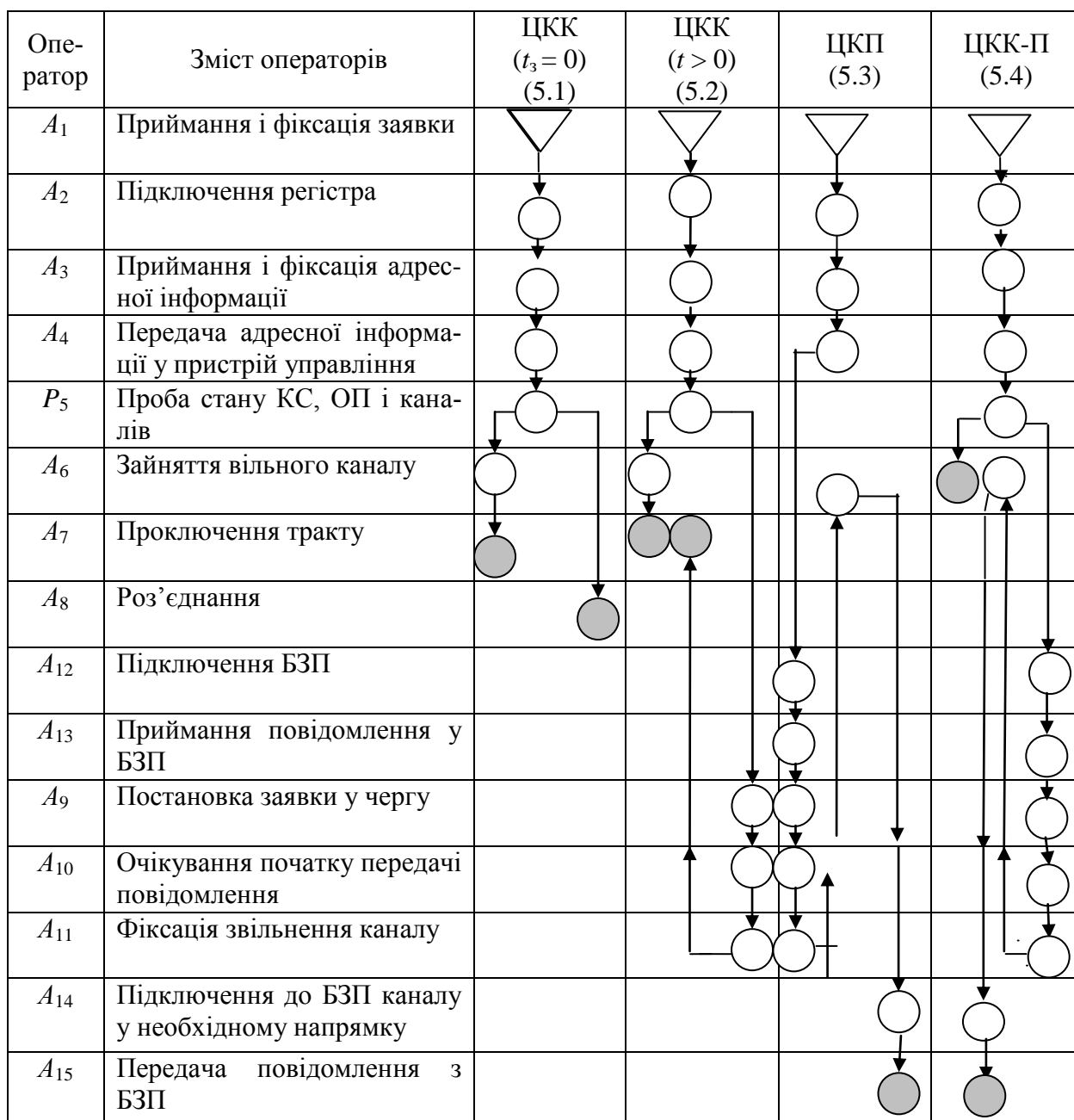


Рис. 5.2. Графічні схеми алгоритмів

#### 5.4. Комутаційні засоби локальних мереж цифрового зв'язку

**Недоліки мережі на одному поділюваному середовищі передачі цифрових сигналів.** У локальних комп'ютерних мережах одним поділюваним середовищем найчастіше є спільна шина (пасивний кабель). Вона є центральним елементом, до якого підключені декілька комп'ютерів. Комп'ютери виходять на зв'язок за методом випадкового доступу. Якщо лінія зв'язку в цей час зайнята іншим комп'ютером, то спроба повторюється. Якщо два чи більше комп'ютерів роблять спробу вийти на зв'язок одночасно, то виникає

колізія (конфлікт), для розв'язання якої через деякий випадковий інтервал часу кожен з них повторює спробу. Але на додаткові спроби використовується частина пропускної спроможності спільної шини і виникає затримка з виходом на зв'язок (тим більша, чим більше комп'ютерів підключено до спільної шини). Спочатку ця затримка зростає майже за лінійним законом, але після переходу трафіка через рубіж 40–70% від пропускної спроможності спільної шини затримка зростає експоненціально (рис. 5.3), а корисна пропускна спроможність стрімко падає до нуля (рис. 5.4). Решта пропускної спроможності шини витрачається на розв'язання колізій. Отже, під час розроблення мережі кількість підключених комп'ютерів має бути такою, щоб трафік не перевищував 30% пропускної спроможності шини. Раніше вважалося, що кількість комп'ютерів, підключених до шини, не повинна перевищувати 30, але сьогодні через зростання швидкодії це число потребує уточнення.

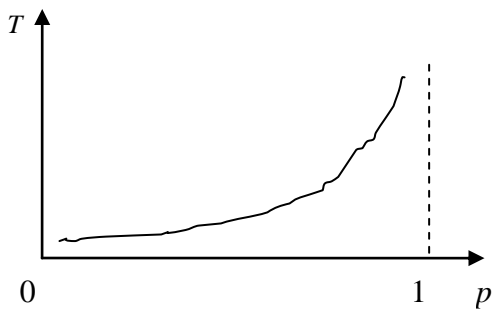


Рис. 5.3. Залежність затримки  $T$  з виходом на зв'язок від відношення  $p$  трафіка до пропускної спроможності спільної шини

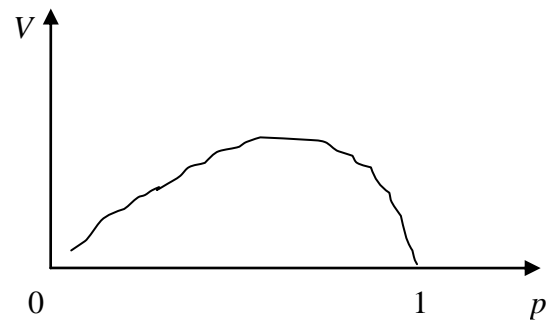


Рис. 5.4. Залежність корисної пропускної спроможності  $V$  від відношення  $p$  трафіка до пропускної спроможності спільної шини

Найчутливішою до перевантаження є технологія Ethernet (40–50%), менш чутливою – Token Ring (60%), найменш чутливою – FDDI (70%), яка дає також можливість будувати мережі довжиною десятки кілометрів, тоді як перші дві – довжиною декілька кілометрів.

Але що ж робити, якщо потрібно побудувати мережу з набагато більшою кількістю комп'ютерів? Відповідь на це дає логічна структуризація мережі.

**Логічна структуризація мережі.** Під логічною структуризацією мережі розуміють створення такої мережі з логічних сегментів (підмереж), які будуються на окремих поділюваних середовищах (шинах) з меншою кількістю комп'ютерів, підключених до кожного з цих середовищ (рис. 5.5). Мережа, що складається з таких підмереж, відрізняється вищою продуктивністю і надійністю. Взаємодія між підмережами організується за допомогою мостів, комутаторів, іноді – маршрутизаторів. Кожна з цих підмереж підключається до спільного поділюваного середовища (шини) через їх порти.

Продуктивність такої мережі зростає тому, що:

– у кожній підмережі кількість комп'ютерів зменшується так, що створений ними спільний трафік не перевищує 30% від пропускної спроможності її шини;

– побудова підмереж планується так, щоб 80% їх трафіка замикалося всередині підмережі і тільки 20% було пов'язане зі зверненням до віддалених ресурсів інших підмереж;

– підмережі можуть і далі ділитися на менші сегменти для обслуговування відділень і робочих груп, тоді як підмережі обслуговують відділи, а мережі – цілі управління.

Більшість великих мереж розробляють на основі структури зі спільною магістраллю, до якої мости і комутатори підключають підмережі.

Логічна структуризація мережі дає такі переваги:

1. Збільшує гнучкість мережі: в окремих підмережах можуть використовуватись різні технології, найпридатніші для певного відділу. Разом з тим, у користувачів різних відділів є можливість для обміну даними через маршрутизатори, які здатні трансформувати пакети чи кадри даних з однієї технології до іншої. Можна також створювати велику мережу і нарощувати її з уже існуючих підмереж.

2. Підвищує безпеку даних, оскільки застосуванням різних логічних фільтрів в мостах, комутаторах, маршрутизаторах можна контролювати доступ до ресурсів різних категорій користувачів.

3. Підвищує продуктивність мережі в цілому.

4. Спрощує управління мережею і підвищує надійність, оскільки проблеми, що виникають в одних підмережах, не впливають або мало впливають на роботу інших підмереж.

Мережі мають проектуватись на двох рівнях: фізичному і логічному. Логічне проектування має визначати місця розташування ресурсів, додатків, способи угруповання ресурсів у підмережах.

**Пристрої логічної структуризації.** Міст (Bridge) складається з процесора, блока пам'яті і мережних адаптерів, кожен з яких пов'язаний зі своєю підмережею. Міст (рис. 5.6) поділяє мережу на підмережі і передає інформацію із однієї підмережі в іншу тільки, якщо така передача дійсно необхідна, тобто коли адреса комп'ютера призначення належить іншій підмережі.

Для локалізації трафіка мости використовують апаратні адреси комп'ютерів, що ускладнює визначення його належності до тієї чи іншої підмережі,

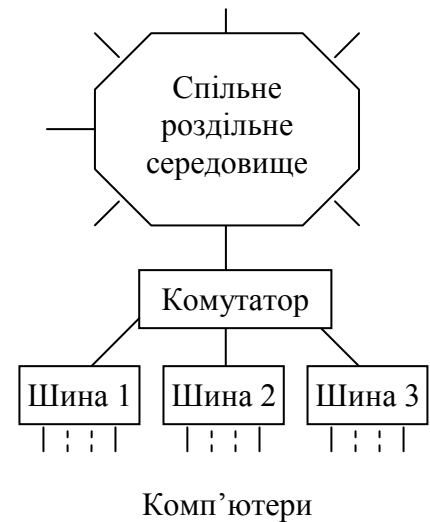


Рис. 5.5. Структуризація мережі за допомогою комутаторів

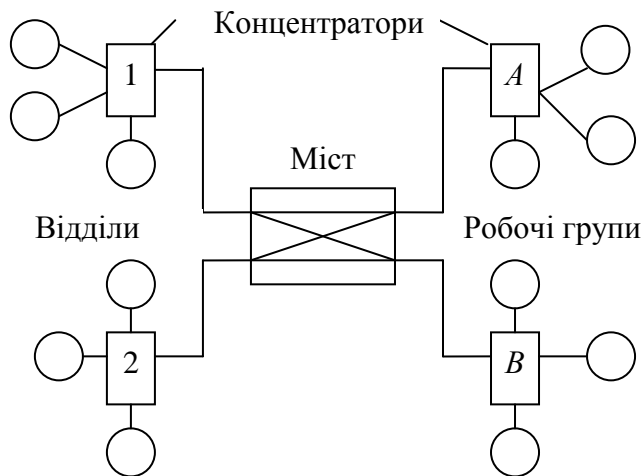


Рис. 5.6. Структуризація мережі з допомогою моста

оскільки сама адреса не містить ніяких відомостей про це. Тому міст спрощено робить поділ мережі на підмережі, запам'ятовує, через який порт на нього надходили кадри від кожного комп'ютера мережі і надалі передає кадри, що призначені для цього комп'ютера, на той самий порт. Так відбувається його самонавчання. Точна топологія зв'язків мережі мосту невідома, тому під час застосування мостів у мережі не повинно бути замкнутих контурів, через які може виникнути зациклювання потоків інформації [26]. Згідно

но з [41] замкнуті контури можна знешкодити програмним способом, наклавши на топологію мережі зв'язувальне "дерево", унаслідок чого частина зв'язків переведеться в пасивний стан, і замкнуті контури розірвуться.

*Комутатор* (Switch), як і міст, – це пристрій каналного рівня. За принципом обробки кадрів (рис. 5.7) він не відрізняється від моста. Основна його відмінність у тому, що *кожен його порт* оснащений спеціалізованим процесором, котрий обробляє кадри за алгоритмом моста незалежно від процесорів інших портів. Через це загальна продуктивність комутатора на кілька порядків перевищує продуктивність традиційного моста, який має лише один процесорний блок.

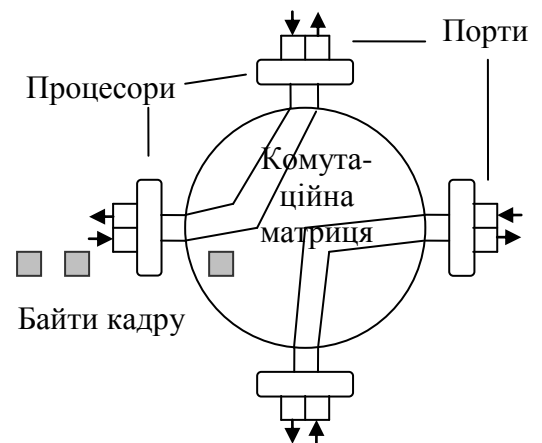


Рис. 5.7. Комутатор

По суті комутатор можна розглядати як багатопроцесорний міст, здатний паралельно просувати кадри одразу між усіма парами своїх портів.

У процесі надходження кадру до будь-якого порту процесор буферизує декілька перших байтів кадру, щоб прочитати адресу призначення. Якщо кадр необхідно відфільтрувати, то процесор перестає записувати до буферу байти кадру, очищає буфер і чекає надходження іншого кадру.

Якщо потрібно передати кадри на інший порт, то процесор звертається до комутаційної матриці і з її допомогою виявляє шлях, що зв'язує його порт з портом, що веде до адреси призначення. Це робиться тільки тоді, коли порт є вільним, тобто незв'язаним з іншим портом. Якщо порт зайнятий, то матриця відмовляє у з'єднанні (як в ЦКК). На цей випадок кадр повністю буфе-



ризується процесором вхідного порту, чекає звільнення вихідного порту і створення комутаційною матрицею необхідного шляху (як в ЦКП).

Після визначення шляху в нього спрямовуються буферизовані байти кадру, які приймаються процесором вихідного порту. Як тільки для процесора вихідного порту відкривається доступ до необхідної підмережі Ethernet за алгоритмом CSMA/CD, байти кадру починають надходити до підмережі. Час просування байта крізь комутатор компанії Kalpan становить лише 40 мкс, що набагато менше часу просування через міст.

Цей спосіб є конвеєрною обробкою кадру, коли у часі частково суміщаються декілька етапів його передачі, що теж працює на підвищення пропускної спроможності комутатора. Однак головна причина підвищення продуктивності мережі під час застосування комутатора є паралельна обробка декількох кадрів.

Новий клас комутаторів має два режими і контроль рівня помилок [23]:

– якщо рівень помилок вище норми, то вмикається повільніший режим з буферизацією;

– якщо рівень помилок у нормі, то вмикається швидкіший режим без буферизації.

Широкому застосуванню нового класу високошвидкісних комутаторів сприяла відсутність вимог заміни встановленого в мережах обладнання – мережних адаптерів, концентраторів, кабельної системи. Зручність використання комутатора полягає ще й в тому, що це самонавчальний пристрій.

*Мережний адаптер* – це частина комп'ютера, яка одночасно є початковим елементом мережі зв'язку. Це мікропроцесор з буферною пам'яттю, в якій він запам'ятовує кадри з комп'ютера, а потім передає їх до шини, вільної від передавання кадрів інших комп'ютерів. Керує цією роботою програма, що називається драйвером, яка взаємодіє з мережною операційною системою.

Мережні адаптери Ethernet налічують 3 покоління. Адаптери третього покоління базуються на спеціалізованих інтегральних мікросхемах (ASIC) високої продуктивності і надійності. У них збільшена буферна пам'ять, що дало можливість реалізувати конвеєрну передачу кадрів у ланці “оперативна пам'ять – адаптер – фізичний канал” у прямому і зворотному напрямках. Це підвищило її продуктивність на 25–55%. Драйвери мережних адаптерів ґрунтуються на стандартних специфікаціях.

Нині випускаються адаптери 4-го покоління. До їх складу входить мікросхема ASIC, що виконує MAC-функцію, тобто функцію управління доступом до середовища, і ще багато високорівневих функцій, які забезпечують пріоритетність кадрів, дистанційне управління комп'ютером та ін. У серверних варіантах адаптера є потужний мікропроцесор, який розвантажує центральний процесор.

**Базові технології локальних мереж.** Локальні мережі набули поширення після появи міні-комп'ютерів. Локальні мережі об'єднують комп'ютери одного або кількох розташованих поруч будинків. Технології локальних мереж забезпечують економне об'єднання комп'ютерів, використовуючи кабельні мережі, і їх ефективну роботу. Найбільшого поширення набули апробовані практикою технології Ethernet, Token Ring, FDDI, трохи меншого – нові технології Fast Ethernet, Gigabit Ethernet (див. гл. 11).

Специфіка локальних мереж відображується у поділі каналного рівня на 2 підрівні:

- управління логічним каналом (LLC);
- управління доступом до середовища (MAC).

Перший – відповідає за надійну передачу кадрів між комп'ютерами відповідно до вимог мережного рівня на виконання цієї транспортної операції. Другий забезпечує коректне використання спільного середовища багатьма комп'ютерами, що реалізується протоколами (процедурами) відповідного підрівня, напрацьованими згідно зі стандартом IEEE 802.

Протоколи мережного рівня передають через міжрівневий інтерфейс дані для протоколу LLC (наприклад, пакет IP, адресну інформацію і вимоги до якості транспортних послуг). Протокол LLC упакує ці дані у свій кадр, доповнюючи їх своїми службовими полями (інформацією). Далі через міжрівневий інтерфейс протокол LLC передає свій кадр з адресною інформацією протоколу MAC-підрівня, який упакує кадр LLC у свій кадр, наприклад, кадр Ethernet, що набуває вигляду, зображеному на *рис. 5.8*.

Заголовок Ethernet	Кадр LLC	Контрольна сума Ethernet
--------------------	----------	--------------------------

*Рис. 5.8.* Кадр Ethernet

## 5.5. Комутаційні засоби глобальних мереж цифрового зв'язку

**Інформаційно-телекомунікаційна мережа** – це мережа, якою передається інформація. Прикладом такої мережі є комп'ютерні, Тлф, Тлг мережі, мережі радіомовлення, телебачення тощо. Останнім часом спостерігається інтеграція деяких видів мереж в єдину інформаційно-телекомунікаційну мережу (*рис. 5.9*).

Загалом інформаційно-телекомунікаційна мережа складається з 3-х складових: мереж доступу, транспортної мережі і інформаційних центрів.

*Мережі доступу* призначені для концентрації інформаційних потоків, що надходять численними каналами зв'язку від обладнання користувачів, у порівняно невеликій кількості вузлів транспортної мережі. Мережа доступу може бути багаторівневою.

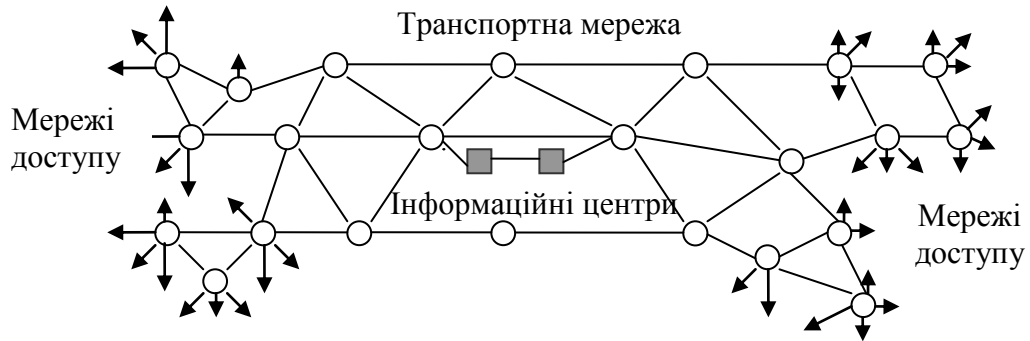


Рис. 5.9. Структура інформаційно-телекомунікаційної мережі

*Транспортна мережа* об'єднує окремі мережі доступу між собою і з інформаційними центрами, виконуючи функції транспортування (передачі) інформації між ними по високошвидкісних каналах.

*Інформаційні центри* – це місця зосередження інформаційних ресурсів мережі, на основі яких здійснюється обслуговування користувачів.

Глобальна інформаційно-телекомунікаційна мережа охоплює територію всієї держави або кількох держав. Вона може бути унітарною, тобто реалізує одну технологію, або складеною, окремі підмережі якої є унітарними, але реалізують різні технології.

У процесі побудови глобальних мереж важливими є волоконно-оптичні системи передачі (ВОСП) і комутатори, що в них застосовуються.

**Комутатори каналів для ВОСП** поділяються на два типи:

- електрооптичні комутатори, що працюють з перетворенням світлових сигналів у електричні, і навпаки;
- оптичні комутатори, що працюють без такого перетворення.

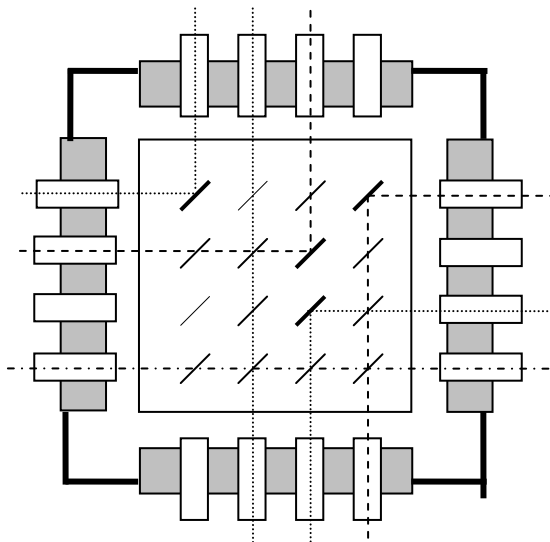
Оптичні комутатори забезпечують величезну пропускну спроможність і дають можливість уникнути великих затрат, пов'язаних з перетворенням сигналів. Електрооптичні комутатори дають можливість виводити з них службову інформацію, використовувати її для сигналізації та управління, для відновлення сигналів за формою і рівнем. Оптичні комутатори нині не здатні цього забезпечити.

За максимальною кількістю портів (1024) електрооптичні комутатори на сьогодні поступаються оптичним комутаторам (4000 портів). Однак в оптичних комутаторах використовуються поки що не до кінця відпрацьовані технології, що зменшує їх надійність. Отже, ці два типи комутаторів доповнюють один одного за можливостями: оптичні комутатори придатніші для використання в транспортних мережах, електрооптичні комутатори – в мережах доступу.

До важливих характеристик комутаторів належать також час комутації і втрати рівня сигналу. Зараз вважається достатнім час комутації 50 мс. Однак у комутаторах майбутнього час комутації треба зменшити до наносекунд,

оскільки вони мають забезпечити комутацію пакетів. Втрати в оптичних комутаторах становлять 1–5 дБ.

Для побудови оптичних комутаторів можуть використовуватись такі технології: мікроелектромеханічна (МЕМ), оптико-механічна, термооптична, бульбашкова, рідкокристалічна, акустико-оптична, технологія на основі ґраток Брегга [58]. Як приклад, на *рис. 5.10* показана схема комутатора, побудованого за мікроелектромеханічною технологією з використанням мініатюрних дзеркал, що висувують на шляху відповідних світлових сигналів для зміни напрямку їх руху для спрямування до іншої волоконно-оптичної лінії зв'язку. Ця технологія дає змогу створити комутатор з максимальною кількістю 16 портів із втратами рівня сигналу в 1 дБ, але вона не гарантує довготривалої надійності, яку забезпечує, наприклад, рідкокристалічна технологія [58].



*Рис. 5.10.* Оптичний комутатор, створений за технологією МЕМ

них дзеркал, що висувують на шляху відповідних світлових сигналів для зміни напрямку їх руху для спрямування до іншої волоконно-оптичної лінії зв'язку. Ця технологія дає змогу створити комутатор з максимальною кількістю 16 портів із втратами рівня сигналу в 1 дБ, але вона не гарантує довготривалої надійності, яку забезпечує, наприклад, рідкокристалічна технологія [58].

**Комутатори пакетів для ВОСП** вимагають перетворення світлових сигналів в електричні. Ця проблема значною мірою пов'язана з неможливістю запам'ятовування світлових імпульсів [58]. Однак недавно у США був зроблений

перший крок у створенні прототипу оптичної пам'яті на основі конденсату Бозе–Ейнштейна, охолодженого до температури  $-273^{\circ}\text{C}$ .

**Складені глобальні мережі.** Для створення складеної глобальної мережі мостів і комутаторів уже недостатньо, оскільки вони мають істотні обмеження і недоліки, а саме:

- в топології мережі мають бути відсутні петлі (які необхідні для підвищення надійності зв'язку);
- окремі підмережі слабо ізольовані одна від одної, що може призвести до зациклювання потоків інформації;
- складно вирішується завдання управління трафіком;
- недостатньо гнучка система адресування;
- обмежені можливості з трансформації кадрів у разі об'єднання в мережу різнорідних підмереж та й ті є не у всіх типів мостів і комутаторів.

Отже, виникла необхідність у застосуванні засобів вищого (мережного) рівня, якими є *маршрутизатори*.

Приклад архітектури глобальної складеної мережі зображено на *рис. 5.11*.

Ця мережа об'єднує за допомогою маршрутизаторів низку локальних і глобальних підмереж, що загалом працюють за різними технологіями.

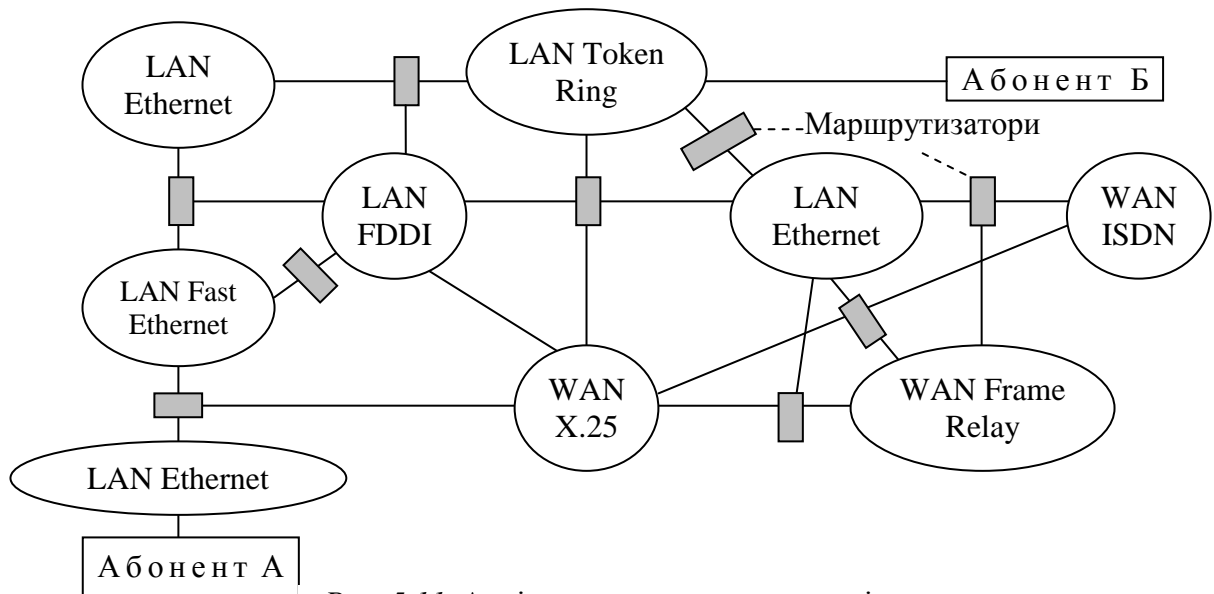


Рис. 5.11. Архітектура складеної мережі

Інформація пересилається дрібними пакетами з використанням одного з двох способів: дейтаграмної передачі або механізму віртуального каналу.

Дейтаграмний спосіб передачі полягає в тому, що пакети обробляються незалежно один від одного і можуть прямувати до пункту призначення різними шляхами, де з них за їх порядковими номерами компонується повідомлення. Рішення про те, якому наступному вузлу передати пакет, приймається у кожному вузлі на основі таблиці маршрутизації. Цей спосіб забезпечує ефективне використання пропускної спроможності мережі, але утруднює забезпечення гарантованої якості обслуговування.

Механізм віртуального каналу створює в мережі надійний шлях для усіх пакетів повідомлення. Для цього тільки перший пакет (група пакетів) забезпечується довгою адресною частиною, на основі якої цей канал і прокладається. Решта пакетів прямує слідом за першим, використовуючи коротку адресу у вигляді номера віртуального каналу. При цьому раціональніше використовується ємність пакетів, полегшується забезпечення гарантованої якості обслуговування, але менш ефективно використовується пропускна спроможність мережі.

**Маршрутизатори і маршрутизація.** *Маршрутизатор (Router)* – це пристрій мережного рівня. Він визначає раціональний шлях передачі мережного трафіка на основі зібраної ним інформації про поточну топологію і стан елементів мережі, використовуючи для адресування підмереж не прості апаратні, а складні числові адреси. В його адресі є поле номера підмережі, через що всі комп'ютери з таким номером належать до цієї підмережі. Крім визначення раціонального маршруту, в маршрутизаторах вирішуються такі важливі і трудомісткі завдання:

- аутентифікація користувачів, обмеження доступу і захист даних;

- надійна та ефективна ізоляція трафіків підмереж один від одного;
- забезпечення працездатності мереж із замкнутими контурами;
- підвищення надійності зв'язку;

– забезпечення трансформації кадрів під час їх просування підмережами, що реалізують різні технології, й об'єднання різних підмереж до єдиної складеної мережі (див. рис. 5.11). При цьому здійснюються трансляція адрес, фрагментація кадрів, трансформація пакетів, збирання пакетів. При фрагментації кадрів на пакети у кожному з них міститься інформація про його розташування у кадрі, його довжину і те, чи були за ним ще пакети у цьому кадрі. Повний заголовок кадру міститься тільки у перший пакет. Пакети можуть ще раз пройти процедуру фрагментації, якщо на їх шляху зустрінеться мережа з використанням пакетів ще меншої ємності.

Просування пакетів у складених мережах здійснюється на основі таблиць маршрутизації, зміст яких залежить від технологій складеної мережі. Кожен запис таблиці пов'язує адресу підмережі призначення з адресою або номером вихідного порту, на який слід передати пакет з цією адресою. Для побудови таблиць маршрутизатори обмінюються спеціальною службовою інформацією (про топологію складеної мережі і поточний стан її елементів), на базі якої кожен маршрутизатор вибирає раціональний маршрут до пункту призначення. Як правило, це маршрут з мінімальною кількістю проміжних маршрутизаторів (найкоротший шлях). Може також враховуватись пропускна спроможність і надійність каналів, затримки, що вносяться ними, динаміка зміни топології, вартість транспортування інформації. Таблиці маршрутизації різних маршрутизаторів мають бути узгоджені між собою, що забезпечує протокол маршрутизації і обмін службовою інформацією. *Протоколом маршрутизації* називають програмні засоби, що забезпечують визначення маршруту і складання таблиць маршрутизації. Таких протоколів існує багато. Логіка їх роботи основана на відповідних алгоритмах маршрутизації. Найпоширенішим і простішим є протокол RIP.

Маршрутизатор можна розглядати як спеціалізований комп'ютер. До складу типового маршрутизатора входять: центральний процесор; до чотирьох типів пам'яті (пасивний запам'ятовуючий пристрій ROM, флеш-пам'ять, енергозалежна пам'ять з вільним доступом RAM, енергонезалежна пам'ять NVRAM); порти з унікальними номерами; консольний порт з кабелем, що забезпечує асинхронне з'єднання з комп'ютером для управління маршрутизатором під час настроювання; допоміжний порт AVX, що забезпечує асинхронне з'єднання з модемом для усунення помилок настроювання віддаленого маршрутизатора; конфігураційні файли операційної системи (завантажувальні, що розміщені в NVRAM, і робочі, що розміщені в RAM); контролери, які організують взаємодію портів з внутрішніми елементами маршрутизатора і між цими елементами.

Ім'я маршрутизатора не повинно перевищувати 69, а пароль – 25 символів і має починатись з літери. Під час формування імені маршрутизатора слід враховувати, що воно є частиною запрошення на введення команд маршрутизатора, а в запрошенні може бути не більш як 29 символів.

За продуктивністю маршрутизатори можуть бути засобами вищого, середнього або нижчого класу. Перші підтримують багато протоколів, зокрема і нестандартних, мають до 50 портів LAN і WAN. Другі призначені для великих підрозділів, підтримують тільки стандартні протоколи, мають 2–3 порти LAN і 4–8 портів WAN. Треті призначені для LAN невеликих підрозділів, мають 1 порт LAN і 1–2 порти WAN.

*Таким чином*, в сучасних КЦ цифрового зв'язку комутація каналів і повідомлень приведені як режими роботи одного і того самого КЦК-П, а швидкодія апаратури і передача повідомлень дрібними пакетами зробили можливими інтеграцію різних видів зв'язку і діалог між абонентами навіть у режимі комутації пакетів. Є приклади апаратурного інтегрування КТА з КЦ і створення апаратури КЦП–КО, тобто комутатора цифрових потоків – каналотвірного обладнання.

Порівняно з комутатором маршрутизатор є складнішим високоінтелектуальним пристроєм, функції якого, як правило, виконує спеціалізований комп'ютер. Функціональні можливості маршрутизатора набагато вищі, ніж у моста чи комутатора, але настроювання складніше і вартість значно вища, що слід враховувати, створюючи мережі. Але у разі з'єднання у мережу різноманітних підмереж перевагу слід віддавати маршрутизаторам, тому що при цьому маршрутизатор виконуватиме функції шлюзу.

## 6. Системотехнічні властивості ліній військового зв'язку

У широкому розумінні радіозв'язок відповідає застосуванню радіочастотних сигналів від вкрай низьких до вкрай високих частот (від  $3 \text{ кГц}$  до  $300 \text{ ГГц}$ ) і РХ з довжиною від  $100 \text{ км}$  до  $1 \text{ мм}$ . Залежно від середовища ПРХ та місця розташування радіостанцій розрізняють наземний, космічний та супутниковий радіозв'язок, а також іоносферний, радіорелейний, тропосферний і радіозв'язок прямої видимості. Усі ці різновиди радіозв'язку застосовуються у ВЗв, але згідно з [68] до ВРЗв належать радіозв'язок прямої видимості, іоносферний, транкінговий, радіорелейний, тропосферний і супутниковий.

У цій главі розглядаються вищеперелічені види радіозв'язку, а також лінії проводового зв'язку, який залишається важливою складовою ВЗв. Він використовується як самостійно, так і в комбінації з іншими родами зв'язку. Наприклад, в дивізії США використовується  $2000 \text{ км}$  кабелю, у корпусі –  $6200 \text{ км}$ , на ТВД –  $12\,000 \text{ км}$ .

### 6.1. Лінії короткохвильового радіозв'язку

Середовище поширення короткохвильового (КХ) радіозв'язку і його вплив на властивості комплексів ВЗв. Частотний діапазон ВЗв у СВ охоплює частоти  $1,5\text{--}120 \text{ МГц}$ . Це середні, високі і дуже високі частоти (СЧ, ВЧ, ДВЧ), або відповідно гектометрові, декаметрові і метрові хвилі (ГкМХ, ДкМХ, МХ, рис. 6.1).

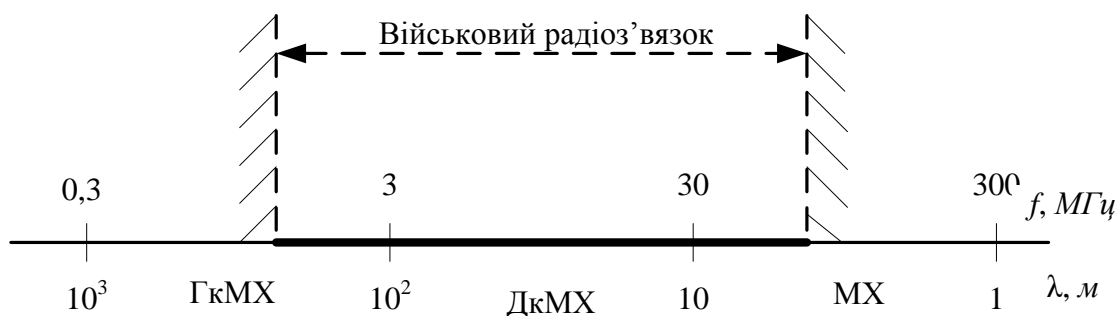


Рис. 6.1. Діапазон частот / хвиль військового радіозв'язку

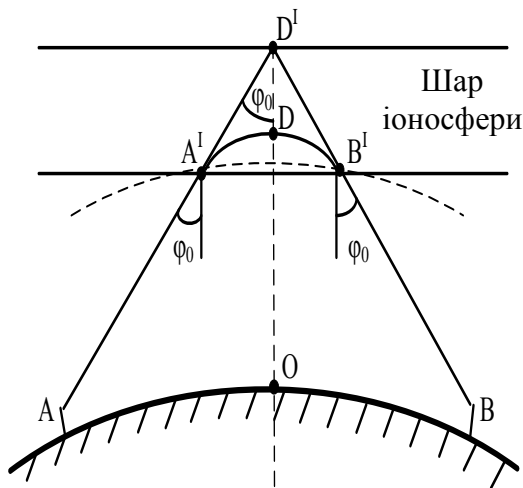


Зв'язок між довжиною хвилі в метрах і частотою в МГц встановлюється формулою  $\lambda = \frac{300}{f}$ .

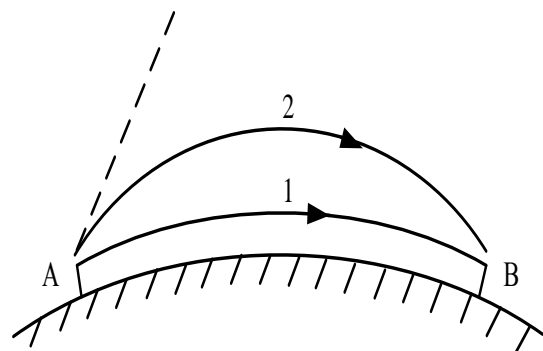
Середовище ПРХ цього діапазону охоплює тропосферу ( $h \leq 10$  км), стратосферу ( $10 < h \leq 50$  км) та іоносферу ( $h > 50$  км).

У цьому середовищі для пересилання сигналів використовуються 2 різновиди РХ: земні радіохвилі (ЗРХ), що поширюються вздовж земної поверхні, та іоносферні радіохвилі (ІРХ), що поширюються між антенами шляхом одноразового відбиття від іоносфери (іоносферний стрибок, *рис. 6.2*) або багаторазового відбиття від іоносфери і земної поверхні.

При однаковій потужності КХ-передавача ЗРХ здатні забезпечити зв'язок на відстані порядку 100 км (*рис. 6.3*), ІРХ – на відстанях до  $10^3$  і  $10^4$  км.



*Рис. 6.2.* Траекторія іоносферної хвилі в земній атмосфері (іоносферний стрибок)



*Рис. 6.3.* Промені земної хвилі: 1 – поверхневий; 2 – відгалужений від поверхневої хвилі

Земні радіохвилі (*рис. 6.3*) істотно згасають під впливом земної поверхні, а тому їх використовують переважно для забезпечення радіозв'язку в ТЛУ на частотах 20–120 МГц і відстанях 1–30 км.

Іоносферні радіохвилі (*рис. 6.2*) поширюються шляхом “відбиття” від шару іоносфери, а тому здатні забезпечувати зв'язок на великих відстанях (при багаторибковому поширенні – до 10 000 км). Через це їх використовують в ОТЛУ і ОСЛУ із застосуванням частот 1,5–30 МГц і відстаней зв'язку порядку 100–10 000 км.

Область, до якої під час зв'язку не надходять ні іоносферні, ні ЗРХ, називається зоною мовчання. Ця зона відсутня під час зенітного випромінювання ЕМХ антеною.

Передаточні властивості середовища поширення ЗРХ і ІРХ істотно відрізняються.

Земні радіохвилі піддаються впливу дифракції і згасанню внаслідок втрати енергії у приповерхневому шарі Землі. Відстань, за межами якої зв'язок можливий завдяки дифракції, залежить від довжини РХ (див. рис. 6.3). Інтенсивність згасання визначається поверхневим опором Землі, який теж залежить від довжини РХ, провідності і діелектричної проникності поверхні та істотно відрізняється для моря і суші різного складу та вологості.

Відбиття РХ від іоносфери обумовлене іонізованим (під дією сонячних променів) станом верхніх шарів атмосфери і наявністю магнітного поля Землі. Головним є перший чинник. Іоносферна плазма існує у вигляді 4-х шарів (D, E, F1, F2), що розташовані на різних висотах і мають різну концентрацію електронів (рис. 6.4).

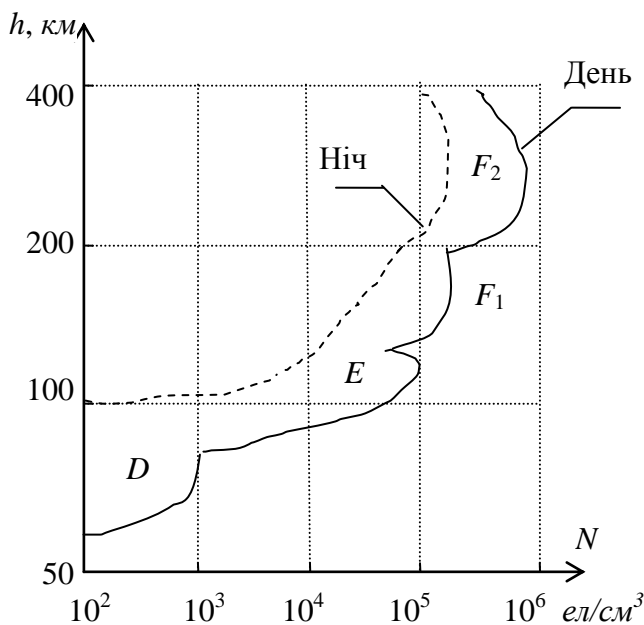


Рис. 6.4. Розподіл електронної концентрації іоносфери по висоті

Значення концентрації  $N$  збільшується вдень, літом і на екваторі. Під впливом РХ рух заряджених частинок упорядковується, але внаслідок цього виникає згасання РХ і зменшується відносна діелектрична проникність  $\epsilon'$  іоносфери, яка залежить від частоти радіосигналу та електронної концентрації

$$\epsilon' = 1 - 80,8 \frac{N}{f^2}, \frac{\text{ел/см}^3}{\text{кГц}^2}.$$

Через іоносферу проходять радіосигнали з частотами, при яких  $\epsilon' > 0$ . Радіосигнали з частотами, при яких  $\epsilon' < 0$ , крізь іоносферу не

проходять. Частота, на якій  $\epsilon' = 0$ , називається критичною  $f_{\text{кр.верт}} = \sqrt{80,8N}$ , або максимально застосованою частотою (МкЗЧ) при вертикальному зондуванні, яка зростає зі збільшенням концентрації. Вищим шарам іоносфери відповідають більші критичні частоти, які до того ж змінюються за часом і у просторі. Найбільша з них пов'язана з шаром F2 і становить при випромінюванні в zenit  $f_{\text{кр.F2}} = 9 \text{ МГц}$ .

У неоднорідній плазмі іоносфери змінюється і коефіцієнт заломлення  $n = \sqrt{\epsilon'}$ . Зміна  $n$  зумовлює зміну кутів падіння на різні шари іоносфери (див. рис. 6.2). Це явище підпорядковується низці рівнянь:

$$n_0 \sin \phi_0 = n_1 \sin \phi_1 = \dots = n_{\text{пик}} \sin \phi_{\text{пик}},$$

де  $n_0 = 1$ . Пікові значення відповідають поверхні іоносфери, в якій  $\varphi_{\text{пik}} = 90^\circ$ , тобто починається повернення руху ІРХ у протилежному напрямку (вниз). З цього виходить, що  $\sin\varphi_0 = n_{\text{пik}}$ . Вочевидь, що зі збільшенням кута падіння  $\varphi_0$  зменшується глибина проникнення ІРХ в іоносферу. Таким чином, виникає можливість використання для іоносферного зв'язку і вищих частот. Найбільша критична частота при вертикальному зондуванні  $f_{\text{кр.F2}} = 9 \text{ МГц}$  відповідає найвищому і найбільш іонізованому шару іоносфери  $F_2$ .

Відстань АВ іоносферного стрибка може приймати значення 0–4000 км, що визначається: станом іоносферного шару, який впливає на діючу висоту точки відбиття ( $D'$  на *рис. 6.2*) і критичну частоту радіовипромінювання ( $f_{\text{кр}}$ ); робочою частотою РЧС ( $f_p$ ); кутом  $\varphi_0$  падіння ЕМХ на нижню поверхню іоносфери. Робоча та критична частоти  $f_p$ ,  $f_{\text{кр}}$  і кут падіння  $\varphi_0$  пов'язані співвідношенням

$$f_p = \frac{f_{\text{кр}}}{\cos\varphi_0}. \quad (6.1)$$

Під час випромінювання вздовж дотичної до земної поверхні кут падіння на нижній шар іоносфери становить  $\varphi_{0\text{max}} = 76^\circ$ . Відповідно МкЗЧ для шару  $F_2$   $f_{\text{МЗЧ F2}} = 37 \text{ МГц}$ . Отже, МкЗЧ залежить ще й від кута падіння  $\varphi_0$ , а цей кут – від відстані між абонентами зв'язку. РЧС з більшою частотою, ніж МкЗЧ, від іоносфери не відбиваються, тому іоносферний радіозв'язок з їх використанням неможливий.

*Згасання ІРХ* спостерігається в усіх шарах іоносфери. Зменшення частоти радіосигналу забезпечує відбиття ІРХ, але супроводжується збільшенням її поглинання. Отже, існує гранична частота, починаючи з якої поглинання настільки значне, що якість зв'язку недостатня. Таку частоту називають *нижньою застосовуваною частотою* (НЗЧ).

*Оптимальна робоча частота* (ОРЧ). Упродовж доби стан іоносфери змінюється, відповідно змінюються максимальна і нижня застосовані частоти. Для забезпечення надійного зв'язку значення робочих частот вибирають на 15–20% нижчими за МкЗЧ і називають оптимальними робочими частотами за умовами ІРХ. Поглинання ІРХ на ОРЧ вище ніж на МкЗЧ, але стійкість зв'язку є достатньою. Добовий хід цих трьох частот показаний на *рис. 6.5*. Його слід враховувати, визначаючи робочі частоти. Найпоширенішою є практика застосування *денних, нічних та проміжних робочих частот* (*рис. 6.5, б*).

*Ймовірно-оптимальною частотою*, з придатних за умовами ІРХ, вважається робоча частота, під час застосування якої забезпечується найбільша ймовірність зв'язку при заданому рівні його достовірності. Заданий рівень достовірності (ймовірності помилок  $B_3$ ) визначається припустимим відношенням поточних середніх рівнів сигналу і завад.

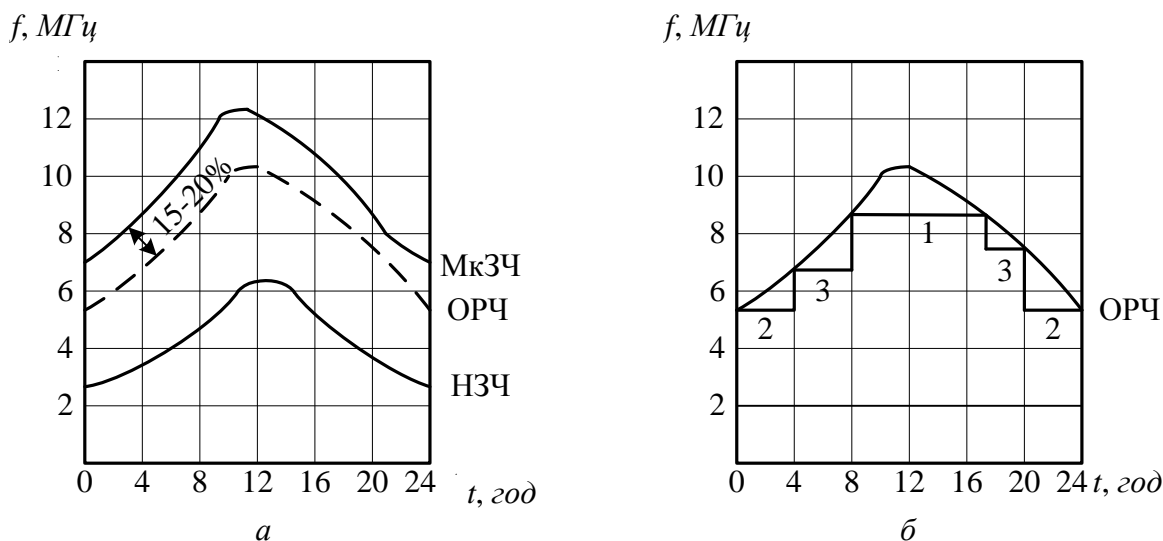


Рис. 6.5. Графіки добового ходу МкЗЧ, НЗЧ та ОРЧ (а) і денних, нічних та проміжних робочих частот (б)

Поточний середній рівень сигналу для даного каналу зв'язку є більш-менш постійною величиною, яка залежить від виду сигналу (аналоговий чи цифровий), виду модуляції і визначається потужністю Прд, характеристиками антен, протяжністю радіолінії і станом середовища ПРХ. Отже, забезпечити найбільшу ймовірність зв'язку можна вибором робочої частоти з мінімальним рівнем завад, що і буде ймовірно-оптимальною частотою. Для забезпечення цього на практиці необхідна неперервна діагностика завад на різних частотах і можливість зміни частот під час сеансу зв'язку. Саме таким висновком і була обґрунтована необхідність створення комплексів адаптивного зв'язку.

Слід зазначити, що формула ймовірності зв'язку при заданому рівні його достовірності  $B_3$ , яка випливає з аналізу щільності розподілу ймовірностей відношень сигнал / завада у каналі зв'язку, збігається з формулою надійності зв'язку за визначенням і має вигляд

$$P(B \leq B_3) = \frac{\tau_{\text{пр}}}{\tau_{\text{пр}} + \tau_{\text{нпр}}}, \quad (6.2)$$

де  $\tau_{\text{пр}}$ ,  $\tau_{\text{нпр}}$  – відповідно середньостатистична тривалість придатного і непридатного станів каналу зв'язку при тому самому  $B_3$ .

*Завмирання й інші завади.* У реальній іоносфері виникають турбулентні і гіромагнітні (під впливом магнітного поля Землі) явища, які зумовлюють багатопроменевість у поширенні ПРХ. Її наслідком є спотворення сигналів у пункті приймання внаслідок інтерференції РХ, що дійшли до пункту приймання різними шляхами. Аналогічні явища виникають і внаслідок широких діаграм спрямованості (ДС) антен (рис. 6.6). Вони призводять до швидких

завмирань сигналу. Середня тривалість швидких завмирань  $\approx 10$  с. Поряд з ними існують і повільні завмирання, що зумовлені зміною параметрів значних за розмірами областей іоносфери.

Крім завмирань, в КХ радіолініях діють атмосферні, електризаційні, промислові і взаємні завади. Взаємні завади найпотужніші, оскільки на 1  $\kappa\Gamma\text{ц}$  смуги частот всіма радіостанціями, що в ній працюють, випромінюється сумарна потужність порядку сотень – тисяч  $\kappa\text{Вт}$ . Завмирання і взаємні завади призводять до змін ефективного значення обвідної радіосигналу, що розподілені за логарифмічно-нормальним законом.

Транспортні властивості ліній військового КХ радіозв'язку визначаються одноканальністю, вузькосмуговістю (одиниці  $\kappa\Gamma\text{ц}$ ), невисоким відношенням потужностей сигнал / шум (10–20). Згідно з формулою Клода Шеннона, пропускна спроможність каналу з завадами

$$C = \Pi_{0,5} \log \left( 1 + \frac{P_c}{P_{\text{ш}}} \right). \quad (6.3)$$

При ширині смуги пропускання  $\Pi_{0,5} = 4 \kappa\Gamma\text{ц}$  і відношенні потужностей  $\frac{P_c}{P_{\text{ш}}} = 15$  пропускна спроможність становить  $C = 16 \text{ кбіт/с}$ .

**Розрахунок робочих частот КХ радіоліній.** У межах України траси іоносферного радіозв'язку є однострибковими. Проекція точки відбиття ІРХ  $D'$  визначається як середня точка дуги великого кола, що проходить через кінцеві пункти зв'язку А і В (див. рис. 6.2).

Величина  $f_{\text{МкЗч}}$  траси, яка розраховується, залежить: від відстані  $r$  між точками А і В; від висоти  $h$  шару, від якого відбивається ІРХ; від критичної частоти  $f_{\text{кр}}$  цього шару. Відстань  $r$  можна вважати відомою. Значення  $h$  і  $f_{\text{кр}}$  треба визначити нестандартним шляхом, оскільки зараз прогнози в Україні централізовано не доводяться.

З іоносферних зведень, які передаються для загального користування, відомі дані про стан іоносфери над широкими районами земної кулі. Зміна  $h$  і  $f_{\text{кр}}$  у просторі відбувається в середньому гладко, поступово, що дає підстави для поширення на території України даних, які передаються, наприклад, з Москви. Отже,  $r$ ,  $f_{\text{кр}}$  і  $f_{\text{МкЗч}}$  ( $r_{\text{ном}}$ ) можна вважати відомими.

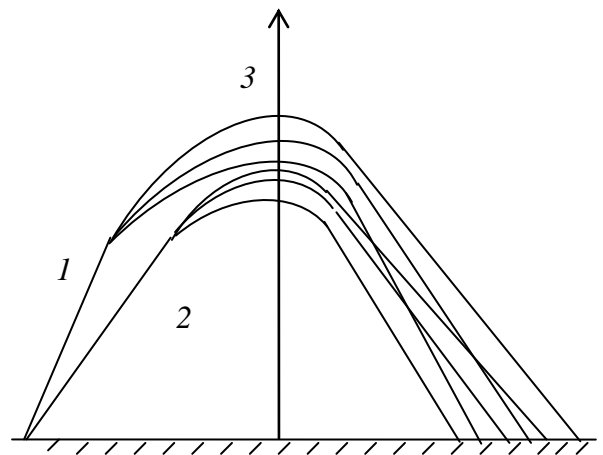


Рис. 6.6. Багатопроменеве поширення ІРХ через дифузне розсіювання і надходження в іоносферу під різними кутами

Висота  $h$  точки відбиття  $D'$  (див. рис. 6.2) ні в іоносферних зведеннях, ні на іоносферних картах не наводиться. На картах і в зведеннях наводиться  $f_{кр}$ , яке позначене на картах як  $F_2 - 0 - \text{МкЗЧ}$ , і значення МкЗЧ, яке відповідає певній номінальній відстані, наприклад,  $r_{\text{НОМ}} = 4000 \text{ км}$  і позначається відповідно  $F_2 - 4000 - \text{МкЗЧ}$ . Оскільки точка відбиття  $D'$  для відстаней  $r$  і  $r_{\text{НОМ}}$  однакова, то це дає змогу визначити висоту точки відбиття за формулою

$$h \approx \frac{r_{\text{НОМ}}}{2} \left( \frac{1}{\sqrt{M_{\text{НОМ}}^2 - 1}} - \frac{r_{\text{НОМ}}}{4R_3} \right), \quad (6.4)$$

де середній радіус Землі  $R_3 = 6371 \text{ км}$ ;  
коefficient підвищення МкЗЧ, що відповідає номінальній відстані, розраховується за формулою

$$M_{\text{НОМ}} = \frac{f_{\text{МкЗЧ}}(r_{\text{НОМ}})}{f_{\text{кр}}} \quad (6.5)$$

за значеннями частот  $f_{\text{кр}}$  і  $f_{\text{МкЗЧ}}(r_{\text{НОМ}})$ , отриманих з відповідних карт або зведень.

Далі розраховується тангенс кута падіння РХ на нижній шар іоносфери за формулою

$$\text{tg}\varphi_0 \approx \frac{\frac{r}{2}}{h + \frac{r^2}{8R_3}}, \quad (6.6)$$

яка впливає з рис. 6.2, і на відстанях  $r \leq 4000 \text{ км}$  призводить до похибки  $\approx 1\%$ .

За відомою формулою МкЗЧ розраховуються

$$f_{\text{МкЗЧ}} = \frac{f_{\text{кр}}}{\cos\varphi_0} = f_{\text{кр}} \sqrt{1 + \text{tg}^2\varphi_0} \quad (6.7)$$

і оптимальна робоча частота

$$f_{i\partial\div} = (0,8 \dots 0,85) f_{i\partial\div} \cdot \quad (6.8)$$

Для визначення добового ходу ОРЧ розглянутої траси розрахунок МкЗЧ і ОРЧ проводиться для усіх парних годин і будується графік, аналогічний зображеному на рис. 6.5, б.

**Індивідуальні завдання (приклад).** Розрахувати ОРЧ для відстані  $r = 1200 - 50n$  км між точками А і В (див. рис. 6.2) і таких значень координат проекції (на поверхню Землі) точки відбиття РХ від іоносфери:  $B = 50^\circ - 0,5n$  північної широти,  $L = 25^\circ$  східної довготи, де  $n$  – порядковий номер слухача за списком у “Журналі обліку занять”. Для визначеності прийняти  $f_{ОРЧ} = 0,85 f_{МкЗЧ}$ .

**Вибір антени для забезпечення радіозв’язку.** Системотехнічні властивості антен мають суперечливі риси:

– для поліпшення енергетики радіолінії зв’язку, підвищення завадо- і розвідзахищеності треба зменшувати ширину ДС, що потребує збільшення габаритних розмірів антен до  $L = (3-5) \lambda$ ;

– для поліпшення військово-прикладних характеристик антен (мобільності, живучості) розміри антен варто зменшувати.

Ця суперечливість вирішується двома шляхами:

– застосуванням антен, електричні характеристики яких поступаються гранично досяжним;

– застосуванням комплекту антен, кожна з яких краще відповідає окремим умовам.

Для зв’язку ЗРХ коефіцієнт спрямованої дії (КСД) антени має бути максимальним вздовж лінії, дотичної до земної поверхні. Для зв’язку ІРХ КСД має бути максимальним під кутом підвищення, який відповідає зв’язку на задану відстань через визначений шар іоносфери. У горизонтальній площині передавальна і приймальна антени мають бути зорієнтовані максимумами ДС назустріч.

Важливою характеристикою антени є її діапазонність. Розрізняють настроєні антени, що працюють на одній робочій частоті, і ширококугові антени з коефіцієнтом перекриття більш ніж 1,2. Недостатня діапазонність теж призводить до необхідності розширення комплекту антен. Ширококуговість особливо важлива для побудови комплексів адаптивного зв’язку. Важливими рисами діапазонності є межі зміни їх активного і реактивного опорів від частоти. Для забезпечення максимальної передачі потужності до антени застосовують узгоджувальний антенний пристрій, який шляхом трансформації вирівнює активні опори, а реактивні взаємно компенсує.

Антени для КХ зв’язку належать до класу провідних антен, які розташовані поряд з поверхнею Землі, що обумовлює вплив на спрямованість антени

електричних властивостей поверхні Землі, на жаль, змінюваних у часі. Цей вплив враховується методом дзеркальних зображень.

Антени для зв’язку ЗРХ поділяють на 2 сім’ї: вертикальних вібраторів і однопровідних змінно-фазних антен. Антени обох сімей створюють ЕМХ з

вертикальною поляризацією, яка через скінчену земну провідність перетворюється в нахилену поляризацію.

Базовою антеною *першої сім'ї* є вертикальний несиметричний вібратор, який за реальних умов випромінює вздовж поверхні Землі менше ніж під кутом підвищення  $\cong 20^\circ$ . Поліпшення властивостей вертикального несиметричного вібратора досягається виконанням заземлення в значній частині ближньої зони. Інші антени цієї сім'ї (антена типу похилий промінь, *T*-подібна антена і похила *T*-подібна антена, об'ємні вібратори) мають відмінності, спрямовані на поліпшення коефіцієнта корисної дії і діапазонності.

Базовою антеною *другої сім'ї* є антена біжної хвилі. Це лінійний провідник довжиною  $L = (5-7) \lambda$ , розташований на висоті 2–3 м і навантажений на узгоджений опір. Вихідна напруга знімається з протилежного кінця. У діапазоні ГМХ ця антена використовується як приймальна. Через істотні втрати в земній поверхні її коефіцієнт передачі чи підсилення (КПА) дорівнює  $G = 0,01-0,1$ . У діапазоні МХ втрати зменшуються, КПА = 1–10 і вона використовується як приймальна і передавальна. До цієї сім'ї належать напівромбічна і  $\Lambda$ -подібна антени, в яких КПА зростає в 2–2,5 рази через збільшення середньої відстані до поверхні Землі до 10–15 м і ефективнішого використання вертикальної складової ЕМХ. Позитивні риси цієї сім'ї – більша спрямованість випромінювання, що підвищує завадо- і розвідзахищеність.

*Антени для зв'язку IPX* мають забезпечувати випромінювання в широкому діапазоні кутів підвищення: від  $90^\circ$  для ближнього (300–800 км) зв'язку і майже до нуля для дальнього зв'язку  $> 1000$  км. Найпоширенішими є сім'я симетричних вібраторів (для ближнього зв'язку) і сім'я двопроводових змінно-фазних антен (для дальнього зв'язку).

Базовою антеною *першої сім'ї* є горизонтальний вібратор, розташований на  $h \approx \frac{\lambda}{3}$ . Її різновидами є діапазонний горизонтальний вібратор (з 3–8 провідників, з'єднаних кільцями в циліндр діаметром 1–2 м) і петельний діапазонний вібратор, у яких  $K_{\text{діан}} \approx 2,5-5$ . Їх недоліком є необхідність 2-х щогл заввишки 15–25 м. Цей недолік можна послабити застосуванням одномачтових похилих вібраторів, поступившись коефіцієнтом корисної дії, що у 1,5–2 рази менший.

Базовою антеною *другої сім'ї* є горизонтальна ромбічна антена з шириною ДС  $\theta = 5-30^\circ$ , КСД порядку сотень і коефіцієнтом корисної дії 0,4–0,6. Їх недоліком є необхідність 4-х щогл, тому вони застосовуються на стаціонарних КХ центрах, а в мобільних засобах ВЗв застосовуються однощоглові похилі V-подібні і X-подібні антени.

Крім розглянутих основних різновидів КХ антен, в пересувних засобах застосовуються П-подібні і феритові антени, які розташовані на дахах апа-



ратних і забезпечують роботу на невеликих відстанях шляхом зенітного випромінювання.

*Вибір антени для забезпечення радіозв'язку.* Антену треба вибрати і розташовувати так, щоб максимум її ДС був спрямований на точку відбиття. Для цього, перш за все, треба визначити кут підвищення точки відбиття  $D'$ . Якщо не вдається добитись точного збігу максимуму ДС з напрямком на точку відбиття, то необхідно розрахувати КСД у напрямку на точку відбиття, вживши заходів для того, щоб він не дуже відрізнявся від максимального.

Косинус кута підвищення точки відбиття

$$\cos \beta = \left( 1 + \frac{h}{R_3} \right) \sin \varphi_0. \quad (6.9)$$

Оскільки висота шару іоносфери  $h \ll R_3$ , то  $\cos \beta \approx \sin \varphi_0$ , тобто кут підвищення доповнює кут падіння до  $90^\circ$ . Отже,

$$\beta = 90^\circ - \varphi_0, \quad (6.10)$$

а тангенс кута падіння визначається формулою (6.6).

Значення КСД в напрямку на точку відбиття має враховувати значення КСД  $D_0 > 1$  в напрямку максимального випромінювання і нормоване значення  $D_{\text{норм}}(\beta)$  у напрямку на точку відбиття:

$$D(\beta) = D_0 D_{\text{норм}}(\beta). \quad (6.11)$$

Особливість полягає в тому, що максимум ДС може не збігатися з напрямком на точку відбиття і що ДС – нормована, а тому треба значення нормованої ДС у напрямку на точку відбиття помножити на максимальний КСД  $D_0$ , щоб отримати значення КСД у напрямку на точку відбиття.

Таким чином:

1. Для протяжності радіоліній в межах України (до 1000 км) типовими є антени зенітного випромінювання, похилий вібратор.
2. Для забезпечення якісного зв'язку треба працювати на оптимальних робочих частотах, а ще краще на ймовірно оптимальних частотах.
3. На ймовірно оптимальних частотах працюють частотно-адаптивні радіолінії зв'язку, одну з яких розглянемо далі.

## 6.2. Системотехніка частотно-адаптивних радіоліній

Зміна параметрів іоносфери як середовища ПРХ призводить до завмирань КХ радіосигналів та інших завад різного походження. Частотно-адап-

тивні радіолінії (ЧАРЛ) призначені для підвищення в цих умовах якості зв'язку.

### Загальна характеристика і варіанти побудови ЧАРЛ

Класифікація АРЛ і узагальнена структура схема ЧАРЛ. Адаптивними називають радіолінії, структура або (і) параметри яких автоматично змінюються при зміні умов їх функціонування для підтримання необхідного рівня якості зв'язку. В існуючих засобах зв'язку адаптація радіоліній досягається зміною параметрів використовуваних радіосигналів

$$s(t) = S_m(t) \cos [\omega_0 t + \varphi(t)],$$

і в першу чергу:

- кругової несучої частоти  $\omega_0$ , від якої залежить рівень завад в радіоканалі і коефіцієнт згасання РХ;
- ширини смуги частот радіоканалу  $\Delta\omega_K$ ;
- амплітуди радіосигналу  $S_m(t)$ , що пов'язана з його потужністю.

Із трьох складових якості зв'язку (скритності, достовірності, своєчасності) адаптивність використовується, переважно, для поліпшення скритності і достовірності. Підвищення скритності досягається роботою радіоканалів на мінімально придатних рівнях потужності радіосигналів, а також зміною антенних пристроїв, що є адаптацією структури радіолінії. Підвищення достовірності зв'язку може досягатись зміною будь-якого з перерахованих вище параметрів.

У КХ радіолініях, де рівень завад залежить переважно від випромінювання сторонніх радіостанцій, доцільним напрямком адаптації є зміна робочої частоти.

Адаптивні і, зокрема, частотно-адаптивні радіолінії являють собою поєднання ліній радіозв'язку з лініями телеконтролю (ТК) і телеуправління (ТУ). Як лінії дуплексного радіозв'язку вони містять два Прд, два Прм і кінцеву апаратуру двох абонентів (рис. 6.7). Для забезпечення адаптації на кожній стороні необхідно безперервно контролювати достовірність зв'язку в поточному робочому каналі і рівні завад в резервних каналах.

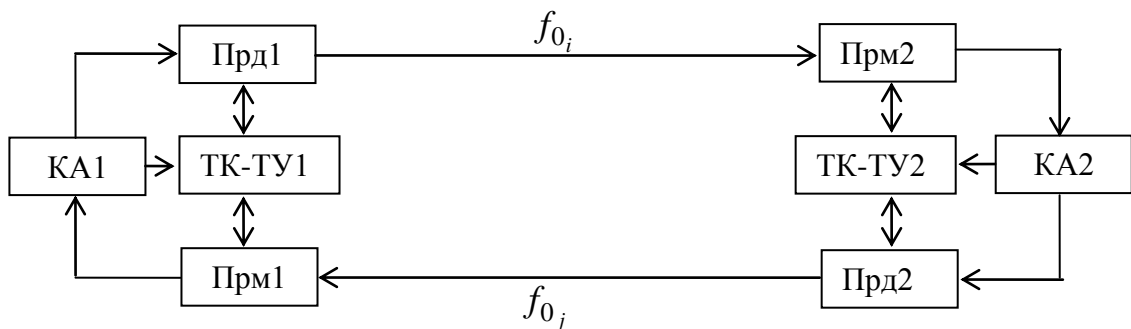


Рис. 6.7. Структурна схема ЧАРЛ

Цей контроль достовірності слід виконувати в обох каналах дуплексної радіолінії, і, в разі незадовільної достовірності, кожна радіостанція має передавати іншій радіостанції сигнали ТУ про необхідні зміни параметрів радіосигналів.

Розрізняють два різновиди АРЛ:

– автономні, в яких канал ТУ відокремлений від оперативного (інформаційного) каналу;

– суміщені, в яких сигнали ТУ та інформаційні сигнали передаються одним частотним каналом з відокремленням їх у часі. Ці АРЛ поширеніші і застосовуються, зокрема, у комплексі “Поиск”.

У ЧАРЛ адаптація досягається зміною робочих частот радіолінії на резервні частоти. Основними елементами засобів телеконтролю і телеуправління є (рис. 6.8):

– ППЧ – пристрої перестроювання частоти;

– ПКРК – пристрій контролю за робочим каналом;

– ПВОСБЧ – пристрій визначення оптимальної субчастоти (резервної частоти);

– ПППКУ – пристрій приймання і передавання команд управління;

– ПП – програмний пристрій.

Програмний пристрій відіграє ключову роль в роботі системи ТК – ТУ. До нього надходять результати контролю за робочим і резервним каналами власної апаратури і прийняті Прм сигнали ТУ протилежної сторони.

Кінцева апаратура, взаємодіючи з ПКРК, теж бере участь у визначенні достовірності зв'язку.

Швидке перестроювання частоти в ЧАРЛ (на прикладі комплексу “Поиск”) відбувається у 2 етапи:

На першому етапі частота змінюється з кроком  $\Delta f_{сч} = 1 \text{ кГц}$  у смузі 15  $\text{кГц}$ , де створена локальна сітка частот, названих субчастотами (СБЧ).

П'ятнадцять СБЧ створюють пакет (рис. 6.9). Середня частота пакету (з  $N = 8$ ) називається фіксованою частотою  $f_{фч}$ . Субчастота пов'язана з ФЧ і зі своїм порядковим номером  $N$  у пакеті таким співвідношенням:

$$f_{сч} = f_{фч} + (N - 8)\Delta f_{сч}.$$

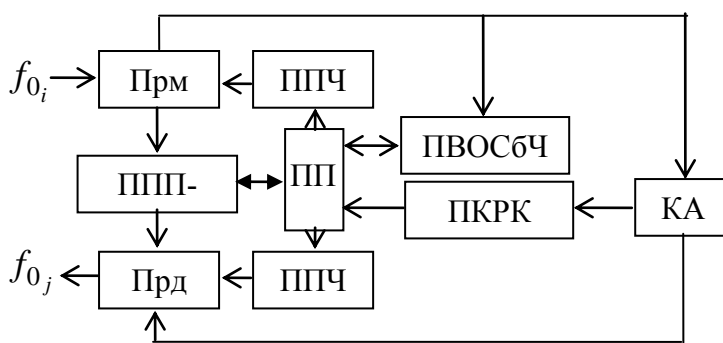


Рис. 6.8. Структурна схема системи ТК-ТУ

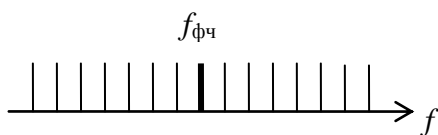


Рис. 6.9. Пакет субчастот

На другому етапі за потреби змінюється ФЧ. Їх загальна кількість може досягати 20 (по 10 в КХ і УКХ діапазонах), але в адаптивному режимі використовується до 10 ФЧ. Розподіл ФЧ по частотному діапазону визначається організаційно технічними чинниками і зводиться до підготовки апаратури абонентів ЧАРЛ до роботи на завчасно підготовлених частотах.

Адаптивне перестроювання частоти відбувається в межах одного пакету до того моменту, поки якість зв'язку на його СбЧ задовольняє встановленим вимогам. У протилежному стані відбувається зміна  $f_{\text{фч}}$ . Зміна ФЧ і СбЧ має відбуватись за період  $\approx 0,1-0,01$  с, щоб не створювати незручності в передачі оперативної інформації. Таке швидке перестроювання частоти відбувається під управлінням програмного пристрою, який впливає на Прм і Прд через ППЧ, що стало можливим завдяки застосуванню в ППЧ цифрових синтезаторів частот. Формування і обробка радіосигналів в Прд відбувається по черзі на двох частотах: на місцевій несучій  $f_{\text{мн}}=128$  кГц, а потім на несучій частоті каналу  $f_0 \in (1,5-60)$  МГц. У Прм ці частоти використовуються у зворотному порядку. Перетворення частот відбувається у відповідних перетворювачах частоти. Отже, без сучасної мікроелектроніки швидке адаптивне перестроювання  $f$  неможливе.

Аналіз якості резервних каналів у ЧАРЛ відбувається в ПВОСбЧ (рис. 6.8 і 6.10). Він полягає:

– у виділенні завод у смузі  $\approx 1$  кГц навколо кожної СбЧ пакету (див. рис. 6.9) селектором СбЧ;

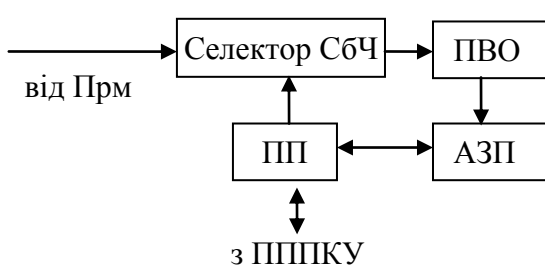


Рис. 6.10. Структурна схема ПВОСбЧ

– у вимірюванні і обробленні результатів вимірювання завод (пристрій вимірювання і обробки, ПВО);

– у порівнянні рівнів завод і визначенні оптимальної (за рівнем завод) СбЧ, що робиться за допомогою адресно-запам'ятовуючого (АЗП) і програмного пристроїв (ПП).

Програмний пристрій визначає також послідовність аналізу, його часові параметри (5 с на всі СбЧ пакету, 0,327 с – на кожній СбЧ), ширину смуги частот селектора СбЧ (три ступені в межах 0,5–3,1 кГц).

Результат порівняння являє собою адресу СбЧ з мінімальним рівнем завод, яка заноситься в адресний реєстр і, за потреби, за командою з ПП передається через ПППКУ на Прд і через ППЧ на Прм.

Аналіз якості робочого каналу у ЧАРЛ відбувається в ПКРК і полягає:

– у визначенні достовірності зв'язку через оцінювання ймовірності спотворень кодових комбінацій, якими закодовані оперативні повідомлення;

– у визначенні придатності каналу до подальшого застосування у разі перевищення ймовірністю допустимого рівня.

Як відомо, для підвищення скритності і завадозахищеності застосовують надлишкове корегувальне кодування. При цьому для кодування оперативних повідомлень використовується тільки частина можливих кодових комбінацій, названих дозволеними. Спотворення дозволеної комбінації, якщо воно відбулося, перетворює її в заборонену, що, у свою чергу, використовується як ознака виникнення помилки під час пересилання повідомлення. У виявленні цих помилок задіяні кінцевий апарат (КА), пристрій контролю за робочим каналом (ПКРК) і ПП (див. рис. 6.8). Узагальнена структурна схема ПКРК, яка складається з релаксаційного лічильника (РЛ) і подільника зі змінним коефіцієнтом ділення (ПЗКД), зображена на рис. 6.11.

На один вхід РЛ надходять сигнали від КА про прийняття заборонених кодових комбінацій. РЛ рахує їх кількість  $F_3$  за визначений інтервал часу.

На другий вхід РЛ надходить сигнал скидання РЛ до нуля, який виникає через той самий визначений інтервал часу, що залежить від загальної кількості  $F_{\text{ц}}$ , прийнятих за цей час кодових комбінацій, і коефіцієнта ділення  $K_{\text{д}}$  ПЗКД.

Отже, оцінкою ймовірності спотворення повідомлень буде відношення  $p = \frac{F_3}{F_{\text{ц}}}$ .

Ознакою непридатності каналу є перевищення  $p > p_{\text{пр}}$  або  $F_3 > p_{\text{пр}} F_{\text{ц}}$ . Якщо коефіцієнт ділення ПЗКД вибрати з умови  $K_{\text{д}} = p_{\text{пр}}^{-1}$ , то її можна записати так:  $F_3 > K_{\text{д}}^{-1} F_{\text{ц}}$ . При виконанні цієї умови РЛ видає сигнал непридатності каналу. Значення  $K_{\text{д}}$  можна регулювати і тим самим змінювати вимоги до ймовірності спотворення повідомлень (до достовірності зв'язку).

**Принципи побудови каналів управління.** Між радіостанціями, що входять до складу суміщеної ЧАРЛ, команди управління (КУ) передаються у вигляді пакетів цифрових повідомлень. Передача КУ є дуплексною і здійснюється на частотах  $f_{0_i}$ ,  $f_{0_j}$ , які належать до одного пакету загальної для обох абонентів фіксованої частоти. Вони є оптимальними СБЧ для кожного з абонентів. Різниця між ними зумовлена різними заводовими умовами, в яких працюють територіально рознесені абоненти.

Кожна КУ складається з 3-х кодових комбінацій (КК), які передаються послідовно: адреси абонента, якому вона призначена; адреси абонента, яким вона відправлена; інформація, яка передається абоненту. Перші дві КК нази-

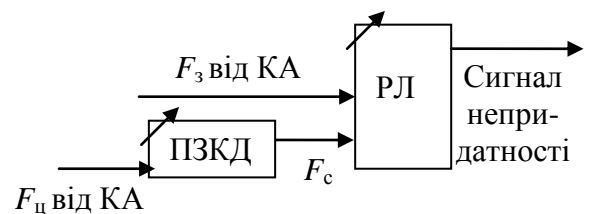


Рис. 6.11. Структурна схема ПКРК

ваються ключовими (Кл) або ключами, після дешифрування яких переходять до автоматичного виконання функцій, передбачених інформаційною КК. У цій роботі задіяні ПП, ПВОСбЧ, ПКРК, ПППКУ.

Інформаційні КК забезпечують передачу 3-х видів повідомлень:

– номера оптимальної субчастоти (ОСбЧ) і номера ФЧ. При цьому зміна значення ОСбЧ одного абонента під час ведення зв'язку є сигналом для зміни несучої частоти Прд другого абонента;

– квитанцій про прийняття і виконання отриманих КУ;

– формалізованих службових повідомлень (тобто передачі їх номерів).

Застосування корегуючого кодування (15/10) дає змогу зменшити ймовірність помилок інформаційних КК: при ймовірності спотворення окремого символу  $10^{-2}$  ймовірність помилок всієї команди управління становить  $10^{-3}$ .

Визначальними елементами ЧАРЛ є ПП обох абонентів. Вхідні і вихідні команди управління визначають взаємодію процесорів ПП обох абонентів:

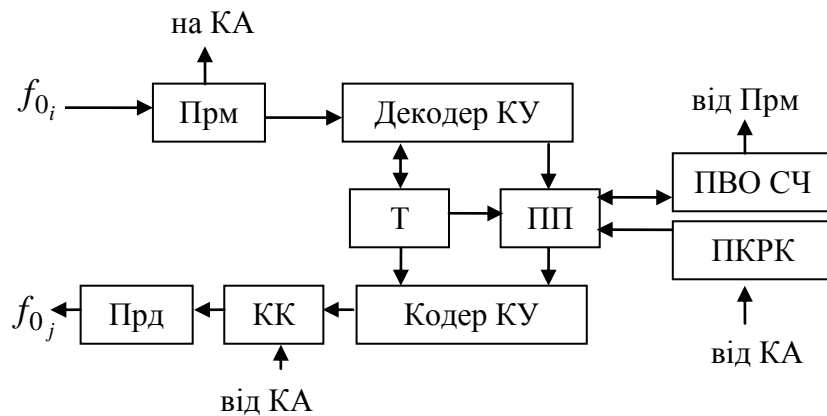


Рис. 6.12. Схема синхронізації і передачі команд управління

вхідна КУ надходить на декодер, а вихідна на кодер того самого ППП КУ (рис. 6.12).

Функціонування ЧАРЛ передбачає необхідність синхронізації, яка здійснюється від таймера Т, що пов'язаний з кодером, декодером і ПП. Зв'язок з декодером є дво-

стороннім, оскільки КУ, крім інформаційних функцій, використовують для взаємного автоматичного настроювання таймерів абонентів.

У суміщених ЧАРЛ передача КУ має бути узгоджена з передачею оперативної інформації. Для цього в схемі (рис. 6.12) передбачено комутатор каналів КК, який перериває передачу оперативної інформації на час пересилання команд управління. Але під час пересилання службових команд управління взаємодію елементів ЧАРЛ забезпечують організаційні (не автоматичні) заходи.

**Алгоритми роботи ЧАРЛ** – це прийняті правила зміни її дискретних станів, сукупність яких забезпечує 3 режими роботи радіолінії:

1. Режим чергового приймання, коли зв'язок відсутній, але ЧАРЛ перебуває в готовності.

2. Режим входження в зв'язок, який починається процесом ініціювання виклику одним з абонентів і закінчується автоматичним відкриттям лінії дуплексного зв'язку на ОСбЧ абонентів. При цьому обидві ОСбЧ входять до складу пакету однієї з призначених ФЧ.

3. Режим ведення і відновлення зв'язку, який передбачає адаптивну зміну частот дуплексного каналу на випадок втрати зв'язку на поточних частотах абонентів через неприпустимо високу ймовірність помилок.

Якщо не вдається зменшити ймовірність помилок до припустимого рівня зміною робочих частот, то другий і третій режими закінчуються поверненням в режим чергового приймання. Це триває до зміни заводських умов на краще або до послаблення вимог до рівня ймовірності помилок.

Автоматичній роботі ЧАРЛ передує етап підготовки апаратури, до якого входять:

- настройка апаратури кожного абонента для забезпечення її працездатності;
- введення в апаратуру даних, необхідних для спільної роботи, а саме:
  - установлення єдиного часу;
  - введення кодових адрес (ключових комбінацій) абонентів;
  - введення інформації про сукупність фіксованих частот і субчастот, призначених для використання в ЧАРЛ під час спільної роботи абонентів.

*Режим чергового приймання* відповідає готовності ЧАРЛ включитися в дуплексну роботу у разі подавання одним з абонентів команди “виклик”. У цьому режимі відбувається перестроювання Прм кожного абонента по 7 парних СбЧ кожної з призначених ФЧ за відсутності випромінювання потужності Прд. Перестроювання в обох абонентів відбувається синхронно, починаючи з першої ФЧ. Мета перестроювання – визначення ОСбЧ. За 5 хвилин роботи на одній ФЧ ОСбЧ визначається 60 разів (у “Поиска”).

*Режим входження у зв'язок.* До початку цього режиму у кожного абонента є відомості про власні ОСбЧ на кожній ФЧ за відсутності відомостей про ОСбЧ можливих партнерів.

Припустимо, що абонент А робить виклик абонента Б. Для сприяння в прийманні команди “Виклик” ця команда передається по черзі на усіх субчастотах (поточного пакету ФЧ), які в обох абонентів змінюються синхронно. Сприятливою вважається частота, на якій забезпечується декодування команди “Виклик”, і яка може відрізнитись від ОСбЧ. Але з декодуванням цієї команди, в якій є відомості про ОСбЧ абонента А, починається автоматичний діалог між абонентською апаратурою А і Б.

У ході цього діалогу вони:

- обмінюються відомостями про їх ОСбЧ і настраюють свої Прд на ОСбЧ партнера;
- уточнюють фазування своїх таймерів і КА (порівняно з тим, коли ці пристрої працювали автономно).

Припустимо, що в цьому пакеті не виявилось жодної частоти, сприятливої для декодування команди “Виклик”. Тоді ЧАРЛ повертається до “Чергового режиму” з подальшою можливістю автоматичної зміни ФЧ і повторення команди “Виклик” на СбЧ іншого пакета частот.

*Режим ведення та відновлення зв'язку.* Для цього режиму характерні: безперервний контроль за достовірністю зв'язку та автоматична зміна СБЧ і ФЧ у разі недостатньої достовірності. Причиною останньої є завадові обставини, які можуть призвести до односторонньої або до двосторонньої втрати зв'язку.

У разі двосторонньої втрати зв'язку ЧАРЛ переходить до “Чергового режиму” і починає все спочатку. У разі односторонньої втрати зв'язку дії ЧАРЛ залежать від широкосмуговості завад. Якщо ширина їх смуги значно менша ширини смуги пакету СБЧ, то відновлення зв'язку можливе шляхом зміни СБЧ. Якщо ширина смуги завад сумірна з шириною смуги пакету СБЧ, то відновлення зв'язку досягається зміною ФЧ, або взагалі неможливе при певному розподілі завад. У цьому разі ЧАРЛ переходить до “Чергового режиму” і починає все спочатку.

В алгоритмі передбачена можливість подвійної зміни СБЧ в межах одного пакету упродовж до 40 с, а необхідність третьої зміни призводить до переходу на іншу чергову ФЧ. Подвійна зміна ФЧ теж вважається гранично припустимою, а необхідність третьої зміни ФЧ розглядається як неможливість відновлення зв'язку і викликає перехід ЧАРЛ до “Чергового режиму”. Це пов'язано з наявністю відповідних бінарних лічильників.

Розглянуті алгоритми за відсутності організованих завад забезпечують надійний зв'язок. Статистика існуючого комплексу “Поиск” свідчить, що в цих умовах адаптивність забезпечується, здебільшого, зміною СБЧ.

Таким чином, адаптивність радіоліній до умов їх роботи стає одним з важливих принципів побудови сучасних комплексів зв'язку, який впливає з того, що невід'ємним елементом будь-якої радіолінії є середовище ПРХ, що безперервно змінюється внаслідок дії різних природних чинників і відкрите для всіх користувачів. Така відкритість щодо ВЗв створює умови для застосування засобів РЕБ, як неодмінної складової сучасного ведення бойових дій. Існуючі комплекси ВЗв забезпечують якісний зв'язок за відсутності навмисних завад. Для забезпечення надійного ВЗв в умовах РЕБ необхідно створити нове покоління адаптивних засобів, здатних протидіяти навмисним завадам, що можливе через розширення напрямків адаптації до виду використовуваних радіосигналів, зокрема широкосмугових сигналів.

Дія адаптивних засобів зв'язку і засобів РЕБ становить сутність радіоелектронної війни, ведення якої є ознакою бойових дій ХХІ сторіччя.

### **6.3. Системотехніка радіорелейних ліній військового зв'язку**

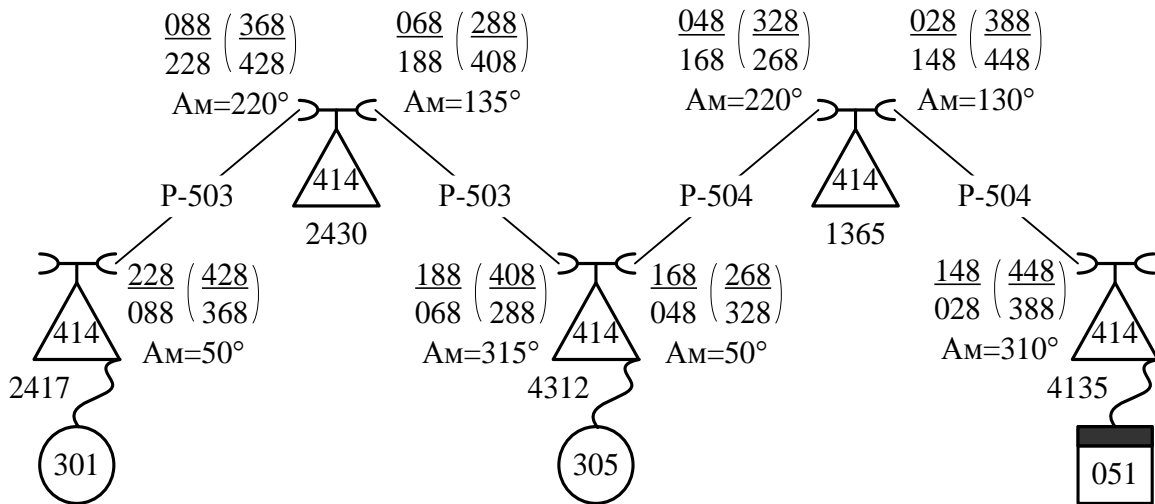
Радіозв'язок, радіорелейний і тропосферний зв'язок є важливими різновидами реального ВРЗв.



**Принципи побудови радіорелейного зв'язку. Визначальні поняття.** Згідно з ДСТУ до радіорелейного зв'язку (РРЗ) (від англ. *relay* – естафета, зміна, ретрансляція) належить наземний радіозв'язок, який забезпечується ретрансляцією сигналів дециметрових і коротших хвиль. Радіорелейна лінія (РРЛ) – це сукупність технічних засобів і середовище поширення сигналу для забезпечення РРЗ.

Залежно від використовуваного середовища поширення сигналу розрізняють 2 види РРЗ: прямої видимості і тропосферний РРЗ (спрощені терміни – РРЗ і тропосферний радіозв'язок (ТРЗ)). Важливо відзначити, що РРЗ є багатоканальним.

*Елементи РРЛ і місце РРЗ в системі ВЗв.* Первинним елементом є радіорелейна станція (РРС), яка функціонує у 3-х різновидах: кінцева, вузлова, проміжна. На *рис. 6.13* зображена траса РРЛ.



*Рис. 6.13.* Зображення траси РРЛ

Кінцеві РРС призначені для введення, трансляції і виділення повідомлень. Функції проміжних вичерпуються ретрансляцією сигналів. У вузлових РРС поєднуються функції ретрансляції, виділення і введення повідомлень.

Частина РРЛ, що обмежена сусідніми кінцевою і вузловою або сусідніми вузловими РРС, називається ділянкою РРЛ, яка може складатись з декількох інтервалів (прогонів). Інтервал – це частина РРЛ між сусідніми РРС.

Узагальнена структурна схема вузлової РРС (найбільш багатофункціональна) зображена на *рис. 6.14*. РРС складається з двох однакових напівкомплектів і комутатора *K* між ними. До кожного напівкомплекту входить антена, дуплексер *Д*, фідерна лінія, Прм, Прд і КТА. Елементи напівкомплекта, за винятком КТА, створюють високочастотний ствол РРС.

Для забезпечення дуплексного зв'язку на кожному інтервалі РРЛ передавання і приймання ведеться однією антеною РРС на двох різних частотах ( $f_1$  і  $f_2$ ;  $f_3$  і  $f_4$ ). Розв'язку сигналів (передаваних і прийманих) забезпечує дуплексер. Електромагнітна сумісність забезпечується за умови повторювання пари частот не менш, ніж через 2 інтервали (див. рис. 6.13).

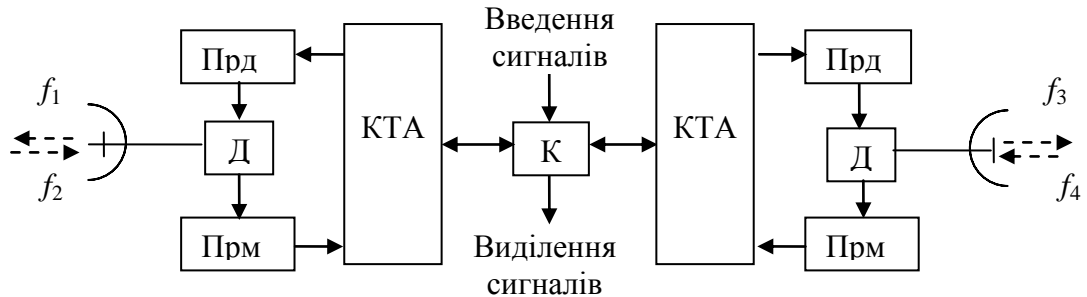


Рис. 6.14. Узагальнена структурна схема РРС

Комутатор забезпечує передавання розділених сигналів з одного напівкомплекта до другого, а також виділення необхідних сигналів і введення замість них інших сигналів.

На кінцевих РРС один з напівкомплектів перебуває в резерві.

За кількістю ущільнених каналів розрізняють РРЛ великої ємності (600–2700 каналів), середньої (60–300 каналів) і малої ємності (менше 60 каналів). Військові РРЛ належать до малоканалних, типова кількість яких становить 3, 6, 12, 24 канали.

Ширина спектру групового високочастотного сигналу обчислюється десятками – сотнями  $кГц$ . Тому РРС працюють в діапазоні ДМХ, СМХ, ММХ, а військові – в ДМХ, СМХ, за винятком застарілих РРС, що використовують нижню частину метрових хвиль.

В існуючих системах РРЗ застосовують два способи ущільнення каналів: частотний і часовий, які забезпечують пересилання Тлф і Тлг сигналів індивідуальними каналами. Системи РРЗ також використовують для пересилання ЦС у загальній смузі частот, що забезпечується спеціальною апаратурою передачі даних, яка не позначена на рис. 6.14. Швидкість пересилання даних в системах військового РРЗ 48–8448  $кбіт/с$ .

Головне призначення РРЗ в системі ВЗв полягає у створенні опорних мереж зв'язку, які містять в собі інформаційні напрямки, вісі і рокади зв'язку. Крім того, засоби РРЗ використовують для створення ліній прив'язки і ліній прямого зв'язку на відстань одного інтервалу РРЗ (до 30–40 км).

**Властивості середовища РРХ і його вплив на якість зв'язку.** Показники якості РРЗ. Для отримувача мовних повідомлень першочерговим показником якості РРЗ є шумова захищеність каналу, яка визначається як відношення потужності сигналу  $P_c$  до потужності шумів  $P_{ш}$  на виході розглянутого каналу зв'язку:

$$A_{ш} = \left( \frac{P_c}{P_{ш}} \right)_к, \quad a_{ш} \cong 10 \lg A_{ш} = 10 \left[ \lg \left( \frac{P_c}{P_0} \right)_к - \lg \left( \frac{P_{ш}}{P_0} \right)_к \right] = P_{ск} - P_{шк}, \text{ дБм.} \quad (6.12)$$

У виразі (6.12) потужності сигналу і шумів вимірюються в логарифмічних одиницях щодо заданого рівня потужності  $P_0 = 1 \text{ мВт}$ , які позначаються символом *дБм*.

Згідно з нормами МККГТ для цивільних стаціонарних РРЛ має бути  $a_{ш} = 48,5 \text{ дБм}$ . Для військового РРЗ, у якому використовуються мобільні РРС, ці норми значно менші (табл. 6.1).

Таблиця 6.1

**Вимоги до РРС і характеристики їх шумової захищеності**

Параметри	Вимоги МККГТ	Військовий зв'язок		РРС	
		якість добра	якість задовільна	Р-409	Р-414
$a_{ш}, \text{ дБм}$	48,5	36,5	30,5	40,5	44,5
$(P_c/P_{ш})_к$	$7 \cdot 10^4$	$4,5 \cdot 10^3$	$1,1 \cdot 10^3$	$1,1 \cdot 10^4$	$2,8 \cdot 10^4$
$P_{ш}, \text{ Вт}$	$1,4 \cdot 10^{-8}$	$2,2 \cdot 10^{-7}$	$9,1 \cdot 10^{-7}$	$8 \cdot 10^{-8}$	$3,6 \cdot 10^{-8}$

Примітки: 1. Рівень потужності сигналу на виході каналу  $P_c = 10^{-3} \text{ Вт}$ .

2. Параметри кінцевих РРС Р-409 і Р-414 наведені відповідно для РРЛ, що містять в собі 8 і 17 інтервалів.

Як видно з табл. 6.1, військові РРС за відсутності (навмисних) завад теж здатні забезпечити високу якість зв'язку і розбірливість мовних повідомлень. Привертає увагу високе відношення с/ш в РРС порівняно, наприклад, з радіолокаційними станціями. Для його забезпечення на виході каналу воно має бути ще більшим на вході Прм РРС.

Відношення потужності сигналу на вході Прм до *порогового* рівня шумів, що визначають його чутливість, має назву запасу рівня ВЧ сигналу:

$$Q = \left( \frac{P_c}{P_{ш}} \right)_{вх}, \quad q = 10 \lg Q.$$

Зв'язок  $A_{ш}$  і  $Q$  зумовлений тим, що в аналогових РРС чим більша потужність сигналу на вході, тим менша потужність шумів на виході каналу:

$$P_{шк} = D \left( \frac{P_{ш}}{P_c} \right)_{вх} = \frac{D}{Q},$$

де коефіцієнт  $D$  враховує властивості апаратури, зокрема дію системи автоматичного регулювання підсилення і вид ущільнення. З урахуванням вищенаведених співвідношень

$$A_{\text{ш}} = \frac{Q}{D} P_{\text{ск}}. \quad (6.13)$$

Оскільки величини  $D$  і  $P_{\text{ск}}$  для кожної РРС є майже константами, то шумова захищеність каналу виявляється прямо пропорційною запасу рівня ВЧ сигналу, тобто цей запас потрібен для забезпечення необхідної шумової захищеності. Тому запас розраховується для кожного інтервалу перед розгортанням РРЛ.

Шумова захищеність погіршується зі збільшенням номера інтервалу РРЛ. Найменше значення  $A_{\text{ш}}$  притаманне кінцевим станціям (див. табл. 6.1), що пов'язане з накопиченням шумів під час ретрансляції вздовж траси РРЛ. Сигнал на вході апаратури ущільнення кожної РРС підсилюється в Прм не більше ніж до стандартного рівня, а шуми малі і тому накопичуються.

Існують норми шумової захищеності, які знижуються зі збільшенням порядкового номера  $M$  РРС в РРЛ. Їх можна відобразити емпіричною формулою

$$a_{\text{шм}} \cong a_{\text{ш}_1} - 10 \lg M. \quad (6.14)$$

Спираючись на мінімальне значення шумової захищеності  $a_{\text{шмк}}$  (див. табл. 6.1) для кінцевої РРС, можна розрахувати нормативну шумову захищеність першої РРС

$$a_{\text{ш}_1} \cong a_{\text{шмк}} + 10 \lg M_k. \quad (6.15)$$

а потім за формулою (6.14) розрахувати нормативну шумову захищеність каналів кожної РРС радіорелейної лінії. Фактичні значення розглянутих показників якості зв'язку залежать від вибраної траси. До показників, що мало залежать від вибору траси РРЛ, належать амплітудна, амплітудно-частотна і фазочастотна характеристики каналів зв'язку.

*Середовище поширення радіосигналів* – це приземна частина тропосфери. З цього виходить, що на передачу сигналів впливають (рис. 6.15):

– тропосферна рефракція РХ, що зумовлена градієнтом діелектричної проникності  $g = \frac{d\varepsilon}{dh}$ ;

– земна поверхня між сусідніми РРС;

– відбиття РХ від локальних шарових неоднорідностей тропосфери;

– гідрометеори (наявні дощ, туман, сніг тощо).

Радіорелейні лінії розраховують для нормальної тропосфери з фіксованим значенням градієнта  $g$ . Локальні та тимчасові відхилення враховують коефіцієнтами, що віддзеркалюють явище завмирань.

Вплив земної поверхні на ПРХ залежить від відстані між нею і лінією прямої видимості, що, в свою чергу, залежить від довжини РХ  $\lambda$  і відстані між РРС.

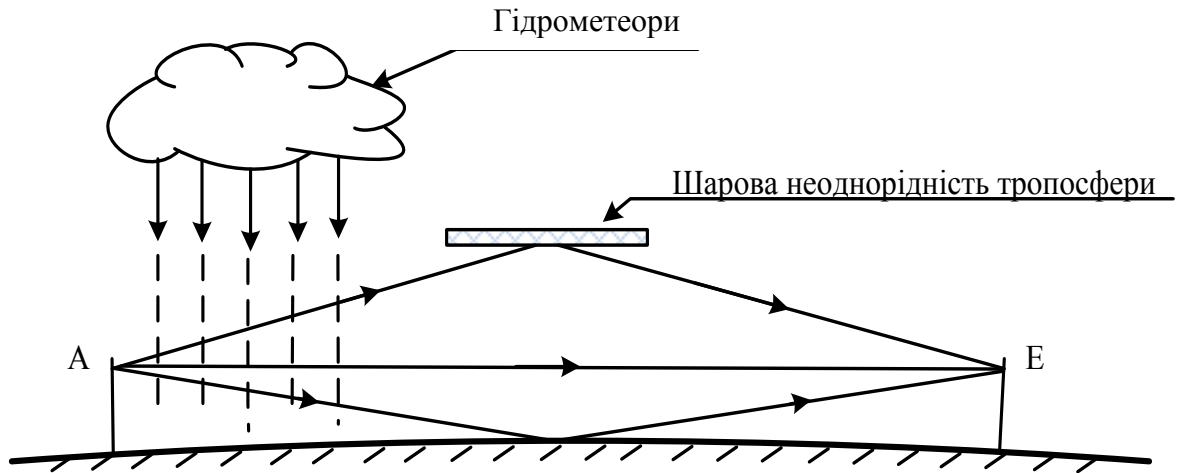


Рис. 6.15. Чинники, що визначають вплив середовища поширення радіосигналів на інтервал РРЛ

Земна поверхня майже не впливає на потужність прийнятого сигналу, якщо суттєва область ПРХ не перетинається з поверхнею Землі. Суттєвою називають область простору, в якій переноситься не менш як 80% потужності сигналу. Це еліпсоїд обертання еліпса навколо лінії прямої видимості з фокусами, що збігаються з електричними центрами антен (рис. 6.16), і поперечними перетинами круглої форми з радіусом

$$\rho_c = \sqrt{(8-12) \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} \lambda},$$

де  $R_1, R_2$  – відстані від фокусів до площини перетину;  
 $\lambda$  – довжина РХ.

На жаль, в діапазоні МХ суттєва область перетинається з поверхнею Землі.

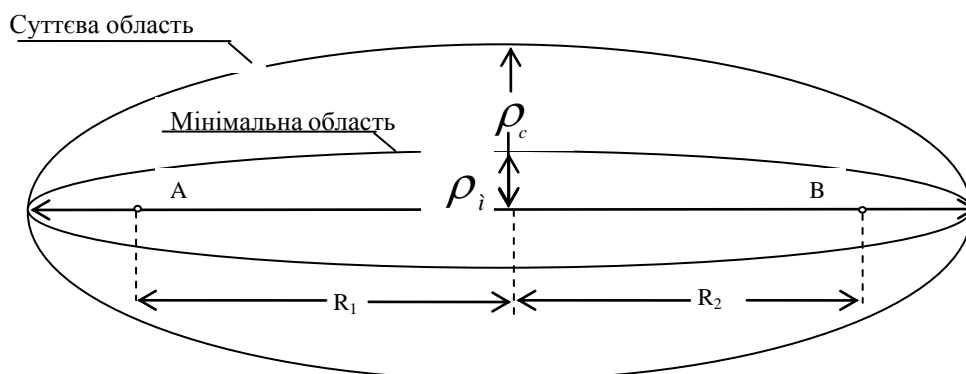


Рис. 6.9. Мінімальна і суттєва області поширення радіохвиль між електричними центрами антен

Вплив земної поверхні залежить від відстані до *мінімальної області* ПРХ. Це область, по якій передається 50% потужності сигналу. Вона має форму еліпсоїда, конфокального з еліпсоїдом суттєвої області, але з меншим (у 5–6 разів) радіусом кола поперечного перетину

$$\rho_m = \sqrt{\frac{\lambda}{3} \frac{R_1 R_2}{(R_1 + R_2)}}.$$

Найбільші значення  $\rho_m$  відповідають відстаням  $R_1 = R_2$ . При  $\lambda = 0,01$  м  $\rho_m$  змінюється в межах 3–6 м при зміні відстані  $R$  між РРС в межах 10–40 км. При  $\lambda = 1$  м він в тих самих умовах змінюється в межах 29–58 м.

Визначимо запас рівня ВЧ-сигналу на вході Прм РРС. Для цього:

– визначимо потужність ВЧ-сигналу на вході Прм РРС у разі поширення сигналу у вільному просторі:

$$\mathfrak{D}_{\hat{n}\hat{a}\hat{i}} = \ddot{I} S = \frac{\mathfrak{D}_i \eta_1 G_1}{4\pi R^2} \frac{\lambda^2 \eta_2 G_2}{4\pi} = \eta_1 \eta_2 G_1 G_2 \mathfrak{D}_i w_{\hat{a}\hat{i}},$$

де  $\Pi$  – щільність потоку потужності сигналу у пункті приймання;

$S = \frac{G_2 \lambda^2}{4\pi}$  – ефективна площа приймальної антени;

$P_{\Pi}$  – потужність Прд;

$\eta_1, \eta_2$  – коефіцієнти корисної дії фідерних ліній відповідно передавального і приймального трактів;

$G_1, G_2$  – коефіцієнти підсилення відповідно передавальної і приймальної антен;

$w_{\hat{a}\hat{i}} = \left( \frac{\lambda}{4\pi R} \right)^2$  – множник послаблення сигналу під час його поширення у вільному просторі;

– визначимо запас рівня ВЧ-сигналу на вході Прм РРС з урахуванням впливу рельєфу місцевості множителем  $w_{\text{рм}}$ :

$$Q = \frac{\mathfrak{D}_{\hat{n}}}{\mathfrak{D}_{\phi}} = \frac{\mathfrak{D}_{\hat{n}\hat{a}\hat{i}}}{\mathfrak{D}_{\phi}} w_{\delta\hat{i}} = \eta_1 \eta_2 G_1 G_2 \frac{\mathfrak{D}_i}{\mathfrak{D}_{\phi}} w_{\hat{a}\hat{i}} w_{\delta\hat{i}}.$$

Множник послаблення  $w_{\text{рм}}$ , обумовлений впливом рельєфу місцевості, розраховується залежно від взаємного положення мінімальної області і земної поверхні. Розрізняють три різновиди інтервалів РРЛ:

– відкриті, на яких мінімальна область не перетинається з земною поверхнею;

– напіввідкриті, на яких цей перетин є, але нема перетину з лінією прямої видимості;

– закриті, на яких земна поверхня перетинає лінію прямої видимості.

Загальний висновок полягає в такому: вплив земної поверхні тим більший, чим нижча частота радіосигналу і більша довжина інтервалу радіолінії. Саме це визначає застосування в РРЗ ДМХ і коротших хвиль.

**Сучасні та перспективні комплекси РРЗ.** Системотехнічні характеристики існуючих засобів РРЗ Збройних Сил України можна поділити на 2 групи: засоби ОТЛУ (РРС Р-409, Р-409 М, Р-419) і засоби ОСЛУ (РРС Р-404, Р-404М, Р-414). Найпоширенішими є РРС Р-409М і Р-414, тому розглянемо, насамперед, їх характеристики.

*Р-409М* – лампова РРС першого покоління, створена в 50–60 роки ХХ ст. У ній реалізовані ЧРК і частотна модуляція. Ущільнення 3 і 6 каналів ТЧ виконує внутрішня апаратура П-303, 12 каналів – апаратура зовнішнього ущільнення П-302. Замість сигналів ТЧ можна передавати цифрову інформацію зі швидкостями 12, 24 і 48 кбіт/с. Потужність Прд 40 Вт, коефіцієнт шуму Прм 9–11 дБ, шумова захищеність каналів – не гірша 35 дБ упродовж 97% часу. Станція працює в 3-х діапазонах (табл. 6.2), має по 3 антени в кожному напівкомплекті. Висота антенних щогл 19,4 м. У діапазонах А і Б інтервали напіввідкриті і закриті, а тому на  $Q$  істотно впливає земна поверхня. Крім того, є високий рівень завад від цивільних РРС, що працюють в цих діапазонах. Широкі ДС свідчать про низьку завадо- і розвідзахищеність.

Таблиця 6.2

#### Характеристики РРС Р-409

Діапазон частоти, МГц	Ширина ДС, град горизонтальна / вертикальна	Коефіцієнт підсилювання антени	Кількість робочих частот	Кількість каналів ТЧ	Довжина РРЛ, км	Кількість РРС на лінії	Середня довжина інтервалу, км	Коефіцієнт шуму, дБ
А: 60–120	118–132/60–80	5	601	3	150	5	35	9
Б: 120–240	34–58/68–76	9	300	6	250	8–10	25–31	10
В: 240–480	20–34/20–42	14	300	6	250	8–10	25–31	11

РРС Р-409М існує в стаціонарному і мобільному варіантах. Транспортною базою мобільного варіанта є один автомобіль ЗІЛ-131. Антени розгортаються на майданчику 30×60 м.

*P-414* – транзисторна РРС 2-го покоління (60–70 роки ХХ ст.). Працює в діапазоні 1550–2000 МГц, що значно поліпшило її оперативно-технічні характеристики: максимальна довжина РРЛ – 1500 км, припустима кількість ретрансляцій – 36 (а по ТЧ – 3), максимальна довжина інтервалу – 40–50 км, загальна кількість каналів – 24 (із них оперативних – 21, службових – 2, для синхронізації – 1), кількість фіксованих частот – 46, швидкість пересилання цифрових сигналів по ВЧ стволу – 480 кбіт/с.

У *P-414* застосовується ЧсРК, ФІМ каналних сигналів і ЧМ ВЧ-сигналу.

Технічні параметри, що впливають на якість зв'язку: шумова захищеність каналів не менш ніж – 37 дБм, ймовірність спотворення цифрового символу не більш як  $10^{-5}$ , потужність Прд 10 Вт, зсув фіксованих частот 10 МГц, коефіцієнт шуму Прм 15 дБ, висота антенних щогл 30 м, антен – 2, ширина ДС  $8^{\circ}/14^{\circ}$ , коефіцієнт підсилення антени – 24 дБ. Тому вплив земної поверхні на якість зв'язку значно менший, ніж у *P-409М*.

Випускаються стаціонарні і мобільні станції, які, залежно від конструкції антенної щогли, можуть розташовуватися на 3 або 4-х автомашинах ЗІЛ-131.

У цілому існуючі засоби є застарілими за елементною базою і використанням сигналом.

*Перспективні комплекси РРЗ* мають відповідати таким вимогам:

- широке застосування цифрових методів передачі різноманітних повідомлень;
- автоматичне розгалуження повідомлень на вузлових станціях;
- застосування завадостійких методів кодування і модуляції сигналів;
- застосування ширококутових сигналів і сучасної елементної бази;
- освоєння сантиметрового і міліметрового діапазонів хвиль, що дасть змогу істотного розширення смуги використовуваних частот.

Цим вимогам значною мірою відповідає РРС *P-450*, що призначена для забезпечення цифрового зв'язку в стаціонарних і польових системах військового призначення. Вона дає змогу створювати канали далекої дії з пропускнуною спроможністю від 256 до 8448 кбіт/с і середньою довжиною інтервалу 35 км. Характеристики *P-450*: діапазон частот – 1,35–2,69 ГГц; кількість фіксованих частот – 10 720; модуляція – двійкова частотна з безперервною фазою (FSK2r) або чотирипозиційна фазова (QAM-4); потужність Прд – 5 Вт з ручним і автоматичним її регулюванням; стабільність частоти –  $5 \cdot 10^{-6}$ ; чутливість Прм –  $5 \cdot (10^{-12} - 10^{-13})$  Вт; коефіцієнт підсилення антени – не менш як 20 дБ; ширина головного пелюстка ДС – не більш як  $17^{\circ}$ ; потужність споживання у разі живлення постійним струмом – 150 Вт, у разі живленні змінним струмом – 180 Вт; є виходи на мідний і на волоконно-оптичний кабель; загальна маса –  $72,3 \pm 9,3$  кг; висота щогли – не менш як 20 м; довжина фідера – 40 м; габарити: приймально-передавального блоку  $49 \times 55 \times 26$  см, пульта ке-



рування  $55 \times 18 \times 21$  см, блоку живлення  $19 \times 25 \times 9$  см, антени  $88 \times 97 \times 77$  см, барабана з фідером  $29 \times 57 \times 68$  см.

Отже, перехід на сучасну елементну базу поліпшує надійність, габаритні показники РРС, приводить до зменшення кількості обслуговуючого персоналу. Задоволення решти вимог забезпечує підвищення якості зв'язку, завадо-, іміто-, розвідзахищеності.

#### 6.4. Системотехніка тропосферних ліній військового зв'язку

*Тропосферний зв'язок* – це радіозв'язок, що реалізується через відбиття та розсіювання РХ на неоднорідностях тропосфери між станціями, які перебувають поза межами прямої видимості [68].

##### Принципи побудови тропосферних ліній військового зв'язку

*Визначальні поняття.* *Тропосферний радіозв'язок (ТРЗ)* – це радіозв'язок, що використовує розсіювання і відбиття РХ від локальних угруповань (глобул) у нижній частині тропосфери.

*Тропосфера* – це суміжний з землею поверхню шар атмосфери заввишки  $\approx 10$  км (рис. 6.17), нижня частина, про яку йдеться у визначенні ТРЗ, має висоту 1–2 км (рис. 6.18). Відбиття і розсіювання РХ відбувається через неоднорідність діелектричних властивостей локальних угруповань (глобул) тропосфери, відносний рівень яких незначний і відповідно незначне відбиття і розсіювання РХ. Більша частина електромагнітної енергії, випромінюваної Прд в пункті *A* (рис. 6.18), назавжди втрачається для зв'язку. Незначна частина випромінювальної енергії досягає Прм, розташованого в пункті *B*. Через що у ТРЗ використовуються Прд з потужністю в сотні ватт – десятки кіловат, тоді як в РРЗ – потужність Прд на кілька порядків менша.

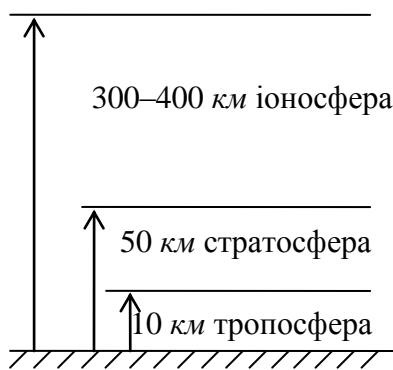


Рис. 6.17. Шари земної атмосфери

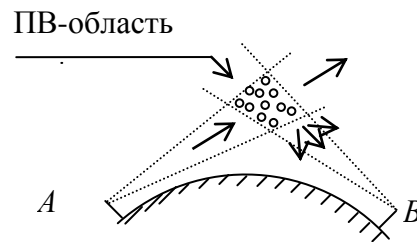


Рис. 6.18. Поширення тропосферних хвиль від передавача *A* до приймача *B*

Мала висота  $h$  перевипромінювальної області (ПВ-області, рис. 6.18) робить доцільним передавання і приймання РХ у напрямках під малими кутами

місця, в найкращому випадку – вздовж земної поверхні (рис. 6.19). При цьому відстань  $l_{\text{ДТП}}$  між пунктами  $A$  і  $B$  визначається формулою

$$l_{\text{ДТП}} = \sqrt{8Rh}, \quad (6.16)$$

де  $R = 6371$  км – середній радіус Землі. При  $h = 2$  км відстань  $l_{\text{ДТП}} = 320$  км, тобто на порядок більша ніж у РРЗ прямої видимості. Для військових застосувань це дуже важливо, тому що в бойових умовах кожну станцію треба охороняти від диверсантів.

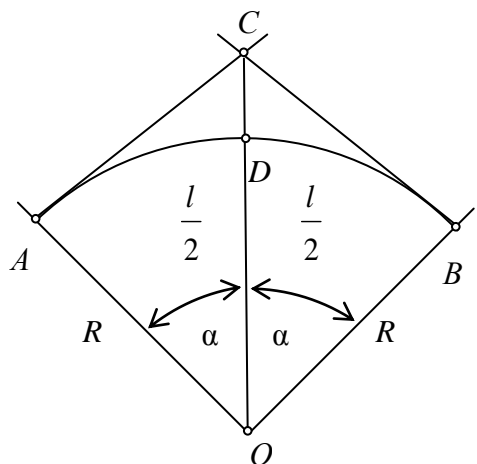


Рис. 6.19. Глобальний вигляд траєкторії ДТП радіохвиль при дотичному випромінюванні

Для роботи під малими кутами місця (кутами підвищення) необхідно використовувати гостроспрямовані антени ( $\theta =$  долі – одиниці градусів), що можливо у разі використання параболічних антен і діапазонів ДМХ, СМХ.

Перераховані риси ТРЗ визначають типові риси тропосферних станцій (ТРС), які являють собою комплекс технічних засобів для забезпечення ТРЗ.

Один комплект апаратури ТРС забезпечує, як правило, зв'язок тільки в одному напрямку (рис. 6.20). Тому для забезпечення релейності зв'язку на позиції розгортається дві ТРС, кожна з яких забезпечує дуплексний зв'язок і веде приймання і передавання на різних частотах.

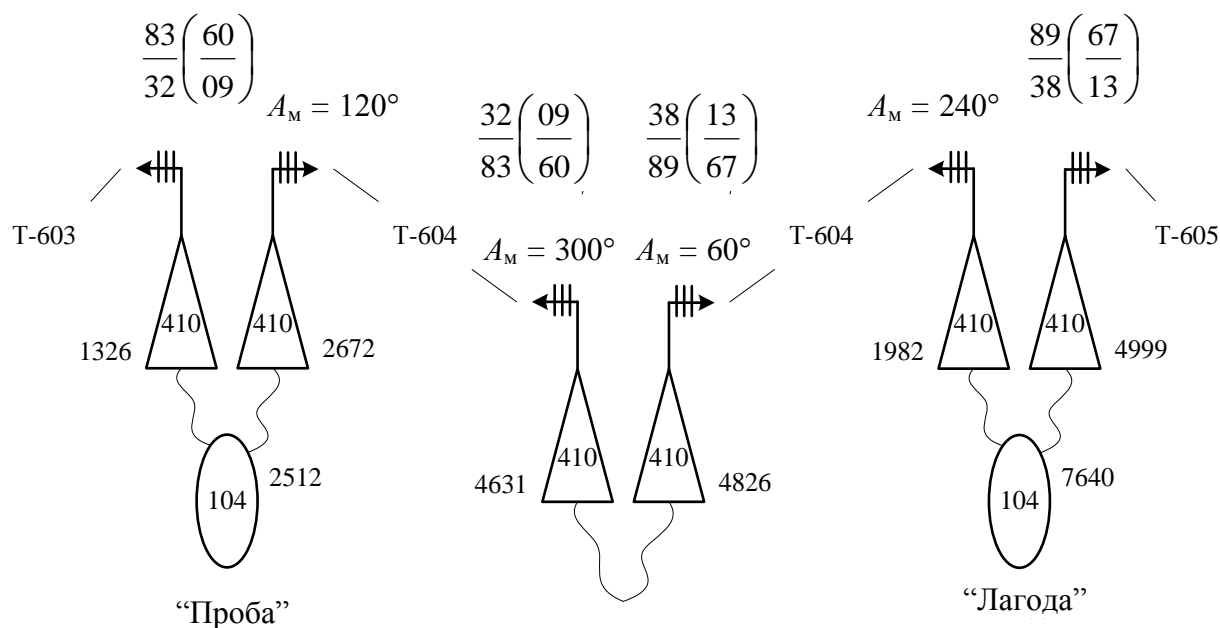


Рис. 6.20. Зображення ТРЛ

Тропосферна радіолінія (ТРЛ) складається з декількох ділянок, кожна з яких містить в собі один або декілька інтервалів. ТРЛ починається і закінчується кінцевими ТРС, ділянки обмежуються сусідніми кінцевою і вузловою ТРС або сусідніми вузловими ТРС, інтервали – сусідніми ТРС. На *рис. 6.20* показані умовні зображення траси ТРЛ (умовної лінії на топографічній карті, що поєднує позиції ТРС, з позначенням номера ТРЛ, номерів ТРС, номерів робочих частот тощо).

Явище дальнього тропосферного поширення (ДТП) УКХ було відкрите наприкінці 40-х років ХХ ст. Перші ТРЛ запрацювали у 1953 році. Нині ТРЗ є одним з основних різновидів військового і цивільного радіозв'язку. Цивільні лінії ТРЗ є, переважно, стаціонарними, військові – стаціонарними і мобільними. У 1984 році в СРСР було більше 140 ТРЛ загальною протяжністю близько 150 000 км.

Мобільні засоби ТРЗ Збройні Сили України використовують для створення інформаційних напрямків, осей і рокад зв'язку, прямих ліній і ліній прив'язки.

*Властивості ДТП радіосигналів.* Механізм ДТП пов'язаний з електричними властивостями тропосфери як газопарового середовища. Суттєвим показником є відносна діелектрична проникність  $\varepsilon' = \frac{\varepsilon}{\varepsilon_0}$ , значення якої ви-

значає коефіцієнт заломлення напрямку ПРХ  $n = \sqrt{\varepsilon'}$ . Величина  $n$  визначається температурою і тиском газів та водяних парів, які змінюються за часом і у просторі. Зручніше працювати з індексом заломлення  $N = 10^6(n - 1)$ , тому що  $n$  мало відрізняється від 1.

Фактори, які впливають на значення  $N$ , можна поділити на регулярні (середньостатистичні) і флуктуаційні. Регулярні враховуються параметрами нормативної міжнародної стандартної атмосфери і нормативної тропосфери, для якої  $N \approx 289e^{-0,136h}$ , де  $h$  – висота над рівнем моря в км. У нижніх шарах тропосфери  $\frac{dN}{dh} \cong 40 \frac{1}{\text{км}}$ . При кутах розхилу ДС  $d \approx 1^\circ$  розмір ПВ-області ста-

новить  $\approx 2,8$  км. Розрахунки показують, що в напрямку приймальної антени відбиваються долі відсотка потужності, яка потрапляє на неї, що свідчить про необхідність застосування Прд високої потужності і Прм високої чутливості.

Флуктуаційні неоднорідності проявляються у формах шарових і турбулентних угруповань. Шарові угруповання мають розміри близько 10 км по горизонталі і 100 м по вертикалі. Змінювання  $N$  в нижніх шарах набагато більше, тому важливо, щоб ПВ-область була якомога нижче. Турбулентні (вихрові) угруповання (глобули) еліпсоїдної форми розміром 30–60 м неперервно створюються з часом існування 5–7 с і руйнуються. У цих глобулах  $\Delta N = 0,1-1$ . Вони існують як між шаровими неоднорідностями, так і в їх межах.

Відбиття і розсіювання РХ у ПВ-області обумовлено наявністю неоднорідностей усіх трьох видів. Унаслідок цього сигнал у точці приймання формується як геометрична сума багатьох складових, обумовлених дією просторово розподілених елементів у ПВ-області.

Часова і просторова нестійкість цих елементів викликають флуктуації сумарної напруженості  $E$  у точці приймання (рис. 6.21) і значне спотворення сигналу (рис. 6.22, б, в). Розповзання імпульсного сигналу негативно впливає на пропускну спроможність каналу ТРЗ. Доцільність використання ТРЗ пояснюється лише однією позитивною рисою: істотним перевищенням довжини одного стрибка ТРЗ порівняно з інтервалом РРЗ.

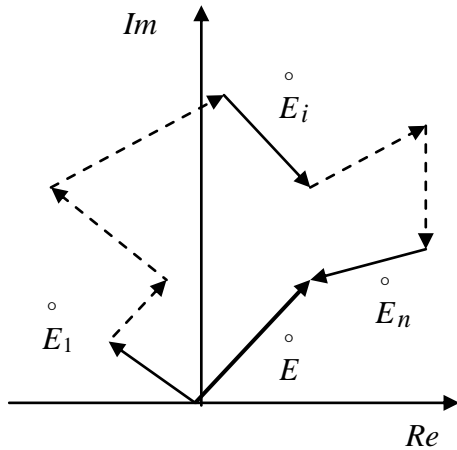


Рис. 6.21. Діаграма формування напруженості електричного поля РХ у точці приймання

Таким чином, механізм ДТП РХ призводить:

- до малої інтенсивності відбиття і розсіювання РХ, її істотної залежності від значень індексу заломлення  $N$  в межах ПВ-області. Це потребує високої потужності Прд і суворого дотримання техніки безпеки;

- до істотної спрямованості відбиття, тобто до кутової і просторової залежності інтенсивності;

- до істотної залежності інтенсивності від довжини РХ (до зменшення інтенсивності при зменшенні  $\lambda$ );

- до істотного спотворення та завмирань радіосигналів, зумовлених множинністю і нестійкістю елементів ПВ-області, їх просторовим розподілом, тобто багатоприменістю.

Зауважимо, що на інтенсивність сигналу в точці приймання, крім механізму ДТП, впливають потужність Прд, характеристики антен, коефіцієнти послаблення тропосферної радіолінії і вільного простору. Також слід зазначити, що крім часових, механізм ДТП призводить до пов'язаних з ними амплітудно- і фазо-частотних спотворень, а також до спотворень, які полягають у тому, що випромінюваний антеною поляризований сигнал стає частково поляризованим (поляризаційні спотворення). Тобто в сигналі з'являється складова, площини-

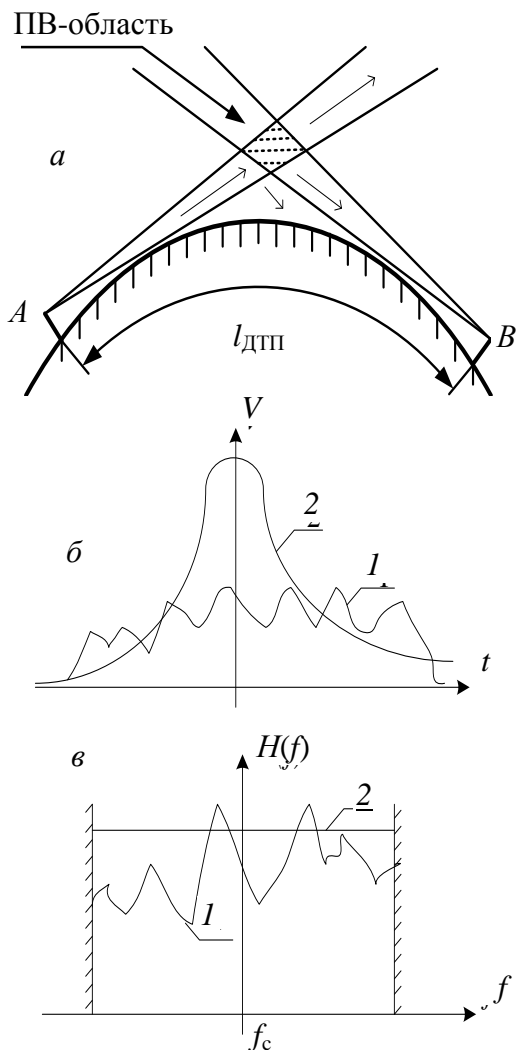


Рис. 6.22. Положення ПВ-області при ДТП (а) і часовий (б) та частотний (в) фідінг радіосигналів

на поляризації якої випадково змінюється. Приймання такого сигналу антеною, розрахованою на лінійну поляризацію ЕМХ, призводить до флуктуацій її вихідного сигналу, які більші вдень ніж вночі.

Підводячи підсумок, слід зазначити, що на принципи побудови ТРС найбільше впливає вибірковість швидкого завмирання сигналу, яка залежить: від просторового положення точок приймання; орієнтації максимумів ДС антен на ділянки ПВ-області; частоти; зсуву моментів прийняття у часі; поляризації РХ.

**Принципи побудови тропосферних радіостанцій.** Визначальну рису ТРС становить *рознесення приймання і композиція декількох прийнятих радіосигналів*, які відрізняються між собою внаслідок явища їх вибіркості. Згідно з видами вибіркості розрізняють і види рознесеного приймання: просторове, кутове, частотне, часове, поляризаційне. Кількість сигналів, які компонується при рознесеному прийманні, називають кратністю рознесення або кількістю гілок приймання “К”.

Статистичний зв’язок рознесених сигналів прийнято характеризувати коефіцієнтом кореляції (рис. 6.23) миттєвих значень їх обвідної  $U(t)$ :

$$R(x) = \frac{\int_0^T \Delta U_i(t) \Delta U_j(x, t) dt}{\int_0^T \Delta U^2(t) dt}, \quad (6.17)$$

де  $x$  – величина, за якою відбувається рознесення (просторове, кутове тощо);  $\Delta U$  – відхилення обвідних сигналу від середнього значення; дисперсія, що стоїть у знаменнику, для обох сигналів вважається однаковою.

Статистичний зв’язок обвідних  $U_i(t)$ ,  $U_j(x, t)$  вважається незначним, якщо коефіцієнт кореляції  $R(x) \leq e^{-1} = 0,37$ . Виходячи з цього, значення  $x_0$ , при якому  $R(x_0) = 0,37$ , називають радіусом кореляції. На практиці застосовують рознесення на величину  $x$ , при якій значення коефіцієнта кореляції  $0,37 < R(x) < 0,6$ .

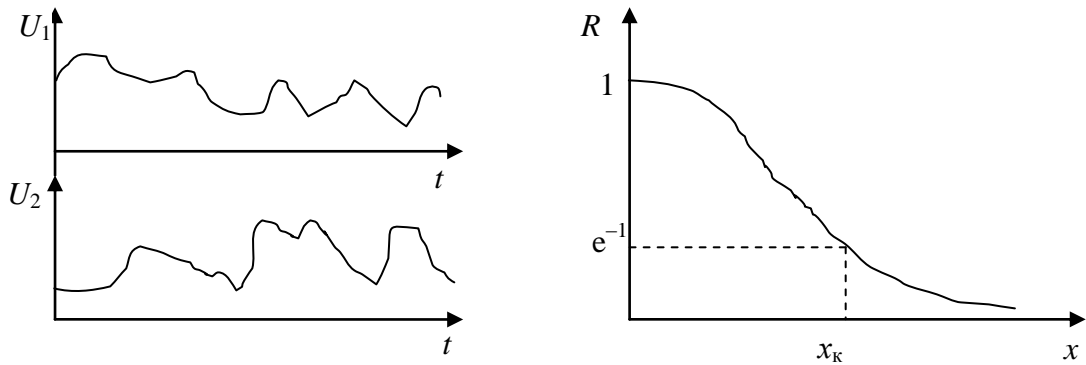


Рис. 6.23. Флуктуації обвідних сигналів  $U_1$ ,  $U_2$  при рознесеному прийманні і залежність коефіцієнта кореляції  $R$  від параметра рознесення  $x$

Застосування рознесеного приймання і композиції прийнятих сигналів поліпшує властивості каналів ТРЗ, а саме: зменшує глибину завмирань, розширює еквівалентну смугу пропускання каналу, зменшує спотворення імпульсних сигналів.

У процесі побудови ТРС найчастіше використовують просторове, частотне та кутове рознесення.

Радіус кореляції *просторового рознесення*, зображеного на рис. 6.24, а, залежить від довжини хвилі  $\lambda$  і кута розхилу  $\alpha$  ДС приймальної антени:  $l_0 \cong \alpha\lambda$ . Згідно з експериментальними даними  $l_0 = (10-70)\lambda$ . Підвищення кратності рознесення приводить до істотного зменшення глибини завмирань, але це пов'язано зі збільшенням кількості антен. Тому, як правило, кратність  $K$  просторового рознесення дорівнює 2, за рахунок чого час перебування обвідної комбінованого сигналу нижче середнього рівня обвідної сигналу зменшується з 50 до 30% (при  $K = 6$  цей час можна було б довести до 2%).

*Кутове рознесення* показано на рис. 6.24, б. Через незначні розміри ПВ-області радіус кореляції  $\Delta\beta_0 \cong 0,85^\circ$ , тому кут рознесення  $\Delta\beta_0 \cong 1^\circ$  того самого порядку, що й кут розхилу ДС антени. Два напрямки приймання (дві ДС) створюються використанням двох опромінювачів в одному параболічному рефлекторі, що (як і частотне рознесення) забезпечує економію в створенні антенної системи.

*Частотне рознесення* полягає в тому, що первинний сигнал передається не менш як двома радіосигналами з різними несучими частотами. Різниця між частотами має перевищувати радіус частотної кореляції. При цьому відбувається зменшення флуктуацій частотних характеристик комбінованого сигналу. Відомо, що при кратності частотного рознесення  $K_f = 4$  ширина смуги загального тропосферного каналу збільшується приблизно з 1 до 7 МГц, а максимальна становить 10 МГц. Це означає, що швидкість передавання цифрових даних може досягти 10 Мбіт/с.

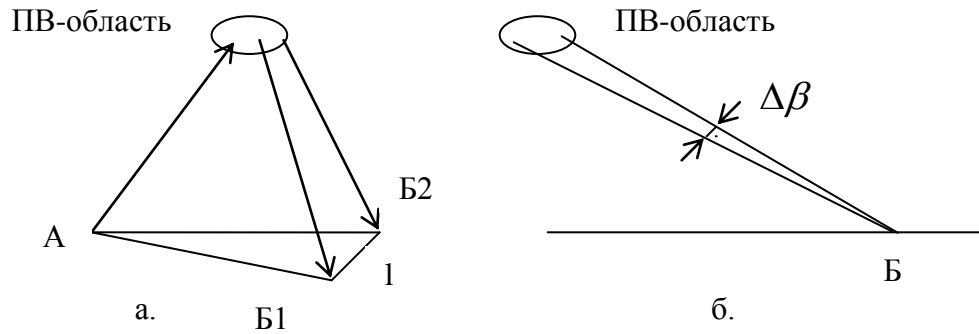


Рис.6.24. Просторова (а) і кутова (б) вибірковості сигналів ДТП

У сучасних системах ТРЗ кратність рознесення становить 2–8. Для забезпечення дуплексного зв'язку з рознесенням приймання в кожній ТРС використовується:

- при просторовому рознесенні з  $K = 2$  – дві антени і дві частоти: одна для передавання друга для приймання;
- при частотному рознесенні з  $K_f = 2$  – одна антена, 4 частоти (2 на передавання, 2 на приймання);
- при частотно-просторовому рознесенні з  $K = 4$  – дві рознесені антени і 4 частоти (2 на передавання і 2 на приймання).

*Методи аналізу і композиції рознесених сигналів.* Побудова ТРС з рознесеним прийманням радіосигналів передбачає виконання функцій аналізу і сполучення (композиції) сигналів різних гілок для реалізації переваг декількох сигналів над одним. Ці функції виконує аналізатор і суматор, які показані на рис. 6.25, для просторового і частотного рознесення з  $K = 2$ .

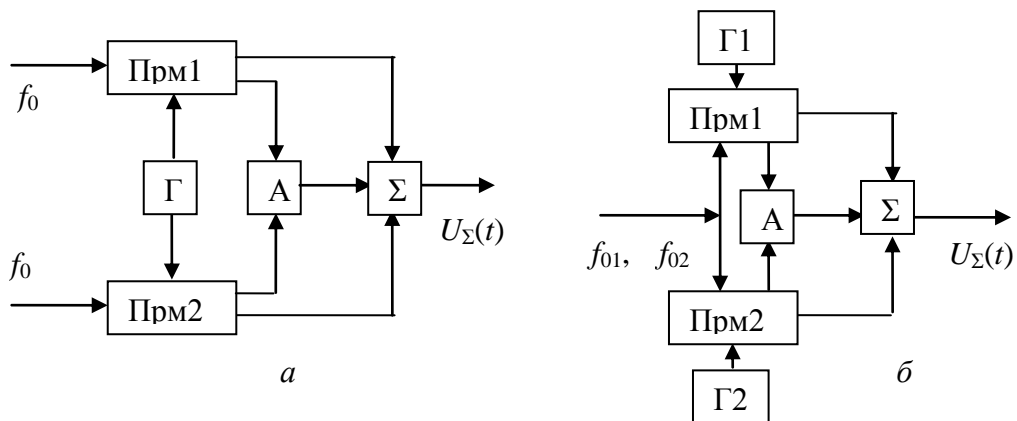


Рис. 6.25. Структурні схеми приймачів ТРС при просторовому (а) і частотному (б) рознесеному прийманні

При просторовому рознесенні сигнал надходить від двох антен (рис. 6.25, а) на однаковій частоті, тому в схемі використовують один гетеродин.

При частотному рознесенні сигнал надходить від однієї антени (рис. 6.25, б), але на двох частотах, тому в схемі використовують два гетеродини.

Проміжні частоти обох Прм в кожній схемі однакові.

Сигнали від Прм надходять на аналізатор і суматор. Аналізатор порівнює властивості сигналів і залежно від цього керує роботою суматора.

У суматорі відбувається зважене підсумовування сигналів за формулою

$$U_{\Sigma}(t) = \sum_{i=1}^K a_i(t) U_i(t), \quad (6.18)$$

де  $K$  – кратність рознесення;

$a_i(t)$  – ваговий коефіцієнт  $i$ -го сигналу.

Відомі три методи комбінування сигналів:

1) автоматичний вибір, при якому в поточний момент на вихід пропускається найбільший сигнал, завдяки тому, що для решти сигналів  $a_i(t) = 0$ ;

2) лінійне додавання, коли  $a_i(t) = A = \text{const}$  для всіх  $i = 1, \dots, k$ . Тоді на виході отримують суму сигналів;

3) квадратичне додавання, коли  $a_i(t) = q U_i(t)$  при  $q = \text{const}$ . Тоді на виході

$$U_{\Sigma}(t) = q \sum_{i=1}^K U_i^2(t). \quad (6.19)$$

Кращим за виграшем у відношенні потужностей сигнал / шум на виході і входах суматора виявився третій метод, тому його ще називають методом оптимального додавання. Ці виграші наведено в табл. 6.3.

Таблиця 6.3

#### Характеристика методів обробки сигналів

Виграш від обробки:	Кратність $K$		
	2	4	8
– при автоматичному виборі	1,8	3,2	4
– при лінійному додаванні	2,5	5,2	8
– при квадратичному додаванні	3	6	9

**Сучасні та перспективні станції і комплекси тропосферного зв'язку.**  
Системотехнічними характеристиками засобів ТРЗ є достовірність і надійність.

Достовірність характеризується шумовою захищеністю  $A = \left( \frac{P_c}{P_{\text{ш}}} \right)_{\text{вих}}$ , від якої залежить ймовірність помилки в прийманні елемента ЦС

$$P_{\text{пом}} = \frac{n_{\text{пом}}}{n}. \quad (6.20)$$



Надійність визначається відносною частиною часу, впродовж якого забезпечується зв'язок із заданим показником якості. У ТРЗ надійність визначають за завмиранням

$$H = \frac{\tau - \tau_3}{\tau},$$

де  $\tau$  – загальна тривалість зв'язку;

$\tau_3$  – час, впродовж якого завмирання опускались нижче рівня, за яким вже не забезпечуються задані показники достовірності ( $10^{-3}$ – $10^{-4}$ ).

*Покоління військових засобів ТРЗ.* За 50 років у світі створено 4 покоління ТРС.

Для *1-го покоління* (50-і роки ХХ ст.) характерні: електровакуумна база і дискретна транзисторна техніка; аналогові сигнали; частота  $f$  – сотні МГц, ширина смуги пропускання  $\Pi_{0,7}$  – доли МГц; потужність випромінюваних сигналів  $P_{\text{п}} \leq 10$  кВт; лінійні розміри антен  $d_{\text{ант}} \cong 10$  м; ТРС стаціонарні або важко рухомі; область застосування – СЛУ.

Для *2-го покоління* (60-і роки ХХ ст.) характерні: інтегральні мікросхеми;  $f \cong 5$  ГГц;  $\Pi_{0,7} = 1$ – $2$  МГц; ЦС;  $P_{\text{п}} \cong 1$  кВт; оптимальні методи приймання; створення легких і середніх рухомих ТРС; область застосування – ОТЛУ і ТЛУ. У США експлуатувались до початку 90-х років; у Збройних Силах України використовуються донині.

Для *3-го покоління* (70–80 роки ХХ ст.) характерні:  $\Pi_{0,7} \approx 10$  МГц; застосування великих інтегральних схем, адаптивного (до часових змін ПВ-області) приймання; використання ортогональних сигналів, ФМ замість ЧТ; поглиблення уніфікації і модифікацій однієї базової апаратури (наприклад, AN/TRC-170 у США); область застосування – всі ланки управління.

*4-те покоління* створене на межі ХХ і ХХІ століть. Воно відповідає вимогам відкритих інтегрованих систем зв'язку, зокрема, автоматизованих систем ВЗв. Якщо перші три покоління відрізнялись властивостями фізичних каналів, то 4-те покоління – принципами управління потоками даних в каналах.

Тактико-технічні характеристики 3-х модифікацій (легкої, середньої, важкої) ТРС 3-го покоління AN/TRC-170:  $f = 4,4$ – $5$  ГГц;  $l_{\text{инт}} = 160$ – $340$  км;  $P_{\text{п}} = 2; 2,2; 2,6,6$  кВт; коефіцієнт підсилення антени  $G = 41$ – $45$  дБ;  $d_{\text{ант}} = 2,85$ – $4,5$  м; кратність  $K = 2$  і  $4$ ;  $V = 2048$  кбіт/с; каналів по  $32$  кбіт/с:  $8, 16, 32, 48, 64$ .

*Вітчизняні засоби ТРЗ* складаються зі станцій двох поколінь: другого (станції сімей Р-410 і Р-412) і третього (станції типу Р-423). ТРС Р-410 працюють в середині діапазону ДМХ, обслуговують ОЛУ, ОСЛУ і СЛУ. ТРС Р-412 працюють в середині діапазону СМХ, обслуговують ТЛУ, ОТЛУ, ОЛУ. ТРС Р-423 працює в діапазоні СМХ, може обслуговувати всі ланки управління.

Враховуючи сучасний стан оснащення частин зв'язку, основна увага приділяється ТРС Р-410 і Р-412, в яких застосовують по 2 параболічні антени,

просторове і поляризаційне рознесення з кратністю  $K = 4$ . ТРС Р-410 і Р-412 випромінюють один вид поляризації, а приймають два – вертикальну і горизонтальну. Деякі ТТХ наведені в табл. 6.4.

Станції сім'ї Р-410 можуть працювати в одноствольному (основному) режимі і двоствольному режимі (аварійному, з меншою якістю), в якому застосовується частотне і поляризаційне рознесення ( $K = 4$ , частот 4). У двоствольному режимі забезпечується в два рази більше каналів, ретрансляція забезпечується однією ТРС замість двох. Один ствол застосовується в одному напрямку другий – у другому.

Способи комбінування сигналів у станцій сімей Р-410 і Р-412 різні. У Р-412 квазіоптимальне комбінування змінюється автовибором, якщо потужності від-різняються на 6–8 дБ. Все відбувається в один етап на проміжній частоті. У Р-410 – у 2 етапи: спочатку на проміжній частоті виконується лінійне додавання та автовибір для сигналів однієї поляризації, на другому етапі (після детектування) відбувається квазіоптимальне додавання сигналів різних поляризацій.

Таблиця 6.4

#### Характеристики тропосферних радіостанцій

Тактико-технічні характеристики	Типи ТРС	
	Р-410М-5,5; -7,5; -10	Р-412Ф; А; Б
$L$ ТРЛ, км	1100; 1500; 1500	560; 560
$l_{\text{нт}}$ , км	140; 150; 150	150; 150; 120
Максимальна кількість інтервалів	8; 10; 10	4; 4; 1
$d$ дзеркальної антени, м	5,5; 7,5; 10	2,5; 2,5; 2,1
$G$ , дБ	26; 29; 30	38; 38; 36
$\theta$ , град	6×8; 5×7; 4×5	2; 2; 2,5
Припустимий кут закриття, град	0; 0,3; 0,4	0; 0; 0
Висота підняття антени, м	20; 10; 7,5	20; 4; 3

У Р-410 застосовується ЧРК-ЧМ. Для ущільнення використовується апаратура П-302 з відстані до 15 км.

У Р-412 застосовується ЧРК-ЧМ або ЧТ. Для ущільнення використовується апаратура П-303-06, що входить до складу Р-412.

У табл. 6.5 порівнюються характеристики ТРС 2-го і 3-го поколінь, наводяться відомості про транспортну базу і мобільність ТРС.

На закінчення відзначимо таке:

Позитивною рисою ТРЗ є велика протяжність інтервалу, а негативною – спотворення сигналів і необхідність високої потужності Прд. Узгодження цих рис можливе на шляху адаптації ТРС до поточного стану ПВ-області.

Таблиця 6.5

#### Порівняльна характеристика ТРС

Тактико-технічні	Типи ТРС
------------------	----------

характеристики	P-410M 5,5 і 7,5	P-412	P-423
$P_{0,7}, MГц$	1,5±0,3	0,154	10
Кількість каналів оперативних / службових	12/2	3; 6/1	18/2
$V, кбіт/с$	–	48	2048
Шумова захищеність, дБм / ймовірність спотворень	30/10 <sup>-3</sup>	31/10 <sup>-3</sup>	–/10 <sup>-4</sup>
Потужність Прд, Вт	650	600	1500
Коефіцієнт шуму Прм	3	6,3	3,7
Кількість автомобілів / причепів	8/4	2; 3/0	–
Час розгортання, год	2; 3	0,5; 1,65	–
Екіпаж, осіб	9	5; 7	2

В арміях технічно розвинутих держав ТРС використовуються залежно від потреб як засоби ТРЗ чи як засоби РРЗ.

Радіозв'язок, радіорелейний і тропосферний зв'язок є важливими різновидами реального ВРЗв Збройних Сил України.

## 6.5. Системотехніка ліній супутникового радіозв'язку

**Терміни і визначення.** Перш за все, визначимося з термінами: космічний і супутниковий радіозв'язок. Згідно з Державним стандартом України [16] *космічним* називають радіозв'язок, при якому використовують один чи кілька пасивних супутників чи інші космічні об'єкти.

*Супутниковий радіозв'язок* – це космічний радіозв'язок між двома чи кількома земними пунктами. Отже, супутниковий радіозв'язок – це різновид (окремий випадок) космічного радіозв'язку, який точніше віддзеркалює явище, що розглядається.

*Система супутникового зв'язку (ССЗ)* – це сукупність радіоелектронних засобів, які рознесені у просторі та забезпечують передавання інформації між земними станціями (ЗС) за допомогою ретрансляторів, розміщених у космічних апаратах (супутниках).

До складу ССЗ входять:

- ЗС супутникового зв'язку;
- супутники-ретранслятори (СР), тобто штучні супутники Землі (ШСЗ) зі встановленими на них ретрансляторами;
- ЗС системи контролю та керування ШСЗ, яка контролює їх стан та керує функціонуванням ретрансляторів і всіма іншими підсистемами ШСЗ;
- координаційна станція – тобто станція, яка координує роботу різних служб мережі супутникового зв'язку.

Функціонування ССЗ забезпечують ракетно-космічний і командно-вимірювальний (КВК) комплекси. Ракетно-космічний комплекс забезпечує виведення супутників зі стартового майданчика космодрому на орбіти, віднов-

лення угруповання супутників. КВК визначає параметри орбіт супутників і видає цілевказання ЗС. Класифікація ССЗ і елементів цієї системи можлива за такими ознаками:

– за сферою обслуговування – комерційні і державні, у тому числі цивільні і військові ССЗ;

– за масогабаритними характеристиками ЗС – важкі, середні, легкі і портативні ЗС;

– за розміщенням ЗС – стаціонарні (фіксовані) і рухомі (мобільні) ЗС;

– за масою супутників – малі (до 1000 кг) і великі (більше 1000 кг) супутники;

– за типами орбіт супутників – із круговими орбітами (у тому числі, з високими геостаціонарними орбітами (висота  $H \cong 36$  тис. км), з середньовисотними орбітами ( $H \cong 5$ – $20$  тис. км), з низьковисотними орбітами ( $H \cong 700$ – $1500$  км)) і з високоеліптичними орбітами (з перигеєм на висотах сотень кілометрів і апогеєм на висотах десятки тисяч кілометрів);

– за способом поділу каналів – з частотним, часовим, кодовим, просторовим, поляризаційним і комбінованим поділами;

– за способом ретрансляції сигналів – пасивні й активні, у тому числі зі здійсненням сеансу зв'язку у реальному часі чи з затримкою.

Супутникова ретрансляція може бути пасивною (за допомогою відбивача) і активною. Активні ретранслятори набули значно більшого поширення. Існують активні ретранслятори з негайною ретрансляцією (коли обидва абоненти перебувають одночасно в зоні видимості) і з затриманою ретрансляцією шляхом накопичення інформації і подальшого її скидання (коли ця умова не виконується). Остання може виявитись доцільною у разі застосування низьковисотної орбіти ШСЗ. Затримана ретрансляція відрізняється простішим устаткуванням, меншою необхідною потужністю Прд, але для її реалізації необхідно мати на борту запам'ятовуючий пристрій.

Візьмемо цю класифікацію за основу і надалі за потреби доповнюватимемо її.

**Особливості побудови ССЗ.** Основними елементами ССЗ є радіостанції, що розташовані в пунктах, між якими встановлюється радіозв'язок і супутниковий ретранслятор. При цьому лінія зв'язку між кореспондентами розділяється на дві радіолінії, що з'єднуються ретранслятором.

Ряд СР рухається на орбітах заввишки  $\cong 35\,875$  км, тому діаметри радіоплям на земній поверхні, в межах яких можна підтримувати зв'язок через такий СР, може досягати 17 000 км. Це дає змогу передавати інформацію практично на будь-яку відстань і у важкодоступні райони, організувати зв'язок у будь-якому напрямку, швидко маневрувати напрямками зв'язку, зробити вартість каналу зв'язку незалежною від відстані між ЗС. Використання діапазонів дециметрових і сантиметрових хвиль (ДМХ і СМХ) значно послаблює залежність якості зв'язку від часу доби, року та атмосферних завад, забезпе-

чує високу пропускну спроможність, надійність зв'язку, можливість створення гостроспрямованих антен, низький рівень природних завад, сприятливі умови ПРХ, високу ефективність радіоканалів (мінімум витрат енергії на передачу одиниці інформації).

ССЗ є повнодоступною, тобто дає змогу встановлювати безпосередній зв'язок між усіма абонентами мережі без транзиту через проміжні пункти і вузли, окрім СР. Це значно скорочує кількість необхідних радіоліній: з  $\frac{N(N-1)}{2}$  на випадок наземної повнодоступної мережі зв'язку (НПМЗ (рис. 6.26))

до  $N$  – на випадок супутникової повнодоступною мережі зв'язку (СПМЗ), де  $N$  – кількість абонентів [25].

*Характеристики орбіт супутників* [25].

Траєкторія руху супутника складається з активних ділянок і ділянок вільного польоту, або орбіт. Активними є ділянки, на яких працює двигун ракети-носія або маневровий двигун супутника. На орбіту навколо Землі супутник виходить після досягнення ракетою-носієм першої космічної швидкості. *Орбіта* – це ділянка траєкторії, на якій двигуни вимкнуті, і супутник рухається за законами небесної механіки під дією інерційних і гравітаційних сил.

Ці сили діють у площині, яка проходить через центр тяжіння Землі. Тому площина орбіти теж проходить через цей центр, залишаючись нерухомою щодо віддалених зірок. Кут  $i$  між площиною орбіти і площиною земного екватора називається *нахиленням орбіти*. Орбіта має форму еліпса (зокрема, кола), характеристиками якого є велика піввісь  $a$  та ексцентриситет  $e$ . Найвища точка орбіти відносно поверхні Землі називається *апогеєм*, найнижча – *перигеєм*. Для прогнозування траєкторії руху супутника відносно Землі необхідними елементами є також аргумент перигею  $\omega$ , довгота висхідного вузла  $\Omega$  (тобто точки перетину орбітою площини екватора під час руху з півдня на північ) і час  $\tau$  проходження супутником перигею. При цьому  $i$ ,  $\Omega$ ,  $\omega$  визначають положення площини орбіти у просторі відносно Землі, а  $a$ ,  $e$ ,  $\tau$  дають змогу визначити положення супутника на цій орбіті в поточний момент часу  $t$ . Сукупність шести параметрів, що дають змогу визначити траєкторію руху супутника відносно Землі на ділянці вільного польоту, називають *кеплеровими елементами* (ефемеридами) орбіти. Використовують і інші сукупності величин як ефемериди, наприклад, координати і складові швидкості СР на відомий момент часу.

Залежно від кута нахилення орбіти можуть бути екваторіальними ( $i = 0^\circ$ ), полярними ( $i = 90^\circ$ ) і нахиленими. Нахилені орбіти можуть бути прямими ( $0 < i < 90^\circ$ ) і зворотними ( $90 < i < 180^\circ$ )

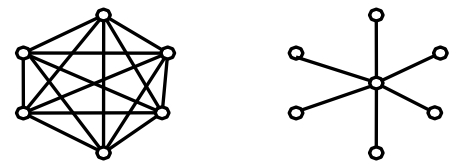


Рис. 6.26. Наземна (НПМЗ) і супутникова (СПМЗ) повнодоступна мережа зв'язку

У ССЗ застосовують високоеліптичні орбіти (з висотою перигею у сотні кілометрів і з висотою апогею десятки тисяч кілометрів) і кругові орбіти. Кругові орбіти бувають низьковисотними (висота  $700 \leq h \leq 1500$  км), середньовисотними ( $5000 \leq h \leq 20\,000$  км) і високими ( $h \cong 30 - 40$  тис. км).

Якщо період руху супутника на орбіті становить добу, то така орбіта називається синхронною. Якщо нахилення синхронної орбіти дорівнює нулю, то її називають геостаціонарною, оскільки супутник на такій орбіті є нерухомим щодо поверхні Землі. Його висота становить 35 875 км, а проекція на земну поверхню розташована на екваторі. Застосування таких орбіт в ССЗ дуже поширене, оскільки вони забезпечують великі розміри зони видимості і сприятливі умови спостереження за СР з наземних, морських і навколосемних пунктів. Поряд з геостаціонарними використовуються й інші види орбіт супутників зв'язку.

*Принцип здійснення ССЗ.* Нехай необхідно забезпечити дуплексний зв'язок між пунктами А і Б за відсутності прямої видимості між ними (рис. 6.27).

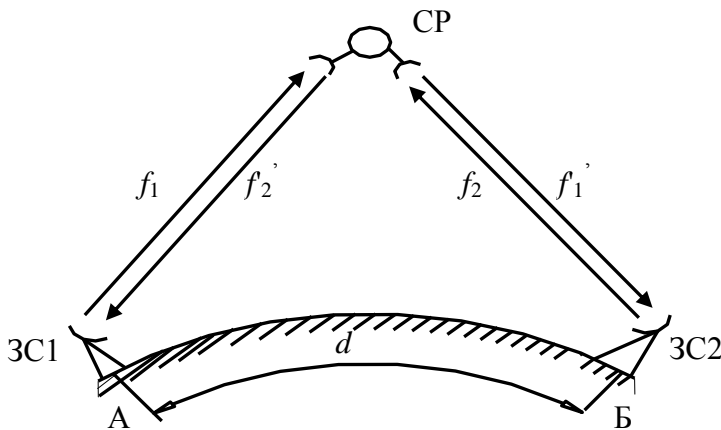


Рис. 6.27. Однострибкова ССЗ

Тоді в цих пунктах встановлюються земні приймально-передавальні станції ЗС1 і ЗС2. На навколосемну орбіту виводиться СР, на борту якого розміщена апаратура ретрансляції сигналів.

Радіосигнал від ЗС1 на частоті  $f_1$  передається у бік СР, ретранслюється апаратурою супутника і приймається ЗС2 на частоті  $f_1'$ . Пересилання сиг-

налів від ЗС2 до ЗС1 відбувається аналогічно, але на частотах  $f_2$  і  $f_2'$ . Поділ сигналів може здійснюватися не тільки за частотою, а й за часом, поляризацією, простором (напрямком). ЗС можуть розташовуватись на стаціонарному чи мобільному наземному об'єктах, на морських кораблях, літаках, вертольотах, автомашинах, у ранцях тощо. Їх називають станціями супутникового чи космічного зв'язку. Обладнання, що змонтоване на борту супутника і забезпечує ретрансляцію сигналів між ЗС або супутниками, називається супутниковим ретранслятором.

Апаратура ЗС1 і ЗС2, ретранслятор супутникового зв'язку, а також області простору ПРХ складають радіолінію супутникового зв'язку, яка може бути однострибковою і багатострибковою (за кількістю ретрансляцій сигналу).

Для керування військами найпоширенішою стала активна негайна (без затримки) ретрансляція. Однострибкова активна негайна ретрансляція здійснюється при одночасній радіовидимості СР з обох ЗС. Її достоїнства: забезпе-

чення зв'язку в реальному масштабі часу, нижчі вимоги до потужності Прд і чутливості Прм ЗС (порівняно з пасивною ретрансляцією), що спрощує апаратуру ЗС. Її недоліки: нижча завадо- і протирозвідкова захищеність, схильність до впливу завад і складність апаратури СР. Проте найпоширенішою стала активна негайна ретрансляція, тому зосередимо на ній увагу.

*Особливості супутникового зв'язку*, що визначають принципи побудови апаратури:

- необхідність спостереження антеною ЗС за супутником і орієнтації антен супутника на визначені райони земної поверхні;

- підвищені вимоги до надійності, живучості й автоматизації роботи супутникової апаратури, що працює в складних умовах (вакуум, відведення тепла, космічні випромінювання, без доступу людини);

- ослаблення і затримка сигналу через великі відстані, зсув спектра за наявності переміщень СР відносно ЗС, дисперсійні і поляризаційні спотворення сигналу в атмосфері;

- необхідність реалізації режиму багатостанційного доступу для ефективного використання системи зв'язку;

- можливість радіозв'язку через СР на  $f > 100 \text{ МГц}$ .

Терміни, що використовуються в супутниковому зв'язку [25].

*Зона видимості* супутникового ретранслятора (ЗВСР) – це область земної поверхні, у межах якої забезпечується спостереження СР під кутом місця, що перевищує мінімально допустиме значення, наприклад  $5^\circ$ . Розміри зони видимості залежать від висоти супутника над поверхнею Землі. Для геостационарних супутників її діаметр наближується до 17 000 км, а геоцентричний кут  $\cong 150^\circ$  (рис. 6.28).

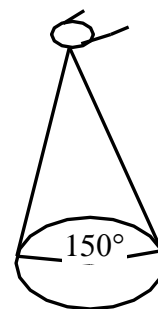


Рис. 6.28. Зона видимості супутникового ретранслятора

*Зона покриття космічної станції* – це частина поверхні Землі, у межах якої за певних умов може бути встановлено радіозв'язок з однією чи кількома передавальними, приймальними чи приймально-передавальними ЗС. Її розміри, крім геометрії, визначаються потужностями Прд, чутливостями Прм і коефіцієнтами підсилення антен.

*Зона обслуговування космічної станції* – це частина поверхні Землі, у межах якої приймання радіомовлення чи робота лінії радіозв'язку захищені від завад угодами відповідно до міжнародних правил. У цій зоні забезпечується необхідне перевищення рівня корисних сигналів над рівнем завад, створюваних іншими радіосистемами того ж частотного діапазону. На розміри цієї зони, крім геометрії й енергетики, впливає вибір сигналів, методів кодування і модуляції.

*Супутник-ретранслятор повинний:*

- перебувати у заданий час у необхідній області простору для забезпечення зв'язком ЗС;

- забезпечувати правильну орієнтацію бортових антен для створення необхідної енергетики у радіолінії;
- приймати, запам'ятовувати і передавати повідомлення з обробленням сигналу, за потреби, на борту супутника;
- приймати і виконувати команди управління.

Ретрансляція сигналів супутником полягає в прийманні слабких сигналів від земної станції, перетворенні їх частоти і підсиленні до рівня, при якому буде можливе його приймання іншою земною станцією.

Часто перетворення необхідне для розв'язання трактів Прм і Прд ретранслятора, щоб уникнути внутрішніх завад радіоприймання.

Для забезпечення високої пропускнуєї спроможності ретранслятор має бути широкосмуговим, а для зниження внутрішньосистемних завад – високочастотним. З урахуванням наявності перетворення частоти це дуже суперечлива вимога, для задоволення якої на борту зв'язкового супутника створюють не один, а кілька приймально-передавальних трактів, кожен з яких забезпечує роботу у визначеній частині загальної смуги частот. Приймально-передавальний тракт, в якому радіосигнал проходить через спільні підсилювальні елементи оброблення сигналу, називається *стволом* [25] або транспондером. Є супутникові ретранслятори, що містять десятки стволів.

У сучасних ССЗ реалізується принцип багаторазового використання однієї і тієї самої частини смуги частот, що досягається за допомогою поляризаційної, просторової та інших видів селекції. Так у межах смуги частот, що займана стволем, формуються канали з право- і лівосторонньою круговою поляризацією (що забезпечує розв'язку в 20–30 дБ) і канали, які закріплені за різними променями гостроспрямованих антен.

Спрощена структурна схема ретранслятора зображена на *рис. 6.29* [25]. Він оснащений кількома антенами, які забезпечують формування ДС, що покривають усю видиму частину земної поверхні чи окремі регіони.



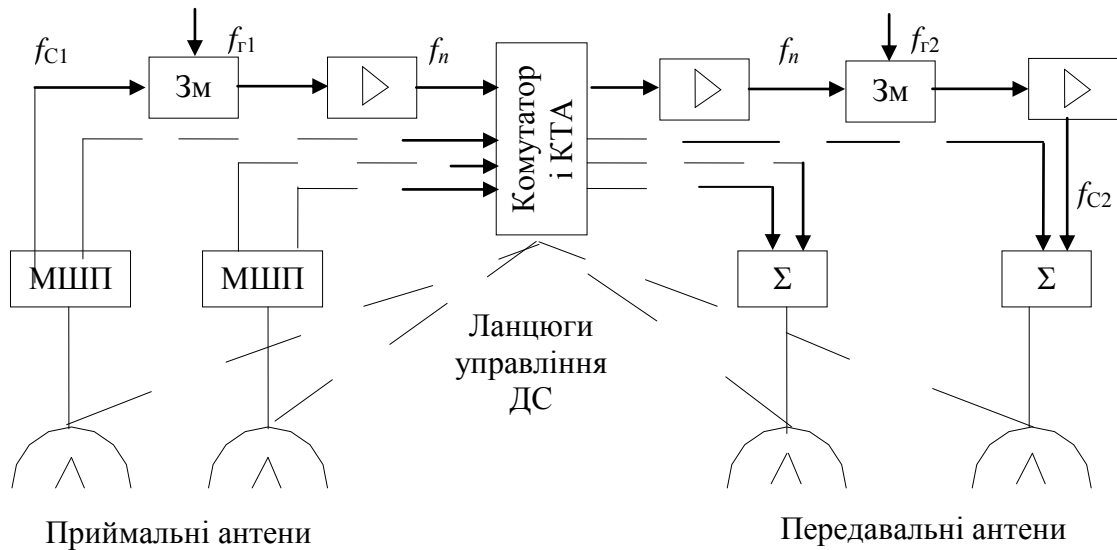


Рис. 6.29. Структурна схема супутникового ретранслятора

Прийняті сигнали підсилюються в малошумких підсилювачах (МШП), перетворюються за частотою у змішувачах, після яких здійснюється основне підсилення за проміжною частотою і за частотою випромінюваних коливаний. Важливими елементами є пристрої поділу, комутації й об'єднання сигналів.

При цьому пакети повідомлень направляються на ті антени, ДС яких орієнтовані на необхідну частину земної поверхні.

Зазвичай зв'язкові супутники обладнуються системами тривісної стабілізації і системами управління орієнтацією ДС щодо осей супутника.

*Основні діапазони і смуги частот супутникового зв'язку.* Зі збільшенням частоти несучих коливаний зростає ємність і пропускна спроможність систем зв'язку, підвищується спрямованість антен, послаблюється вплив атмосфери на ПРХ. Винятком є частоти  $f > 10$  ГГц, на яких поглинання, особливо гідрометеорами, збільшується. Але часто воно нетривале, а переваги вищих частот настільки великі, що це привело до просування в область ще вищих частот. Існують ССЗ, що працюють на  $f = 60$  ГГц ( $\lambda = 5$  мм, п. 9.2).

МККР виділив для супутникового зв'язку більш ніж 50 смуг у діапазоні від 235 МГц до 275 ГГц [25].

У літературі допускається коротке позначення діапазону уверх/униз, наприклад, 1,6/1,5 ГГц – для рухомої служби, 6/4 ГГц – для фіксованої служби.

*Багатостанційний доступ в ССЗ.* Принцип роботи ССЗ полягає у передаванні сигналів від однієї або кількох ЗС в сторону СР і наступної їх ретрансляції СР іншим ЗС цієї системи. Тому для ССЗ важливими є питання багатостанційного доступу і розподілу каналів [25].

Розробляючи ССЗ, велику увагу приділяють підвищенню пропускної спроможності, повноті завантаження ретранслятора, надійності і швидкості встановлення зв'язку. У розв'язанні цих завдань важливу роль теж відіграє багатостанційний доступ.

Розглянемо принципи багатостанційного доступу на прикладі системи зв'язку, що складається із СР і земних приймально-передавальних станцій (рис. 6.30). Між ЗС підтримується дуплексний зв'язок. Під час ретрансляції сигнали кожної ЗС проходять через СР в одному напрямку: від приймальної антени ( $A_{\text{Прм}}$ ) через Прм і Прд до передавальної антени ( $A_{\text{Прд}}$ ). Таке саме проходження сигналу зберігається за наявності на СР однієї антени, з'єднаної з Прм і Прд через дуплексер.

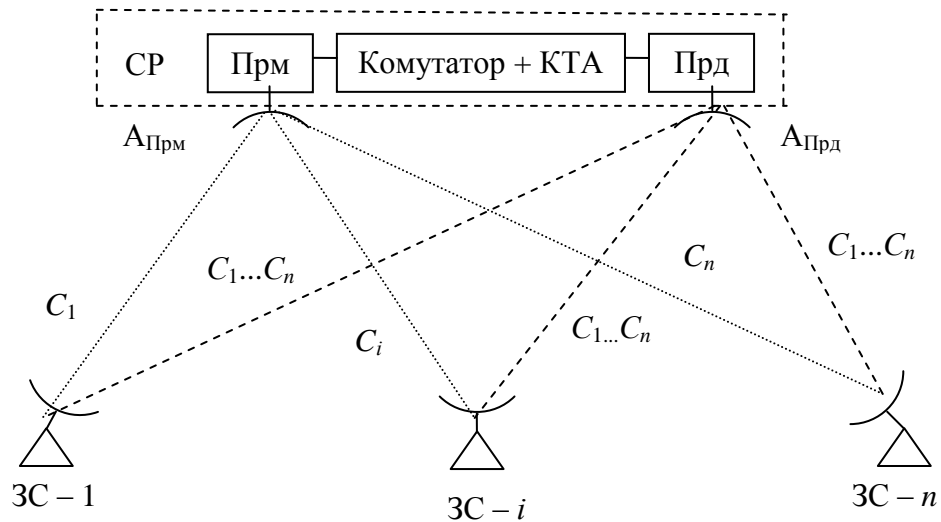


Рис. 6.30. Багатостанційний доступ в ССЗ

Таким чином, у ретрансляторі сигнали всіх ЗС поєднуються, утворюючи багатостанційний сигнал, що проходить від  $A_{\text{Прм}}$  до Прм, перетворюється і підсилюється в ньому, перетворюється і підсилюється в Прд і надходить на  $A_{\text{Прд}}$ . Апаратура й устаткування СР (антени, фідери, елементи Прм і Прд), що забезпечують приймання, перетворення, підсилення і передавання всього багатостанційного сигналу, складають багатостанційний тракт.

Багатостанційний тракт зазвичай розділений на частини, кожна з яких забезпечує передавання частини багатостанційного сигналу. Комплект апаратури, який забезпечує ретрансляцію частини багатостанційного сигналу, що містить в собі сигнали декількох ЗС, прийнято називати *стволом* (транспондером) *ретранслятора*, а ретрансльований ним сигнал – *сигналом ствола*. Така побудова підвищує пропускну спроможність і стійкість ССЗ.

Для ослаблення взаємних завад сигнали повинні відрізнятися за будь-якими характеристиками (формою, частотою, часом приходу (випромінювання), поляризацією, напрямком приходу (випромінювання)). Відповідно до цього розрізняють багатостанційні доступи з кодовим (БДКР), частотним (БДЧР), часовим (БДЧСР), поляризаційним та просторовим розподілом сигналів. Основними є БДЧР, БДЧСР, БДКР, але використовуються також ком-

бінації різних методів, наприклад, з частотно-часовим, частотно-поляризаційним і частотно-просторово-поляризаційним розподілом каналів.

Таким чином, *багатостанційний доступ* – це така організація роботи ССЗ, яка забезпечує зв'язок між великою кількістю кореспондентів і ефективно використання часових і частотно-енергетичних ресурсів системи при заданій якості функціонування (див. п. 4.6).

Багатостанційний доступ може відрізнятися способом надання ресурсів СР (частотних, часових, енергетичних) ЗС.

На практиці поширеними стали такі методи надання ресурсів: постійне закріплення каналів за абонентами, вільний доступ, надання каналів за вимогою.

У разі закріплення частотних каналів чи часових субкадрів за абонентами іншим абонентам вони не призначаються. Такий метод доцільний при сталості і стабільності інформаційних потоків у каналах.

Вільний доступ організується через посилення повідомлень в довільні моменти часу або на початку визначених часових інтервалів. Якщо відбувається накладка посилення від декількох абонентів, то вони через ретранслятор не проходять, і абоненти змушені повторювати передачу.

У разі надання каналів за вимогою ресурси ретранслятора розподіляються між абонентами відповідно до їх запитів. У такий спосіб реалізується динамічне керування ресурсами і найефективніше їх використання. Однак це досягається ускладненням ретранслятора, який повинний володіти інформацією щодо завантаження всіх робочих каналів відповідними каналами зв'язку та мати апаратуру керування доступом.

Під час вирішення питання про доступ відбувається вибір частот із сукупності доступних частот, а інформація про це розсилається всім абонентам. Так реалізується керування доступом.

*Енергетичні характеристики супутникових радіоліній.* Експлуатаційні можливості та якісні показники ССЗ визначаються, насамперед, енергетичним потенціалом радіоліній і рівнем завад. Основними джерелами завад у космічних радіолініях є шуми Прм і антен. Потужність шумів на вході Прм

$$P_{\text{ш}} = k T_{\text{ш}} \Delta f, \quad (6.21)$$

де  $k$  – стала Больцмана,  $k = 1,38 \cdot 10^{-23}$  Дж/град;

$T_{\text{ш}}$  – шумова температура,  $T_{\text{ш}} = T(N - 1) = 293(N - 1)$ ;

$N$  – коефіцієнт шуму Прм;

$\Delta f$  – шумова смуга пропускання Прм.

Щільність потоку потужності корисного сигналу у пункті приймання

$$\Pi = \frac{P_{\text{Прд}} G_{\text{Прд}}}{4\pi r^2}, \quad (6.22)$$

де  $P_{\text{Прд}}$  – потужність Прд;

$G_{\text{Прд}}$  – коефіцієнт підсилення передавальної антени;

$r$  – відстань між Прд і Прм.

Потужність корисного сигналу на вході Прм

$$P_{\text{Прм}} = \Pi S_{\text{Прм}} = \frac{P_{\text{Прд}} G_{\text{Прд}} S_{\text{Прм}}}{4\pi r^2}, \quad (6.23)$$

де  $S_{\text{Прм}}$  – ефективна площа приймальної антени,  $S_{\text{Прм}} = \frac{G_{\text{Прм}} \lambda^2}{4\pi}$ ;

$\lambda$  – довжина хвилі;

$G_{\text{Прм}}$  – коефіцієнт підсилення приймальної антени.

Отже, відношення потужностей сигналу і шуму на вході Прм [25]

$$\frac{P_{\text{Прм}}}{P_{\text{ш}}} = \frac{P_{\text{Прд}} G_{\text{Прд}} G_{\text{Прм}} \lambda^2}{16\pi^2 k r^2 T_{\text{ш}} \Delta f}. \quad (6.24)$$

Під час виведення формули (6.24) не враховані втрати у фідерних і радіолініях. Якщо їх урахувати, то формула набуває вигляду

$$\frac{P_{\text{Прм}}}{P_{\text{ш}}} = \frac{P_{\text{Прд}} G_{\text{Прд}} G_{\text{Прм}} \lambda^2 \eta_{\text{Прд}} \eta_{\text{Прм}} k_{\text{РС}}}{16\pi^2 k r^2 T_{\text{ш}} \Delta f}, \quad (6.25)$$

де  $\eta_{\text{Прд}}$ ,  $\eta_{\text{Прм}}$  – коефіцієнти корисної дії фідерних ліній Прд і Прм;

$k_{\text{РС}}$  – коефіцієнт втрат потужності сигналу в атмосфері.

Згідно з [61]

$$k_{\text{РС}} = \exp\left(-\frac{0,115\Gamma}{\cos\theta}\right), \quad (6.26)$$

де  $\Gamma$  – коефіцієнт поглинання потужності сигналу в газах тропосфери і тропосферних утвореннях (хмарах, опадах, туманах тощо) в децибелах при  $\theta = 0$  ( $\theta$  – кут між вертикаллю і напрямком на супутник). Значення  $\Gamma$  для сантиметрових і міліметрових хвиль можна знайти в [61]. Вони дають можливість показати, наприклад, що в ясну погоду при довжині хвилі  $\lambda = 3,2$  см і  $0 < \theta < 85^\circ$  коефіцієнт втрат  $0,99 > k_{\text{РС}} > 0,87$ . Для дециметрових і метрових хвиль тропосфера прозора, але на хвилях  $\lambda > 0,5$  м починає впливати ослаблення РХ в іоносфері.

З формули (6.25) видно, що відношення сигнал / шум на вході Прм визначається потужністю Прд, коефіцієнтами підсилення антен, коефіцієнтами

втрат в реальному середовищі, температурою шумів  $P_{\text{рм}}$ , а також довжинами радіолінії та хвилі і шумовою смугою пропускання  $P_{\text{рм}}$ .

Основними енергетичними показниками космічних радіоліній є ефективно випромінювана ізотропна потужність (ЕВП)  $P_{\text{прд}} G_{\text{прд}}$   $P_{\text{рд}}$  і добротність  $P_{\text{рм}} \frac{G_{\text{прм}}}{T_{\text{ш}}}$ . У стаціонарних ЗС ЕВП 50–95 дБВт, у рухомих, наприклад корабельних, – 36 дБВт, у СР – одиниці дБВт зі знаком “–”. Добротність  $P_{\text{рм}}$  стаціонарних ЗС 20–42 дБ/К, у рухомих корабельних станцій – 4 дБ/К, у приймальних систем СР – знижується до (–12)–(–14) дБ/К.

**Анени і багаторазове використання відведеного частотного діапазону.** Коефіцієнт підсилення антен визначається відношенням їх розмірів до довжини РХ. З цієї причини антени стаціонарних ЗС будуються високими. Наприклад, у міжнародній супутниковій системі, що працює в діапазоні 4–6 ГГц, діаметр параболічної антени земної станції сягає 32 м.

Розмір антен мобільних ЗС прагнуть робити по змозі меншими. Є приклади таких антен діаметром від 0,4 до 10 м, але потужності  $P_{\text{рд}}$ , установлені на супутнику, обмежені. Тому зменшення розмірів антен земних споживачів призводить до необхідності збільшення розмірів антен, установлених на супутнику до десятків метрів. Вважається [25], що можна створити супутникову антену, яка здатна формувати 50 пелюсток з шириною ДС кожної  $\cong 0,1^\circ$ .

Застосування гостроспрямованих антен на борту ШСЗ припустимо за умови, що супутник оснащений точною системою просторової стабілізації осей. Це значно підвищує вартість й ускладнює конструкцію супутника, однак гостроспрямовані антени себе виправдовують.

Між різними пелюстками ДС тієї самої передавальної антени супутника може бути досягнута розв’язка до 30 дБ. Це дає змогу по різних пелюсткам передавати різні повідомлення різним кореспондентам на тих самих частотах несучих коливань. Таким чином, за допомогою одного ретранслятора в межах тієї самої смуги частот можна реалізувати кілька незалежних каналів передачі інформації. Це явище дістало назву багаторазового використання виділеного частотного діапазону.

Повторне використання тієї самої смуги частот і додаткова розв’язка (на 20–30 дБ) можливі також у разі використання різних видів поляризації.

Використовуючи супутникові антени з багатопелюстковими ДС і поляризаційну селекцію, можна збільшити кількість каналів у даній смузі частот у багато разів. У ССЗ з багатопелюстковими антенами, багатостанційним доступом і часовим поділом каналів застосовується також комутація пелюсток і повідомлень на борту супутника. Це дає змогу додатково підвищити ефективність, гнучкість і надійність системи зв’язку.

## 6.6. Лінії військового проводового зв'язку

**Різновиди військового проводового зв'язку** визначаються використанням середовищем передачі. Це можуть бути [7, 18, 30] повітряні проводи, металеві кабелі, волоконно-оптичні кабелі (ВОК).

*Повітряні* проводові лінії зв'язку створюються на основі проводів без обплетення, прокладених між стовпами. Їх системотехнічні властивості (пропускна спроможність, завадозахищеність тощо) низькі, а тому вони швидко витісняються кабельними лініями зв'язку.

Лінії зв'язку на *металевих кабелях* забезпечують задовільну для багатьох застосувань пропускну спроможність і якість передавання інформації. Так у симетричних кабелів ("вита пара") пропускна спроможність  $C \cong 0,4 - 0,5 \frac{\text{Мбіт}}{с}$ , у коаксіальних кабелів  $C \cong 1 - 2 \frac{\text{Мбіт}}{с}$ . Ймовірність помилки під час передавання біта інформації  $P$  становить відповідно  $10^{-4} - 10^{-5}$  і  $10^{-5} - 10^{-6}$ , але їх застосування пов'язане з такими негативними явищами, як:

- використання дефіцитних металів (50% добувної міді і 25% – свинцю);
- короткі ділянки регенерації (2–6 км) і великий обсяг обладнання лінійного тракту;
- трудомісткість прокладання і монтажу;
- необхідність додаткового захисту від впливу потужного електромагнітного випромінювання, що виникає, наприклад, під час ядерного вибуху.

*Волоконно-оптичні кабелі зв'язку* дають можливість істотно просунути-ся у процесі розв'язанні деяких із названих проблем і надають такі додаткові переваги:

- збільшення пропускної спроможності (до гігабіт в секунду – терабіт в секунду);
- підвищення завадозахищеності ( $P = 10^{-9} - 10^{-12}$ ) і скритності передачі інформації;
- зменшення згасання, маси і габаритів;
- практична відсутність завод між окремими волокнами, що дало можливість відмовитись від двокабельних систем;
- безпечніші в роботі з ними, оскільки не проводять електрики і забезпечують електроізоляцію;
- виготовлення з дешевої сировини, якої багато на Землі.

Висока пропускна спроможність ВОК дає змогу поетапно нарощувати пропускну спроможність ВОСП шляхом заміни кінцевого обладнання, а зменшення згасання – збільшити ділянки регенерації.

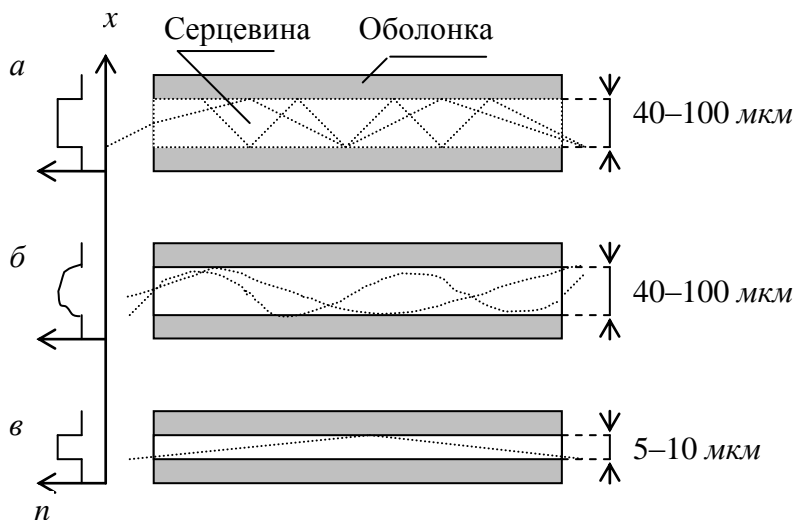
Порівнюючи металевий кабель П-296, у якого  $C = 2,048 \text{ Мбіт}/с$ , з ВОК "Камелія", можна відзначити, що у ВОК довжина ділянки регенерації  $l_p$

збільшується з 4 до 8 км, маса 100-кілометрової ділянки кабелю зменшується з 18,2 до 5 т, а необхідна для перевезення лінійного обладнання кількість одиниць автотранспорту зменшується з 8 до 2. І це ще не останні досягнення.

**Недоліки ВОК:** у 4–10 разів вища вартість передавального, приймального і тестового обладнання; висока вартість монтажного обладнання; трудність зрощування і розгалужування; необхідність оберігання від надмірного фізичного впливу і крутих згинів.

**Волоконний світловод.** ВОК складається з надтонких гнучких скляних волокон – волоконних світловодів, якими передаються світлові сигнали. Кожен світловод складається зі скляної серцевини (сердечника), скляної оболонки з меншим коефіцієнтом заломлення  $n$  ніж у серцевини і захисного полімерного покриття (“кожуха”). У свою чергу, “кожух” складається з буферного покриття, зміцнюючого покриття і зовнішньої оболонки.

Поширюючись серцевиною, промінь світла не виходить істотно за її межі, оскільки відбивається від шару оболонки. Залежно від діаметра серцевини



і розподілу коефіцієнта заломлення  $n$  по діаметру світловода розрізняють:

- багатомодове волокно зі ступінчастим змінюванням  $n$  (рис. 6.31, а);
- багатомодове волокно з плавним (градієнтним) змінюванням  $n$  (рис. 6.31, б);
- одномодове волокно (рис. 6.31, в).

Термін “мода” описує режим поширення світлових променів. В одномодовому

Рис. 6.31. Різновиди світловодів

волокні використовується серцевина дуже малого діаметра (5–10 мкм), сумірного з довжиною хвилі світла. Тому у волокні існує один промінь, який поширюється вздовж осі світловода, але виготовлення надтонких якісних волокон дуже складне і дає (20–50)% браку, що робить одномодовий кабель дорожчим. Крім того, у надтонке волокно трудно спрямувати промінь світла без втрати великої частини енергії.

У багатомодових волокнах використовуються серцевини значно більшого діаметра, які легше виготовити. (У стандартах рекомендують відношення діаметрів серцевини/оболонки 50 мкм / 125 мкм і 62,5 мкм / 125 мкм і діаметр “кожуха” 250 і 900 мкм.) У таких серцевинах одночасно існують декілька променів, які відбиваються від оболонки під різними кутами. У багатомодових волокнах з градієнтним змінюванням  $n$  поширення променів є складним.

Багатомодові кабелі дешевші, але їх характеристики значно гірші, тому що інтерференція променів призводить до спотворення передаваних світлових імпульсів. Через це вони використовуються на невеликих відстанях (одиниці км) і на швидкостях до 1 Гбіт/с, а одномодові – на відстанях десятки – сотні км і на швидкостях десятки Гбіт – одиниці Тбіт/с.

Одномодового режиму можна досягти ускладненням залежності  $n(x)$  (рис. 6.32), але волокна з таким розподілом теж складні у виготовленні.

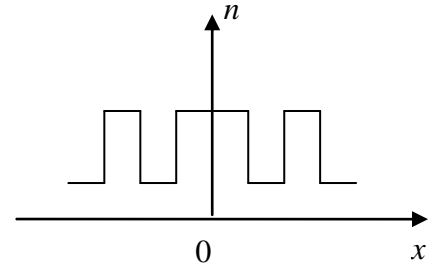


Рис. 6.32. Коефіцієнт заломлення W-світловода

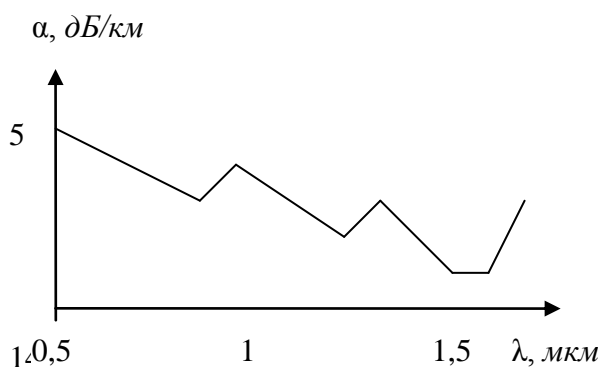
Один із кращих способів виробництва світловодів, що є досить складним, полягає у такому [7; 18]. Спочатку напиленням газоподібного скла і необхідних присадок формується товста заготовка, що теж складається із серцевини і оболонки у необхідному співвідношенні. Потім заготовку нагрівають і обтискують. Далі розігрівають її кінець, і з нього починає витягуватись волокно зверху вниз у високій (12-метровій) протяжній башті. Внизу башти світловод намотується на обертовий барабан. Для контролю за діаметром волокна використовується лазер. Залежно від результатів контролю швидкість протягування волокна змінюється так, щоб діаметр залишався незмінним. У процесі опускання у башті волокно охолоджується і протягується крізь рідкий акрилат для створення захисного полімерного покриття. Цей спосіб дає змогу виробляти світловоди довжиною до 50–150 км, які міцніші за сталеві, але мають дуже малу площу перерізу ( $10^{-8}$ – $10^{-11}$  м<sup>2</sup>).

Джерелом випромінювання світла у світловод є світлодіод або лазерний діод. Світлодіоди як дешевші використовуються у поєднанні з серцевинами більшого діаметра; лазерні діоди – у поєднанні з серцевинами меншого діаметра, оскільки в них, крім того, вузька ДС. найдешевшим, швидкодіючим і ефективним нині є лазер типу VCSEL. Слід пам'ятати, що випромінювання зв'язкових лазерів невидиме і небезпечне для органів зору.

Приймання світлових сигналів здійснюють фотодетектори.

Важливими характеристиками волоконних світловодів є: довжина хвилі

$\lambda$ ; коефіцієнт згасання на кілометр довжини  $\alpha = 10 \lg \frac{P_i}{P_{i+1}}$ , дБ/км; спектральна



крива згасання  $\alpha(\lambda)$  (рис. 6.33); АЧХ, ФЧХ і ширина смуги пропускання. Широкосмуговість обмежується дисперсією оптичного випромінювання. Дисперсія призводить до розширення світлових імпульсів на вході фотодетектора.

Рис. 6.33. Залежність  $\alpha(\lambda)$



тектора і внаслідок цього до обмеження пропускної спроможності.

Крива згасання  $\alpha(\lambda)$  свідчить про наявність вікон прозорості, в яких доцільно працювати. У першому вікні прозорості  $\lambda_1 = 0,85$  мкм,  $\alpha_1 = 2-5$  дБ/км; у другому  $\lambda_2 = 1,33$  мкм,  $\alpha_2 = 1-1,5$  дБ/км; у третьому  $\lambda_3 = 1,55$  мкм,  $\alpha_3 = 0,2-0,3$  дБ/км. Чим більша довжина робочої хвилі, тим дорожчі випромінювачі світла і фотодетектори. Тому на коротких дистанціях, де сумарне згасання невелике, вигідно використовувати  $\lambda = 0,85$  мкм [5; 7; 18].

Є два види дисперсії: модова і хроматична (матеріальна і хвильова). Модова виникає через різницю ходу променів й існує тільки у багатомодових волокнах. Хроматична залежить від ширини спектра імпульсу. З двох її видів матеріальна зі збільшенням  $\lambda$  збільшується, а хвильова – зменшується. В околі  $\lambda = 1,3$  мкм відбувається їх компенсація. Так виникла “ $\lambda$  з нульовою дисперсією”, на якій, як вважають, краще працювати у цьому діапазоні. Діапазон  $\lambda = 1,55$  мкм більше приваблює істотно меншим згасанням і, щоб знизити в ньому дисперсію, у волокні добавили ще один шар оболонки. Так створили волокно типу NZDSF “зі зміщеною нульовою дисперсією”. У сполученні з лазерними діодами воно використовується на магістралях, що збільшило відстань між регенеративними пунктами до 300 км при швидкостях передачі 2,5 Гбіт/с і до 70 км при швидкостях передачі 40 Гбіт/с.

Ще один напрям істотного зменшення впливу дисперсії полягає у застосуванні світлових імпульсів дзвіноподібної форми, зворотної до гіперболічного косинусу. Планується перехід до їх промислового застосування [41].

Волоконно-оптичний кабель – це один або декілька (до 288) світловодів, об’єднаних в єдину конструкцію, яка забезпечує їх працездатність в заданих умовах експлуатації, а також захист світловодів від пошкоджень і впливу зовнішнього середовища. Розрізняють повітряні, підземні, підводні ВОК і ВОК для приміщень.

Основними елементами конструкції ВОК (рис. 6.34) є: світловоди, демпферні і зміцнювальні елементи, трубки або інші профільні елементи для укладки світловодів, прокладки, оболонка кабелю. Перед компануванням в кабель світловоди можуть бути зібрані в джгути. Для підводних умов роботи застосовують гідрофобне наповнення, для підземних умов – наповнення, отруйливе для гризунів. За потреби ВОК може містити струмопровідні жили для дистанційного електроживлення, але при цьому втрачається несприйнятливність до потужного електромагнітного випромінювання, що виникає, наприклад, під час ядерного вибуху. Тому в польових кабелях такі жили не передбачені. Волоконно-оптичний кабель має нижче граничне навантаження, ніж металевий, тому під час його прокладання можуть знадобитись спеціальні заходи безпеки [18].

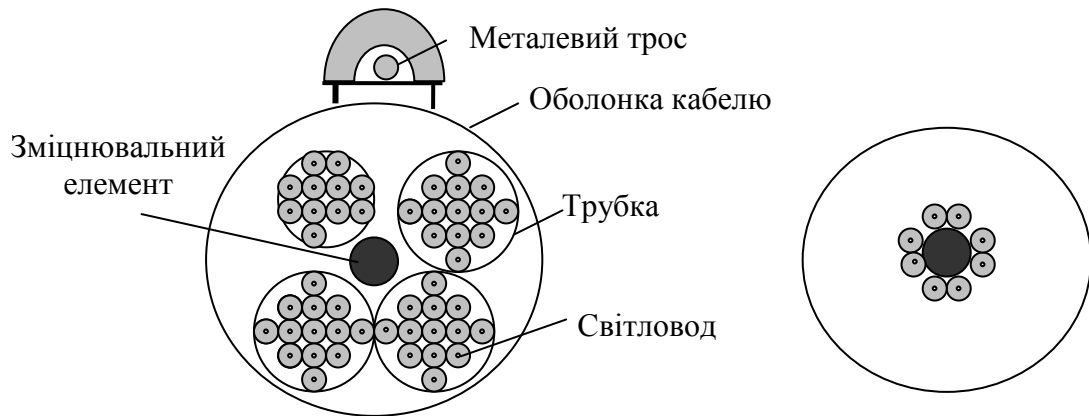


Рис. 6.34. Різновиди волоконно-оптичних кабелів (поперечний перетин)

Волоконно-оптичні кабелі поділяються на групи, підгрупи і види:

– у групах ВОК розрізняють за призначенням та умовами застосування і позначають так: магістральні (Л), зонові (З), міські (К), підводні вантажонесучі (Г), підводні невантажонесучі (Н), для стаціонарних об’єктів (С), для рухомих об’єктів (Б(П)), з дистанційним управлінням (Д), монтажні (М) та ін.;

– у підгрупах ВОК розрізняють за способом прокладання, конструктивними і технологічними особливостями, які визначаються номером розробки, і позначають так: для стаціонарного прокладання (С), для нестаціонарного прокладання (Н);

– у видах ВОК розрізняють за відношенням кількості світловодів до кількості струмопровідних жил  $N/M$ .

Наприклад ЛС 05–8/0 означає магістральний ВОК для стаціонарного прокладання 5-ї розробки, 8 світловодів, без струмопровідних жил.

Деякі характеристики польових ВОК “Каштан” і “Камелія” наведені в табл. 6.6, з якої видно, що будівельна довжина ВОК  $l_6 \cong 1$  км, довжина ділянок регенерації  $l_p \cong 11$ –29 км, довжина ділянок обслуговування  $l_o \cong 187$ –493 км,

$\frac{N}{M} = \frac{2}{0} \dots \frac{8}{0}$ ,  $\lambda = 0,85$  і  $1,33$  мкм, відповідно  $\alpha = 5$  і  $0,5$  дБ/км.

Таблиця 6.6

#### Характеристики польових волоконно-оптичних кабелів

Тип ВОК	Довжина ділянки		$\frac{N}{M}$	$\lambda$ , мкм	$\Delta f$ , МГц	$\alpha$ , дБ/км
	регенерації, км	обслуговування, км				
Каштан	–	–	4/0; 8/0	0,85; 1,3	500	5
Камелія-1	29	493	–	–	–	0,5–1
Камелія-2	11	187	–	1,3	1000	2
Камелія-5	–	–	2/0; 4/0; 8/0	1,3	200	5

У процесі будівництва ліній зв’язку використовують роз’ємні і нероз’ємні ВОК. На кінцях будівельних довжин роз’ємних ВОК є напівмуфти,

втрати потужності в яких становлять 0,5–1,5 дБ. Для зрощування нероз'ємного з'єднання застосовується метод зварювання (втрати 0,03–0,05 дБ) або метод склеювання (втрати 0,35–0,5 дБ).

У галузі створення кабельної техніки все більше уваги приділяється ВОК, які мають відмінні характеристики усіх типів (мале згасання, високі стійкість, якість, пропускна спроможність тощо), крім однієї. Це складність з'єднання світловодів з роз'ємами і між собою за потреби нарощування довжини кабелю. Волоконно-оптичний кабель коштує не набагато більше металевого, однак його прокладання і виконання монтажних робіт коштують набагато більше через велику трудомісткість, складність точного обрізання під кутом 90°, зрощування і високу вартість монтажного обладнання. Але незабаром ця проблема буде вирішена. На виставках “Інформатика та зв'язок” 2004–2007 рр. [22] була представлена серія закордонних апаратів для автоматичного зварювання світловодів, які мали такі характеристики: час зварювання – 44–60 с, згасання на місці зварювання – 0,01–0,04 дБ, маса зварювальних апаратів – 2,8 і 5,2 кг.

У світі волоконні світловоди виробляють лише 6–8 фірм, однією з яких є фірма “Корнінг Глас” (США). В Україні волоконні світловоди ще не виробляють, але завод “Одеса-кабель” виробляє ВОК з імпортованих світловодів.

**Волоконно-оптичні лінійні тракти.** За станом на початок 2003 року кабельна мережа України складалась на 73% з симетричних кабелів, на 21% – з коаксіальних кабелів, на 6% – з ВОК. Довжина ВОК становила 6400 км, з яких 900 км – багатомодові на місцевих лініях, але по ВОК передавалось більш ніж 50% трафіка. Ступінь цифровізації магістралей складала 58%, зонних мереж – 20%.

На основі ВОК побудовані такі волоконно-оптичні лінії зв'язку (ВОЛЗ), як Київ – Львів – Краків, Київ – Чернігів – кордон з Білоруссю, Дніпропетровськ – Донбас, Олександрія – Харків – кордон з Росією, Ужгород – кордони зі Словаччиною і Угорщиною, Київ – Одеса з виходом на Італію, Туреччину та інші держави. Було розпочате будівництво ВОЛЗ “Поділля”, “Полісся”, “Вуглик”, “Січ”, “Азов”, “Софія” [11].

*Структура волоконно-оптичного тракту (ВОЛТ).* Складовою частиною військової багатомодової ВОСП П-336 є ВОЛТ, який є сукупністю технічних засобів, що забезпечують передавання зв'язкових сигналів у межах однієї системи на довжині хвилі  $\lambda = 1,33$  мкм зі швидкістю  $V = 2,048$  Мбіт/с.

Структурна схема ВОЛТ польової СП П-336 зображена на рис. 6.35. На цій схемі позначено:

- КС – кінцева станція з КТА П-331 (“Імпульс”) або ІКМ-30;
- ОПП – обслуговувемий перетворювальний пункт, створений на базі апаратури П-336Л, яка виконана у вигляді моноблоку. До її складу входять два комплекти станцій СТА ЛІ, які обслуговуються. Є можливість використовувати одну з них, а другу тримати в резерві;

– НРП – необслуговуємий ретрансляційний пункт, що створюється на базі апаратури П-336Р і П-336ИП. З них:

– П-336Р – ретранслятор, в конструкції якого передбачена можливість автономного використання, заглиблення в ґрунт на термін до 2 років, перебування під водою до 5 місяців. Маса ретранслятора становить 25 кг;

– П-336ИП – батарея з 18-ю нікель-кадмієвими акумуляторами з 15-денним терміном безперервного електроживлення, після закінчення якого батарея подає сигнал щодо її заміни;

– П-336ПК – прилад контролю за цілісністю оптичного кабелю з можливістю контролю за згасанням сигналу в оптичних волокнах, перевірки працездатності П-336Л і П-336Р, забезпечення ділянкового службового зв'язку з П-336Р у період розгортання ВОЛТ.

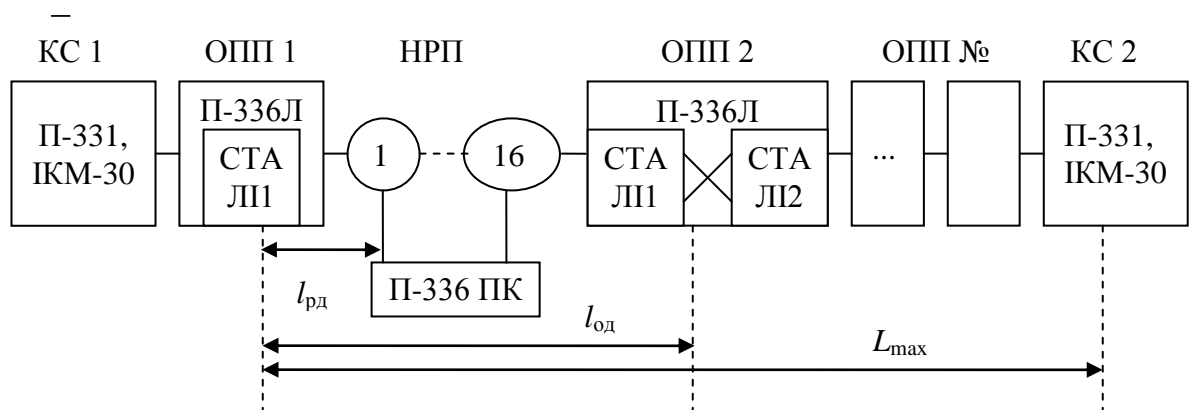


Рис. 6.35. Структурна схема ВОЛТ польової системи передачі П-336

Параметри ВОЛТ умовно поділяють на оперативно-технічні та електричні. До *оперативно-технічних* належить максимальна дальність, швидкість передачі, достовірність і надійність. Максимальна дальність  $L_{\max}$  – це протяжність ВОЛТ, за якої ще гарантується перебування параметрів каналів і трактів у межах, заданих допуском. У П-336 з ВОК “Камелія-2”  $L_{\max} = 2500$  км.

Швидкість передачі  $V$  визначається існуючою ієрархією швидкостей. У П-336 вона становить 2,048 Мбіт/с.

Достовірність оцінюється ймовірністю помилки в ретрансляції елемента сигналу (біта)  $P_{\text{лт}}$ .

Надійність оцінюється середнім часом напрацювання на відмову і середнім часом відновлення.

До *електричних параметрів ВОЛТ* належить вид лінійного коду, тактова частота, ймовірність помилки поодинокого ретранслятора  $P_0$ , амплітуда імпульсів на виході, струм і напруга живлення.

Ймовірність помилки для усього ВОЛТ залежить від кількості ретрансляторів  $N$  і ймовірності помилок поодиноких ретрансляторів  $P_0$ .

Ймовірність безпомилкової ретрансляції: елемента сигналу окремим ретранслятором дорівнюватиме  $(1 - P_0)$ , а елемента сигналу ланцюжком із  $N$  однакових ретрансляторів –  $(1 - P_0)^N$ . Тоді ймовірність помилкової ретрансляції елемента сигналу усім ВОЛТ  $P_{\text{лт}} = 1 - (1 - P_0)^N$ . Розкладаючи другу складову правої частини цієї формули у степеневий ряд, дістанемо:

$$P_{\text{лт}} \cong 1 - \left( 1 - NP_0 + \frac{N(N-1)}{2!} P_0^2 - \frac{N(N-1)(N-2)}{3!} P_0^3 + \dots \right). \quad (6.27)$$

Розкривши дужки і нехтуючи в цьому ряду складовими, що містять  $P_0^2, P_0^3$  і вищі степені  $P_0$ , дістанемо просту формулу, яка дає доволі точні результати при  $P_0 \leq 10^{-3}$ :

$$P_{\text{лт}} \cong NP_0. \quad (6.28)$$

Враховуючи, що  $N = \frac{L_{\text{max}}}{l_p}$ , дістанемо формулу  $P_{\text{лт}} \cong \frac{P_0 L_{\text{max}}}{l_p}$ , з якої впливають вимоги до ймовірності помилок окремого ретранслятора

$$P_0 \leq \frac{P_{\text{лт}} l_p}{L_{\text{max}}}. \quad (6.29)$$

Якщо припустимі  $P_{\text{лт}} = 10^{-6}$ ,  $L_{\text{max}} = 2500$  км, довжина ділянки ретрансляції  $l_p = 25$  км, то  $P_0 \leq 10^{-8}$ . Фактична ймовірність помилки поодинокого ретранслятора, яка має бути меншою за допустиму, визначається видом лінійного коду, довжиною ділянки ретрансляції, видом розв'язувального пристрою ретранслятора..

Якщо ймовірності помилок поодиноких ретрансляторів мають різне значення  $P_{0_i}, \dots, i = 1, \dots, N$ , то замість формули (6.28) отримаємо

$$P_{\text{лт}} \cong \sum_{i=1}^N P_{0_i}. \quad (6.30)$$

**Напрями подальшого розвитку.** На сьогодні доцільно використовувати ВОСП на стаціонарних лініях зв'язку та на польових лініях прив'язки невеликої довжини. Використання ВОСП великої довжини на польових лініях пов'язано з низкою економічних і технічних труднощів. Технічними проблемами є:

- зменшення згасання в з'єднаннях будівельних довжин ВОК;
- забезпечення незмінності параметрів ВОК при багаторазовому прокладанні;

- забезпечення електроживленням ретрансляційних пристроїв;
- організація механізованого згортання ВОК, який нічого не випромінює, через що на поверхні Землі трудно встановити місце його прокладання. Тому в США його не викопують, а залишають лежати у ґрунті, якщо в ньому немає потреби.

Основні напрями вирішення цих проблем:

- розроблення технології виробництва оптичних волокон для роботи на хвилі довжиною 2,1 мкм. При коефіцієнтах згасання 0,05–0,07 дБ/км це дає змогу довести довжину ділянки ретрансляції до 500–700 км;
- удосконалення конструкції ВОК і оптичних з'єднань цих типів кабелів;
- заміщення регенераційних ретрансляторів напівпровідниковими підсилювачами світла;
- запозичення цивільних технологій і їх адаптація до військових потреб.

Про доцільність цього свідчать характеристики вітчизняних цивільних ВОСП “Сопка-3М”, “Сопка-4М”, “Сопка-5М”, побудованих на основі використання одномодових ВОК, які наведені в табл. 6.7 [11]. З таблиці видно, що в сучасних ВОЛТ можливі ділянки регенерації 30–120 км, тоді як у металевих кабелів – 2–6 км.

Таблиця 6.7

#### Характеристики цивільних волоконно-оптичних систем передачі

Тип ВОСП	$\lambda$ , мкм	Кількість ОЦК, шт	$V$ , Мбіт/с	Довжина ділянки ретрансляції, км
Сопка-3М	1,3	480	68	30
	1,55	480	68	70
Сопка-4М	1,3	1920	167	30
	1,55	1920	167	70
Сопка-5М	1,55	7680	668	100–120

Отже, перевагами ВОЛТ є такі: велика довжина ділянок регенерації, яка дає змогу обійтись без НРП; величезна пропускна спроможність; високі завадозахищеність і скритність; менші маса, габарити і вартість порівняно з металевими кабелями; корозійна стійкість; виготовлення з дешевої сировини.

Недоліками ВОЛТ слід вважати: чутливість ВОК до механічних навантажень і вигинів малого радіусу; низький коефіцієнт корисної дії; неможливість передачі ЦЛС у квазітрійковому коді (біполярними імпульсами); висока вартість складових елементів мережі і виконання монтажних робіт.

Незважаючи на переваги, ВОК наполегливо прокладають собі дорогу у війська.

## **7. Системотехнічні властивості сучасних однофункціональних і перспективних інтегрованих комплексів військового зв'язку**

Розглядаються загальні принципи побудови первинних мереж зв'язку, однофункціональні комплекси передачі: мовних і Тлг повідомлень; а також інтегровані комплекси, в яких поєднується передача комп'ютерних даних, зв'язкової, навігаційної та інших видів інформації. Отже, терміном *інтегровані* позначаються комплекси, що здатні передавати повідомлення будь-якого виду: Тлф, Тлг, факсимільні тощо, а також дані різного призначення. Під *системотехнічними властивостями* розуміють відповідність цих комплексів задачам автоматизації управління військами (АСУВ).

Створенню науково-технічної бази інтеграції сприяло перетворення сигналів різних видів у ЦС.

Розглядаються дві ланки управління: оперативно-тактична (ОТЛУ) і тактична (ТЛУ).

### **7.1. Загальні принципи побудови первинних мереж зв'язку**

**Первинна (опорна) мережа зв'язку** будується за принципами високої живучості, надійності та якості передачі повідомлень, а саме:

- винесення елементів мережі з можливої зони ураження;
- організація обходів категорованих (по лінії цивільної оборони) об'єктів;
- розміщення вузлів на відстанях, що виключають можливість одночасного пошкодження двох вузлів одним вогневим ударом;
- рознесення магістральних ліній передавання, які проходять в одному географічному напрямку;
- підключення до кожного мережного вузла не менш як двох інших мережних вузлів;
- підключення до мережних вузлів за допомогою з'єднувальних кабельних ліній вузлових радіорелейних станцій, тропосферних станцій, ЗС супутникового зв'язку, передавальних і приймальних радіоцентрів.

Між мережними вузлами прокладаються з'єднувальні лінії передачі (лінійні тракти). Кінцеві пристрої підмикаються до кінцевих станцій за допомогою абонентських ліній передачі.

**Система передачі (СП)** – це комплекс технічних засобів, який забезпечує утворення лінійного тракту, типових групових трактів та каналів первинної (опорної) мережі. Апаратура СП складається з апаратури ЛТ та перетворювальної апаратури кінцевих станцій (*див. рис. 4.1*).

Апаратура лінійного тракту містить:

- апаратуру кінцевих пунктів лінійного тракту;
- апаратуру обслуговуваних, підсилювальних та регенеративних пунктів;
- апаратуру необслуговуваних, підсилювальних та регенеративних пунктів.

До складу ЛТ може входити апаратура виділення, відгалуження з лінійного тракту, дистанційного живлення, телеконтролю, сигналізації та службового зв'язку, що залежить від особливостей конкретного виду ЛТ.

*Перетворювальна апаратура кінцевих станцій* складається з обладнання:

- аналого-цифрового перетворення і каналоутворення;
- групоутворення (частотного або часового);
- виділення, транзиту та перемикачів.

До складу СП може також входити обладнання:

- передавання сигналів звукового мовлення або програм телебачення;
- електроживлення, контролю та сигналізації, службового зв'язку;
- спряження аналогових та цифрових систем передачі;
- пусконаладжувальних та експлуатаційних робіт.

Системи передачі класифікують:

- за кількістю каналів (одноканальні і багатоканальні);
- за способом розділення каналів (ЧРК, ЧсРК);
- за формою сигналів, що передаються (аналогові і цифрові);
- за типом середовища поширення сигналів (проводові СП і радіосистеми).

Як середовище передачі можуть застосовуватись:

- симетричні і несиметричні кабелі з металевими жилами;
- ВОК;
- повітряний простір у разі застосування радіосистем, радіорелейних і тропосферних систем;
- космічний простір у разі застосування ССЗ.

**Основними напрямками удосконалення СП і мереж зв'язку є** впровадження цифрових методів, нових комутаційних станцій, волоконно-оптичних, радіорелейних і супутникових ліній, а також реконструкція існуючих ліній.



## 7.2. Комплекси передачі мовних повідомлень

Для передачі мовних повідомлень створюється Тлф тракт між джерелами і користувачами інформації, який містить у своєму складі телефонні апарати (ТА) як кінцеві пристрої, ППС і КТА (див. рис. 1.1).

Джерелами і користувачами інформації є абоненти, тобто особи, які використовують тракти Тлф зв'язку і мають для цього кінцеві пристрої.

*Кінцевий пристрій* – у даному випадку це ТА, який забезпечує перетворення акустичних сигналів в електричні, зручні для передавання засобами зв'язку. Вони відповідають єдиним експлуатаційно-технічним вимогам і використовуються також для надсилання адресних сигналів при наборі номера, передавання сигналів виклику, перетворення електричних сигналів в акустичні у процесі приймання сигналів.

Пристрій перетворення сигналів може виконувати різні функції, але не є обов'язковим елементом усіх трактів.

Каналотвірна апаратура забезпечує створення аналогових або цифрових каналів зв'язку: радіо, радіорелейних, тропосферних, супутникових, проводових.

Відособлені тракти (канали) для кожної пари (груп) абонентів створюються рідко, тому що це дорого і неефективно. Доцільнішим виявилось забезпечення можливості створення тимчасових каналів зв'язку на час розмови абонентів. Це завдання виконують КЦ, на які покладаються функції приймання, обробки, розподілу, а в ряді випадків і збереження інформації. Застосування КЦ дає змогу використовувати кожен канал (тракт) в інтересах великої кількості абонентів, економічніше будувати систему зв'язку, істотно підвищити ефективність використання окремих елементів системи (ППС, КТА тощо). Спосіб організації трактів зв'язку з використанням КЦ показано на рис. 1.2.

У разі великої протяжності Тлф трактів до їх складу можуть входити різноманітні лінійні пристрої (підсилення, регенерації), що забезпечують підсилення, відновлення сигналів, корекцію характеристик каналів і необхідну дальність зв'язку.

Телефонні тракти, сполучення яких здійснюється, як правило, на комутаційних центрах, можуть бути 2-проводові або 4-проводові.

## 7.3. Комплекси передачі телеграфних повідомлень

Вторинна Тлг мережа будується на базі каналів тієї самої первинної мережі, що й Тлф, але є дві особливості, що пов'язані зі структурою Тлг сигналу.

Телеграфний сигнал набуває вигляду послідовності відеоімпульсів тривалістю  $t_i$  (рис. 7.1). Швидкість його передачі визнається як  $B = 1/t_1$  в Бодах

(Бод = імпульс/с). Нині використовуються системи тонального телеграфування (ТТ) зі швидкостями передачі 25, 50, 75, 100 і 200 Бод.

Спектр таких сигналів дуже вузький і примикає безпосередньо до постійної складової сигналу (рис. 7.2). Тому передавати їх без перетворення каналом ТЧ неможливо (рис. 7.3), оскільки смуга пропускання каналу ТЧ розрахована на частоти 0,3–3,4 кГц.

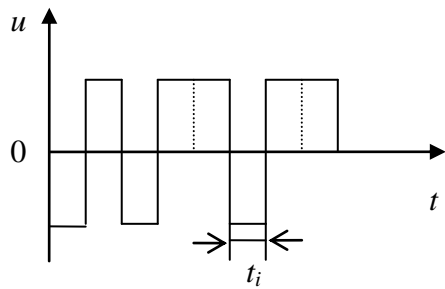


Рис. 7.1. Приклад Тлг сигналу

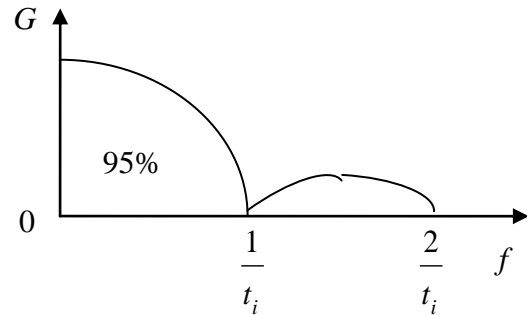


Рис. 7.2. Спектр Тлг сигналу

Особливість Тлг зв'язку полягає в тому, що в межах одного каналу ТЧ можна розмістити декілька (3–12) Тлг каналів.

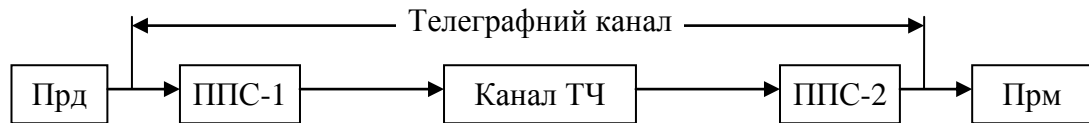


Рис. 7.3. Структурна схема Тлг каналу

Необхідне перетворення можна здійснити модуляцією Тлг відеосигналом струмів вищої частоти. МККТТ рекомендував для цього частотну модуляцію (ЧМ), хоча більш завадостійкою була б фазова модуляція (ФМ).

**Структурна схема одного (з двох) варіантів побудови одного Тлг каналу** показана на рис. 7.4, де ППС – пристрій перетворення сигналів, ЧМ – частотний модулятор, Г – генератор, СФ – смуговий фільтр, ГЛЮ – групове і лінійне обладнання, КТЧ – частотний демодулятор, АО – амплітудний підсилювач-обмежувач.

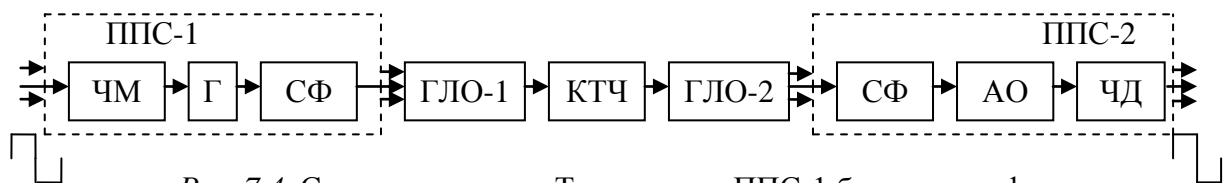
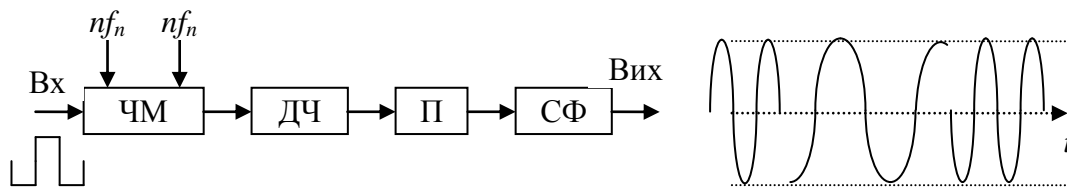


Рис. 7.4. Структурна схема Тлг каналу з ППС-1 без розриву фази

Під впливом Тлг імпульсів ЧМ змінює (без будь-якого розриву фази коливань) частоту  $f_0$  генератора на величину девіації частоти  $\pm \Delta f$  залежно від

полярності імпульсів. Частоти  $f_n = f_0 - \Delta f$  і  $f_b = f_0 + \Delta f$  називають *характеристичними*. Смуговий фільтр обмежує ширину спектру високочастотних імпульсів і придушує продукти нелінійних спотворень. У приймальному ППС взаємодіючої КТА СФ виділяє необхідний сигнал за частотною ознакою. Підсилювач збільшує і обмежує його амплітуду, усуваючи тим самим паразитну АМ. ЧД формує двополярний Тлг сигнал, який управляє роботою реле.

**Другий варіант побудови передавального ППС** наведено на *рис. 7.5*, де ДЧ – дільник частоти, П – підсилювач. На перший вхід ЧМ подається Тлг сигнал, на другий і третій входи надходять відповідно коливання з частотами  $nf_n = 503,04 \text{ кГц}$  і  $nf_b = 518,4 \text{ кГц}$ , кратними щодо характеристичних частот.



*Рис. 7.5.* Структурна схема передавального тракту одного каналу ППС-1 з розривом фази

Робота ЧМ полягає в електронній комутації частот  $nf_n$  і  $nf_b$  на вихід ЧМ залежно від полярності Тлг сигналу. Недоліком цього варіанту є випадковий стрибок фази на виході ЧМ в межах  $\pm 180^\circ$ , який може призвести до значного розширення спектра сигналу і збільшення внутрішньосистемних завад. Для ослаблення цих явищ частоти приводять до характеристичних значень, поділивши їх на  $n$  у дільнику, а разом з тим в  $n$  разів зменшують стрибок фази. В апаратурі П-327 [2], побудованій за таким принципом,  $n = 128$ , що зменшує максимальний стрибок фази до допустимої величини:  $180^\circ/128 = 1,4^\circ$ .

**Апаратура тональної телеграфії (АТТ)** – це сукупність технічних пристроїв, які забезпечують перетворення смуг частот низькошвидкісних дискретних Тлг сигналів у рознесені смуги частот, що лежать в межах смуги пропускання каналу ТЧ  $0,3\text{--}3,4 \text{ кГц}$ . Це необхідно для створення багатоканальної апаратури тонального телеграфування.

Канал ТТ має три режими роботи:

- дуплексний – з рознесеними колами передавання і прийняття та двополярними посилками (для Тлг СА і Тлг апаратів П-115 “Покришка”);
- дуплексний – з рознесеними колами передавання і приймання та однополярними посилками (для Тлг апаратів СТА-67);
- симплексний – з перемиканням кіл передавання і приймання та однополярними посилками (для Тлг апаратів СТА-62).

Під час певної технічної побудови АТТ використовують один з двох варіантів (принципів) реалізації ЧРК з частотною модуляцією: індивідуально-груповий або базовий (груповий).

Індивідуально-груповий варіант полягає в тому, що в різних каналах (рис. 7.6) частотна модуляція здійснюється без розриву фази і на різних частотах, а виходи всіх СФ з'єднані із входом підсилювача-об'єднувача групового і лінійного обладнання (ГЛО). У тракці прийняття здійснюється ЧРК СФ і зворотне перетворення сигналу.

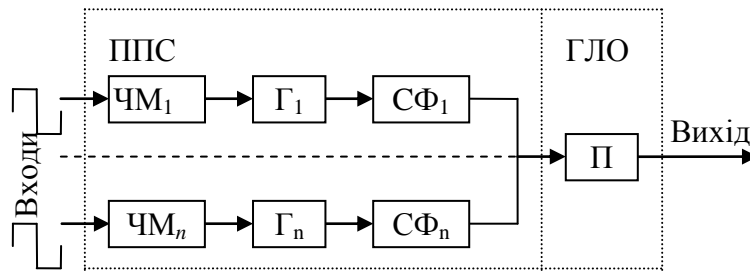


Рис. 7.6. Структурна схема передавального тракту КТА ТТ, побудованої за індивідуально-груповим принципом

За цим варіантом побудовані, наприклад, АТТ П-314 М, П-317, П-318.

**Недоліки:** в каналах ТТ використовуються різні за характеристиками СФ і генератори, збільшується вплив нестабільності частот генераторів, є проблеми з переходом на мікросхеми через наявність в АТТ мотальних виробів.

**Базовий варіант** полягає у застосуванні частотної модуляції з розривом фази і однотипного обладнання для формування ЧМС у всіх каналах ТТ. Лише наприкінці кожного каналу Прд за допомогою модуляторів з різними несучими частотами спектри сигналів різних каналів розносяться по частоті в межах 0,3–3,4 кГц.

Структурна схема передавальної частини ППС АТТ зображена на рис. 7.7. За такою схемою побудовані Прд різних модифікацій апаратури П-327.

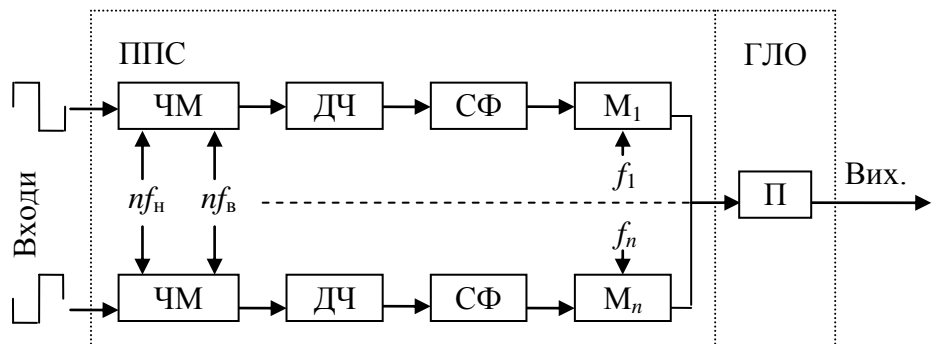


Рис. 7.7. Структурна схема передавального тракту КТА ТТ, побудованої за базовим принципом

**Переваги:**

- усі блоки формування і демодуляції ЧМС однотипні, що дає змогу уніфікувати і зменшити вартість виробництва;
- зменшується вплив нестабільності частот генераторів, оскільки всі частоти формує один стабільний генератор;
- можливість мікросхемної реалізації ключових ЧМ і ЧД, дільників частот, підсилювачів, активних СФ, що дає змогу зменшити масу і габарити АТТ.

## 7.4. Телекомунікаційні комплекси ОТЛУ армії США

Система управління ОТЛУ і ТЛУ в армії США поділяється на 6 функціональних областей (рис. 7.8) [1; 14; 50–57]:

- MCS – система управління маневреними силами;

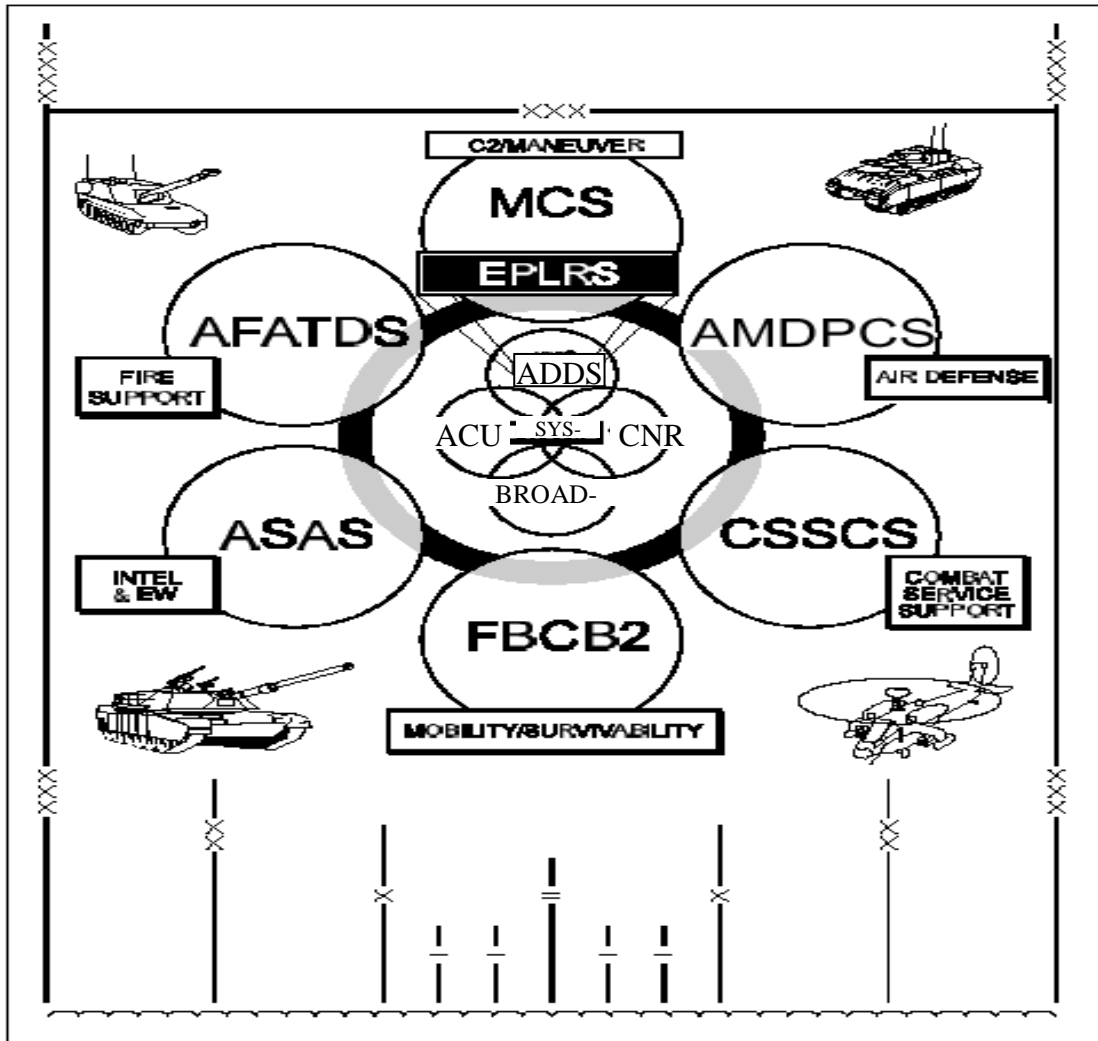


Рис. 7.8. Складові системи управління і телекомунікаційної транспортної сис-

- AFATDS – система управління польовою вогневою підтримкою;
- AMDPCS – система управління авіаційним і ракетним повітряним захистом;
- CSSCS – система управління бойовим тиловим забезпеченням;
- ASAS – система управління розвідкою і радіоелектронною боротьбою (РЕБ);
- FBCB2 – система управління силами на полі бою (є тільки в ТЛУ).

Потреби в пересиланні повідомлень для цих систем управління забезпечуються:

- в ОТЛУ (корпусний та дивізійний ешелони) – територіальною системою загального користування (Army Common User System – ACUS);
- у ТЛУ (бригадний та нижчі ешелони) – бойовою системою радіозв'язку (Combat Net Radio – CNR).
- ще дві телекомунікаційні складові: армійська система розподілу даних (Army Data Distribution System – ADDS) і довідкова інформаційна система

(Broadcast System – BS) охоплюють обидві ланки (дивізійний, бригадний та нижчі ешелони).

Досконалість цієї системи робить її цікавою як можливий прототип для майбутньої системи зв'язку та АСУВ Збройних Сил України.

**Склад ТКК ОТЛУ і взаємодія субсистем комплексів.** Сітчасті ТКК в арміях країн НАТО почали впроваджувати з 70-х років XX ст.: RITA-2000 у Франції, PTARMIGAN у Великобританії, SOTRIN в Італії, AUTOCO-90 в Німеччині, EriTac у Швеції, MSE в США, IRIS в Канаді. Цим комплексам властива аналогія структури, складу елементів і основ бойового застосування. Розглянемо їх на прикладі MSE (Mobile Subscriber Equipment) [64].

Комплекс MSE\_призначений для реалізації територіальної ACUS в армійському корпусі 5 дивізійного складу армії США. Загальна територія, на якій забезпечується зв'язок комплексом MSE, становить близько  $40\,000\text{ км}^2$  (250 км по фронту і 160 км в глибину). Територія поділяється на корпусну і дивізійні зони відповідальності AOR (рис. 7.9).

Повідомлення між абонентами передаються шляхом доступу до багатоканальних ліній зв'язку, які поєднують між собою ВЗ (Node Center – NC), розташовані на відстані прямої видимості. Кожен вузол має можливість створювати до 4-х ліній прямої видимості з нормативною відстанню близько 40 км. Пропускна спроможність однієї багатоканальної лінії зв'язку становить 256 кбіт/с (16 каналів по 16 кбіт/с); загальна пропускна спроможність 4-х ліній – 1024 кбіт/с.

Доступ всіх абонентів до NC по горизонталі й ієрархічній вертикалі здійснюється за допомогою елементів доступу 3-х різновидів (рис. 7.9, 7.10), якими є:

– великі вузли доступу (Large Extension Node – LEN), які використовуються для підключення абонентів штабів корпусного і дивізійного ешелонів (головного КП, тилового КП); загальна кількість абонентського доступу до LEN становить: Тлф ліній – 26; ліній передачі даних – 4; запасних ліній – 2; всього – 32 лінії з пропускною спроможністю 16 кбіт/с кожна; LEN передають повідомлення абонентів до NC за допомогою радіоліній прямої видимості з пропускною спроможністю 512 кбіт/с;

– малі вузли доступу (Small Extension Node – SEN), які використовуються для підключення абонентів штабів тактичного ешелону (бригада, батальйон); загальна кількість ліній абонентського доступу до SEN становить 16, з них: Тлф ліній – 10, ліній передачі даних – 4, запасних ліній – 2; передача повідомлень від SEN до NC здійснюється багатоканальною радіолінією прямої видимості з пропускною спроможністю 256 кбіт/с;

– точки радіодоступу (Radio Access Unit – RAU), які забезпечують підключення мобільних абонентів, що перебувають на відстані до 15 км. Є дві точки радіодоступу до кожного NC: локальна RAU, що розташована безпосередньо на території розміщення NC і пов'язана з комутаційним обладнанням

NC кабельною лінією; віддалена RAU, що розташована на відстані від NC до 10 км і пов'язана з NC радіолінією прямої видимості. Обидві RAU подібні щодо можливостей підключення мобільних абонентів, а саме: абоненти пов'язані з RAU радіолініями НВЧ (30–88 МГц); кількість водночас працюючих радіоліній доступу мобільних абонентів зі швидкістю передавання 16 кбіт/с в кожній становить 8; кількість абонентів, що обслуговуються однією RAU досягає 50; абоненти, що зареєструвалися в одній RAU, автоматично переключаються до іншої (сусідньої) RAU у разі переміщення з однієї зони обслуговування до іншої; загальна швидкість пересилання повідомлень до одного NC від віддаленої та локальної RAU становить 256 кбіт/с.

Загальна кількість абонентів, що обслуговуються комплексом MSE на території відповідальності, досягає 26 100, з них: мобільних абонентів – 1900; абонентів, що передають дані – 16 000; абонентів, що передають Тлф несекретні повідомлення – 8200.

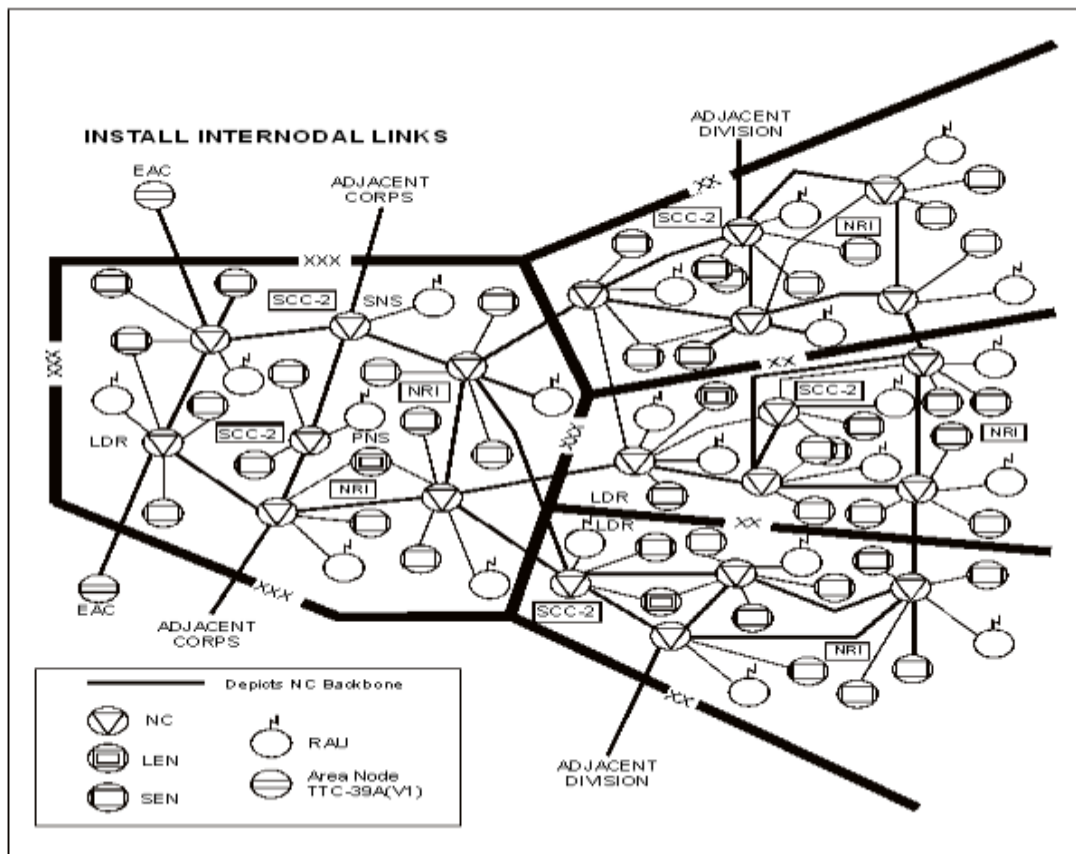


Рис. 7.9. Територіальний розподіл елементів комплексу MSE

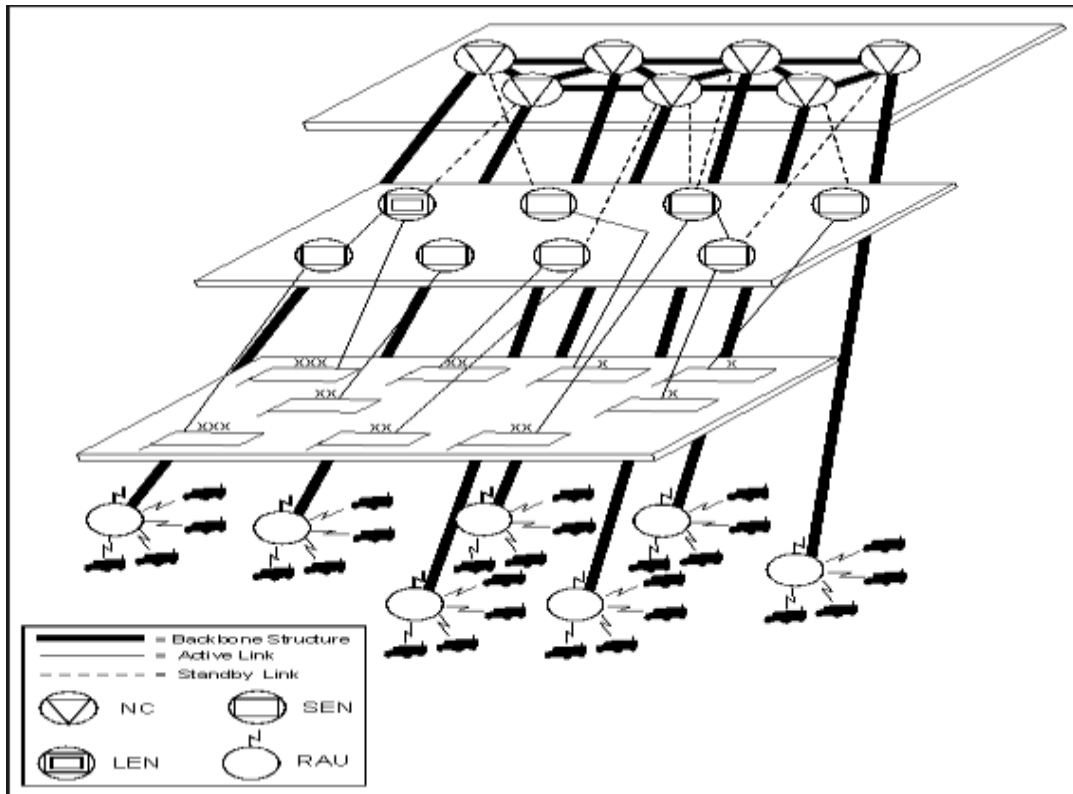


Рис. 7.10. Архітектура доступу абонентів до вузлових центрів (NC) комплексу

**Абонентські кінцеві засоби зв'язку** є штатною технікою абонентів і обслуговуються ними. Це цифрові телефони нетаємного зв'язку; цифрові телефони таємного зв'язку; факсимільні апарати; апаратура радіозв'язку мобільних абонентів (Mobil Subscriber Radio Terminal – MSRT), зокрема транкінгового зв'язку. Всі кінцеві засоби передають і приймають ЦС зі швидкістю 16 кбіт/с. Телефонні апарати таємного і нетаємного зв'язку забезпечують передавання і відтворення мовних повідомлень, а також даних. Апаратура MSRT обладнана лише телефоном таємного зв'язку, який може передавати і дані. Цифрові факсимільні апарати передають чорно-білі зображення (8 рівнів сірого), до яких належать рукописні повідомлення, діаграми та ін.

**Технології інтеграції видів зв'язку в ТКК ОТЛУ.** У комплексі MSE [39] інтеграція різноманітних повідомлень відбувається шляхом використання двох технологій: *дейтаграмної передачі* пакетів комп'ютерних даних; створенням *комутованих віртуальних каналів* зв'язку для передачі мовних і факсимільних повідомлень. Для забезпечення дейтаграмної передачі виділяється близько 10% каналів у LEN і створюється *пакетна мережа* (рис. 7.11).



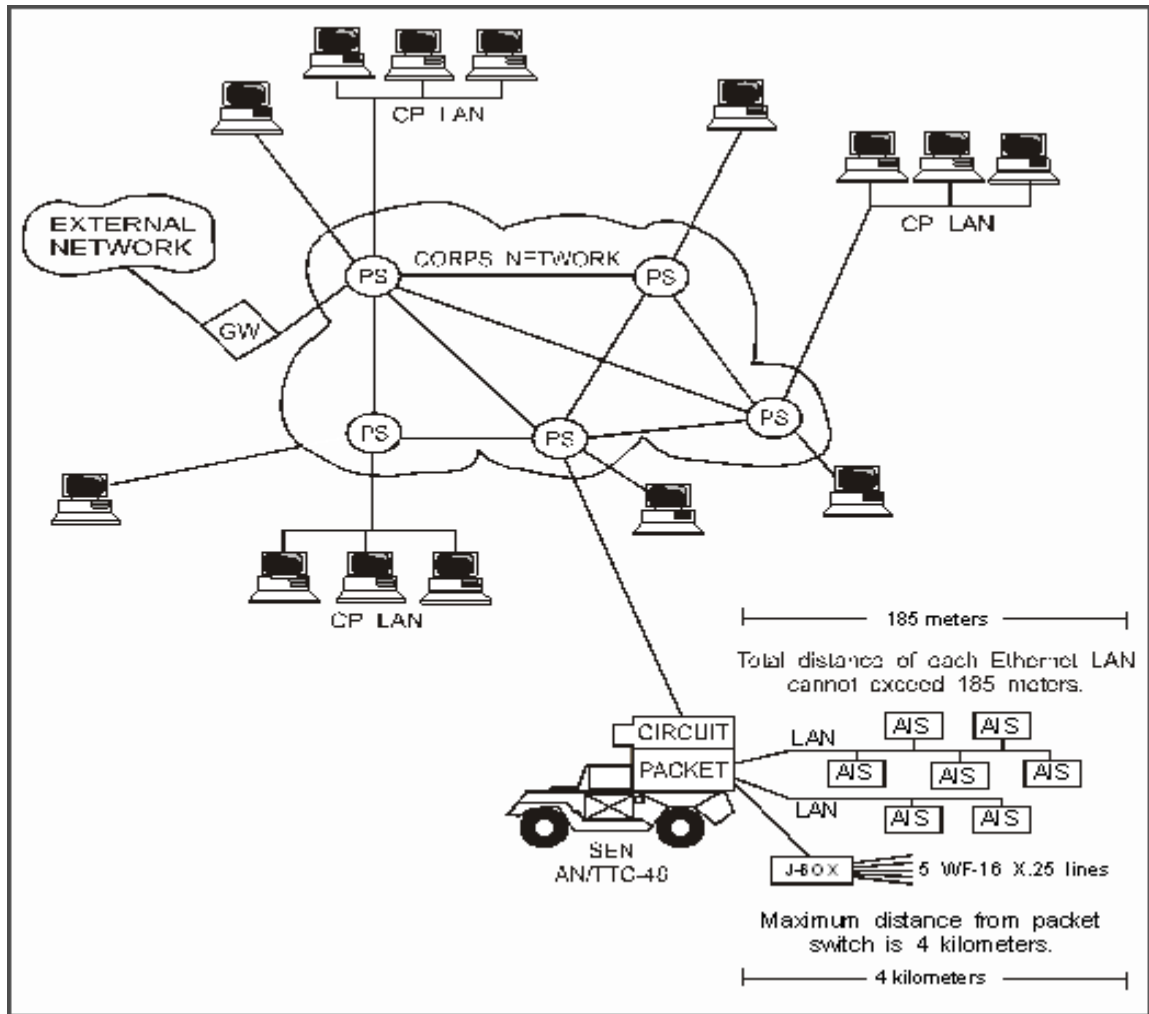


Рис. 7.11. Взаємозв'язок засобів автоматизації і телекомунікаційної транспортної системи операційно-тактичної ланки управління

Транспортування комп'ютерних даних виконується відповідно до протоколів *X.25* і *TCP/IP* взаємодії кінцевого і мережного обладнання (рис. 7.11). Пакетні комутатори (Packet Switch – PS) пакетної мережі (PN) входять до складу 3-х елементів MSE: вузлових центрів (NC); малих вузлів доступу (SEN); великих вузлів доступу (LEN). Підключення комп'ютерів до мережі відбувається через PS, що входять до складу SEN і LEN (рис. 7.11). Протоколи *X.25* використовуються для транспортування даних від окремих комп'ютерів (до SEN передбачено доступ 5 комп'ютерів, до LEN – 7), які можуть бути віддалені від вузлів доступу на відстань до 4 км. Протоколи *TCP/IP* використовуються для підключення комп'ютерів, об'єднаних в локальну мережу (LAN); максимальна кількість комп'ютерів, що об'єднуються однією LAN, становить 30; максимальна довжина кабелю, до якого підключаються комп'ютери – 185 м. До SEN можуть бути підключені 2 LAN, до LEN – 4 LAN. Швидкість пересилання даних від комп'ютерів LAN становить 96 кбіт/с; від відокремлених комп'ютерів – 16 кбіт/с.

Загалом MSE відзначається задовільною пропускнуною спроможністю, високою мобільністю, стійкістю і безпекою зв'язку. Загальна кількість елементів комплексу розрахована на потреби армійського корпусу США повного складу (5 дивізій) і становить: вузлових центрів – 42–47 (з них: 22 – корпусного ешелону, 20–30 – дивізійного ешелону, по 4–5 у кожній дивізії); малих вузлів доступу – 264; великих вузлів доступу – 9; точок радіодоступу – 112.

У 90-ті роки XX ст. дивізійний комплекс STORCZVK–2000 аналогічного призначення був впроваджений в армії Польщі. До його складу увійшли 4 вузлових центри, 3 великих вузли доступу, 24 малих вузлів доступу, тобто насиченість дивізії ВЗ приблизно така сама, як у MSE. Розроблення комплексу тривало майже 10 років.

## 7.5. Телекомунікаційні комплекси тактичної ланки управління армії США

**Комплекси передачі даних [14; 50–57].** Відомі два діючих комплекси такого рівня:

– Joint Tactical Information Distillation System (JTIDS) – міжвидовий об'єднаний комплекс (система) розподілу тактичної інформації, який призначений для задоволення потреб армії, авіації і флоту (поширений, головним чином, в авіації);

– Enhanced Position Location Reporting System (EPLRS) – удосконалений комплекс місцевизначення і пересилання даних, призначений для забезпечення потреб нижчих ешелонів управління армії (сухопутних військ) США.

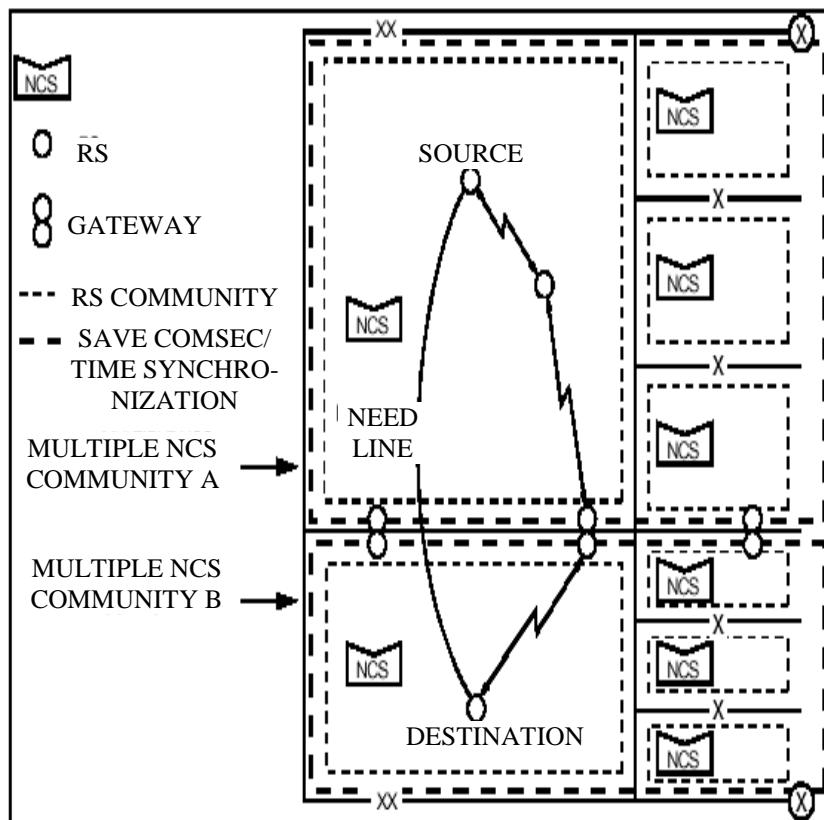


Рис. 7.12. Територіальний розподіл елементів комплексу EPLRS армії США

Елементи та їх територіальний розподіл (рис. 7.12). До складу комплексу входять мережні станції управління (Network Control Station – NCS) і абонентські радіостанції (Radio Set – RS). RS розміщують у вузлах

мережі. У бригадній підсистемі перебувають 1 NCS і до 470 RS. У складі дивізії таких підсистем – 4, одна з яких обслуговує дивізійну територію відповідальності, решта – бригадні. Підсистеми взаємодіють між собою на основі часової синхронізації і використання однакових криптографічних ключів.

Всього на території дислокації дивізії (47×47 км) може діяти до 1000 RS із середньою відстанню між ними 1–2 км. Зв'язок між сусідніми RS забезпечує антена завдовжки 1 м, що відповідає умовам поля бою. Мережі різних дивізій корпусу можуть працювати спільно, завдяки радіопередачі повідомлень між дивізійними NCS через шлюзи, створювані парами RS з різних дивізій.

RS є штатною технікою користувачів. Мережні станції управління NCS є штатними засобами дивізійного батальйону зв'язку. Відповідальність за організацію бойового використання комплексу покладена на заступника начальника штабу з питань зв'язку (офіцер G6), який одночасно очолює батальйон зв'язку дивізії.

NCS монтуються на пересувних автомобільних платформах і мають у своєму складі необхідну зв'язкову і комп'ютерну техніку з необхідним програмним забезпеченням, а також техніку визначення свого місцеположення

методами супутникової навігації. Залежно від різновиду користувачів є чотири варіанти RS (рис. 7.13): *переносні радіостанції*, що призначені для індивідуального користування; *перевізні радіостанції*, які призначені для обладнання пересувних платформ – автомобілів, танків та ін.; *авіаційні радіостанції*, що призначені для обладнання літаків та вертольотів;

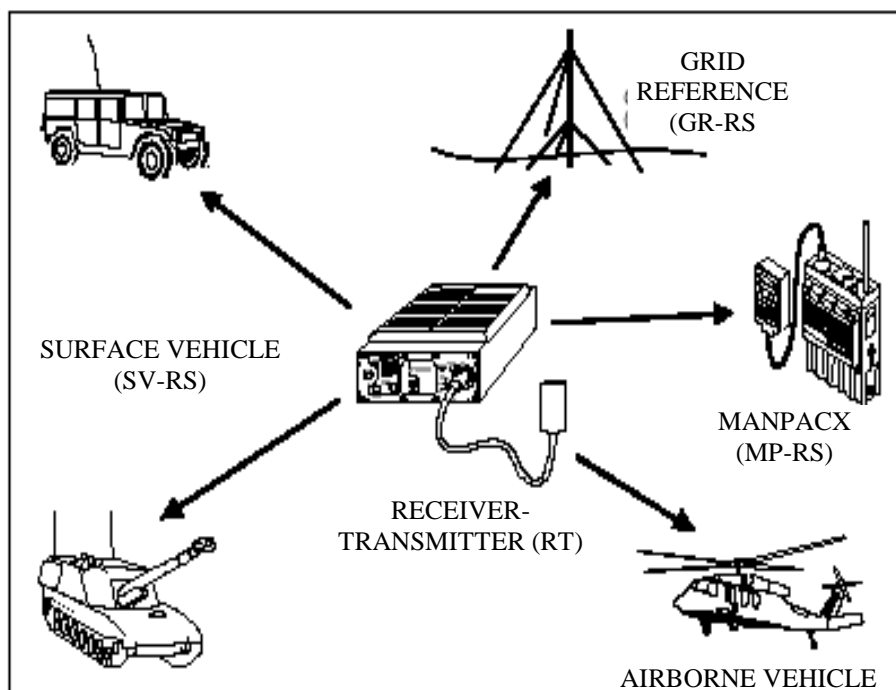


Рис. 7.13. Різновиди радіостанцій (RS) комплексу EPLRS

а також для створення шлюзів між підмережами різних дивізій.

**Суміщення функцій зв'язку і місцевизначення в комплексі EPLRS.** Спільна робота значної кількості RS в складі базової підсистеми комплексу EPLRS забезпечується часовим розподілом каналів (ЧсПК); а робота без вза-

емних завад множини базових підсистем складної системи –розподілом частотного ресурсу між підсистемами.

Часовий розподіл каналів полягає в періодичному черговому наданні кожному абоненту інтервалів часу (тайм-слотів, чи просто слотів), упродовж яких відбувається повна передача коротких повідомлень або окремих пакетів тривалих повідомлень. Слоти (1,95 мс) об'єднуються в кадри (0,25 с), кадри – в епоху (64 с) (рис. 7.14). В одному слоті залежно від форми сигналів передається 80, 160 або 240 бітів. Кількість слотів, що надається абоненту упродовж однієї епохи, залежить від потреб інформаційного обміну. Швидкість пересилання обчислюється кілобітами в секунду (дуплексних ліній передачі даних – 1920 кбіт/с).

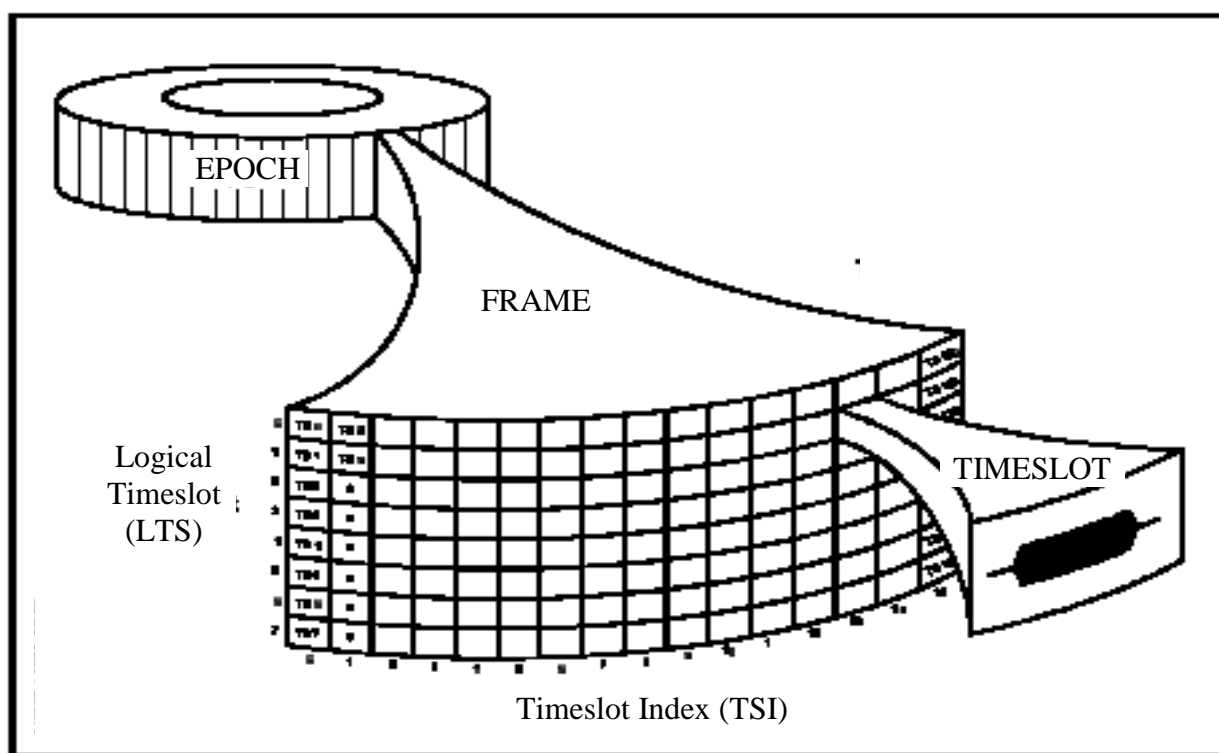


Рис. 7.14. Складові часового розподілу каналів комплексу EPLRS

*Локаційні функції* в комплексі EPLRS реалізуються завдяки надійній синхронізації спільної роботи всіх RS, випромінюванню сигналів RS по черзі, наявності в кожному слоті захисного інтервалу (тривалістю у півслота), упродовж якого випромінювання не відбувається. Така тривалість необхідна для задоволення потреб авіаційних абонентів у вимірюванні відстаней до 300 км, для наземних користувачів вона надмірна (площа наземної базової мережі (47×47 км)).

*Комунікаційні характеристики.* У межах EPLRS створюються керівна мережа для пересилання формалізованих службових повідомлень і комунікаційна мережа для передавання комп'ютерних даних. Керівні повідомлення

передаються між RS шляхом їх ретрансляції через NCS. Пересилання даних відбувається між RS, до яких підключені комп'ютери, шляхом ретрансляції через інші RS. Сукупність кінцевих і ретрансляційних RS, а також середовища поширення сигналів між ними складає радіорелейну лінію (РРЛ, чи *needline*– NL). У бригадній підсистемі кількість таких РРЛ сягає 750; в дивізійній системі – 1900. Одна і та сама RS може одночасно входити до складу різних РРЛ, а їх може бути до 5 різновидів: дуплексні; з груповою адресацією; з детермінованим доступом; з вільним доступом; радіолінії типу “точка–точка”. Кількість ретрансляцій може досягати 4. Швидкість пересилання інформації в РРЛ – 1,92; 3,84; 5,76 *кбіт/с*. Розподіл часового ресурсу комплексу між різними радіолініями комунікаційної мережі (256 слотів за секунду) становить одну із складових планування бойового застосування комплексу.

Комп'ютерні дані пересилаються постійними віртуальними каналами згідно з армійським або авіаційним протоколами, якими визначається ємність пакета відповідно 1024 і 480 *біт*. У RS залежно від виду сигналів у слотах, ємність зменшується до 80, 160 або 240 *біт*.

Площа покриття бригадної комутаційної мережі може бути збільшена вчетверо, але без виконання навігаційної функції на додаткових площах.

*Навігаційні характеристики* полягають у виконанні таких функцій: місцевизначення абонентів (RS) і позначення місцеположення наперед визначених об'єктів на території покриття комплексу; ідентифікації абонентів і надання їм навігаційної допомоги.

*Місцеположення* визначається у тривимірному просторі відносно 3-х опорних RS. Розрахунок робиться на NCS на основі даних від абонента й опорних RS. Відомості пересилаються керувальною мережею у вигляді картографічних координат. Точність вимірювань часу 12,5 *нс*.

*Місцеположення* наперед визначених об'єктів (PDI) та ліній, що їх обмежують, робиться для надання навігаційної підтримки дій абонентів. Комплекс дає змогу позначити на дисплеї 104 об'єкти (*рис. 7.15*).

*Навігаційна підтримка* (допомога) полягає в наданні абонентам послуг двох видів: сигналів тривоги у разі перетину абонентом границь визначених зон (*zone*), проходів (*lane*), а також ліній розділу території поля бою (*рис. 7.15*); визначення напрямку до заданих об'єктів. Ці послуги застерігають абонентів від потрапляння на мінне поле, в зону артилерійського вогню тощо.

*Ідентифікація* абонентів полягає у визначенні належності будь-якої RS на території відповідальності NCS до певної військової частини. Ідентифікаційні довідки надаються абонентам згідно з сигналами запиту, що надходять від них на NCS; ідентифікаційне повідомлення набуває вигляду 8-літерної абрєвіатури.

**Комплекси бойового радіозв'язку CNR** [12; 29] забезпечують управління в нижніх ланках (бригада – взвод) і пересилають мовні повідомлення і дані.

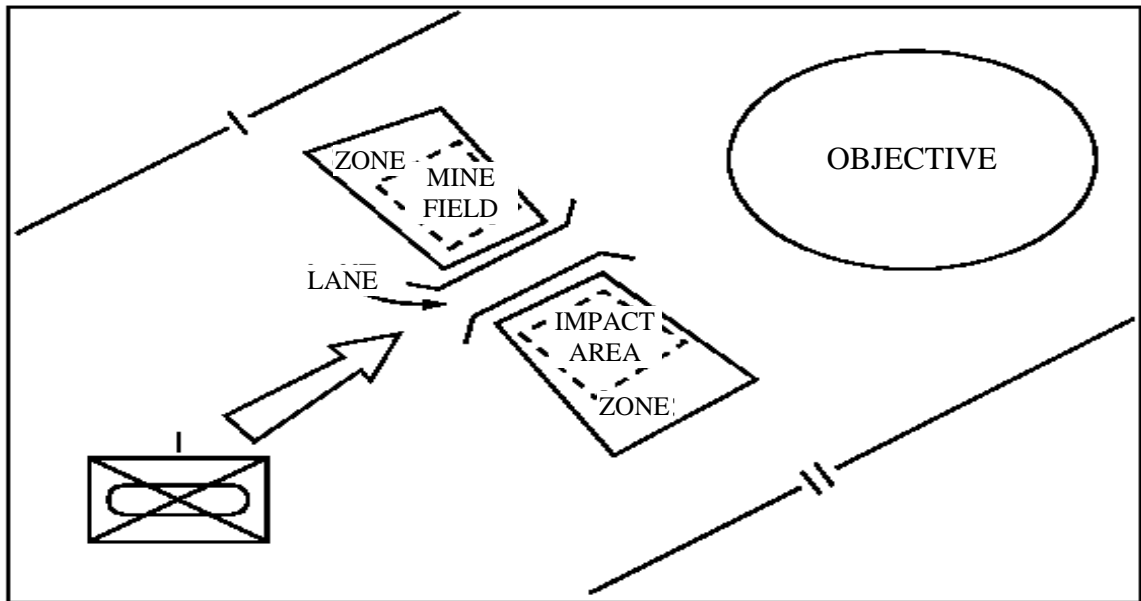


Рис. 7.15. Ілюстрація можливостей навігаційної підтримки абонентів комплексу EPLRS (зони та проходи)

Засоби CNR увесь час удосконалюються. Вони забезпечують цифровий завадозахищений засекречений зв'язок на одиниці – десятки кілометрів до самих нижніх ешелонів управління. Зараз ці засоби представлені комплексами SINCGARS і NTDR. Дані в них пересилаються згідно з протоколами тактичного Internet, в основу якого покладені комерційні стандарти Internet.

Засоби NTDR використовуються в ешелонах бригада – батальйон, де існують тактичні операційні центри. Це обумовлено підвищеною пропускною спроможністю NTDR (200–288 *кбіт/с*, яка надає змогу пересилати і відеозображення) і більшими обсягами інформації, яка циркулює між тактичними операційними центрами. Зв'язок між NTDR дублюється за допомогою EPLRS.

Засоби удосконаленого SINCGARS забезпечують пересилання повідомлень між елементами ротного і взводного ешелонів. Це обумовлено меншою пропускною спроможністю SINCGARS (до 16 *кбіт/с*) і тим, що його основним видом зв'язку є Тлф. Він краще відповідає потребам ротного і взводного ешелонів. Портативним варіантом SINCGARS є “Спірхед”, що експлуатується з 2002 року, і забезпечує швидкість передачі даних не більш як 16 *кбіт/с*. Важливими елементами удосконаленого SINCGARS є Internet-контролери, тобто маршрутизатори тактичного Internet, які з'єднують комп'ютери нижчих ешелонів з мережами засобів SINCGARS. Найсучасніша переносна станція супутникового зв'язку SPITFIRE теж може працювати у тактичному Internet, для чого її підключають до кінцевого обладнання через інтерфейси RS-232, RS-432.

Взаємозв'язок ТЛУ з ОТЛУ (дивізією і корпусом) здійснюється підключенням локальної обчислювальної мережі (LAN, (рис. 7.16)) бригадного тактичного операційного центру до вузлів доступу територіальної системи за-

гального користування з подальшим використанням засобів комплексу MSE. Шлюзом між ними є мобільна платформа офіцера зв'язку (машина G6/S6), засоби якої створюють інтерфейс між локальною обчислювальною мережею (ЛОМ) тактичного операційного центру і MSE. G6, S6 – це умовні позначення керівників з питань зв'язку в ешелонах бригада / батальйон і корпус / дивізія. Крім того, засоби машини G6/S6 забезпечують доступ до каналів:

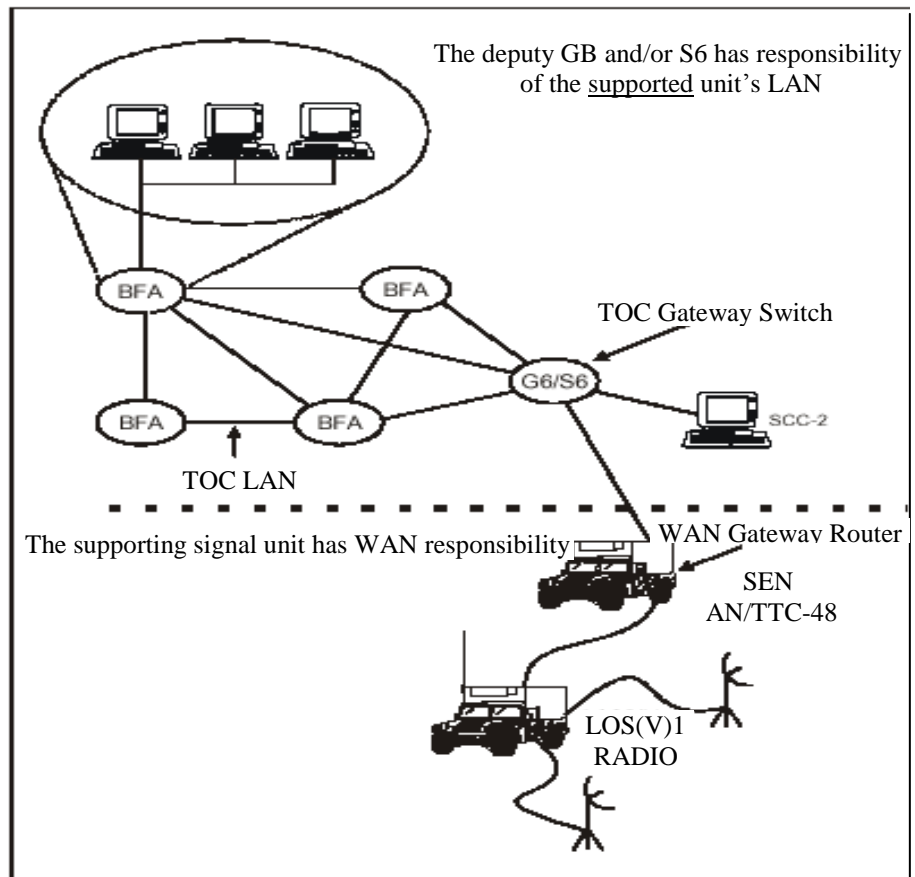


Рис. 7.16. Локальна комп'ютерна мережа (LAN) бригадного ТОС і її взаємозв'язок з засобами глобальної телекомунікаційної мережі (WAN) корпусного ешелону

трьох мереж удосконаленого SINCGARS, двох мереж EPLRS, каналів NTDR; приймання позиційних і навігаційних даних; зв'язок з мобільними платформами кожного ешелону.

**Рухомі пункти управління** застосовуються в ОТЛУ (перевізний) і в ТЛУ (мобільний, розташований на автомобілях чи вертольотах).

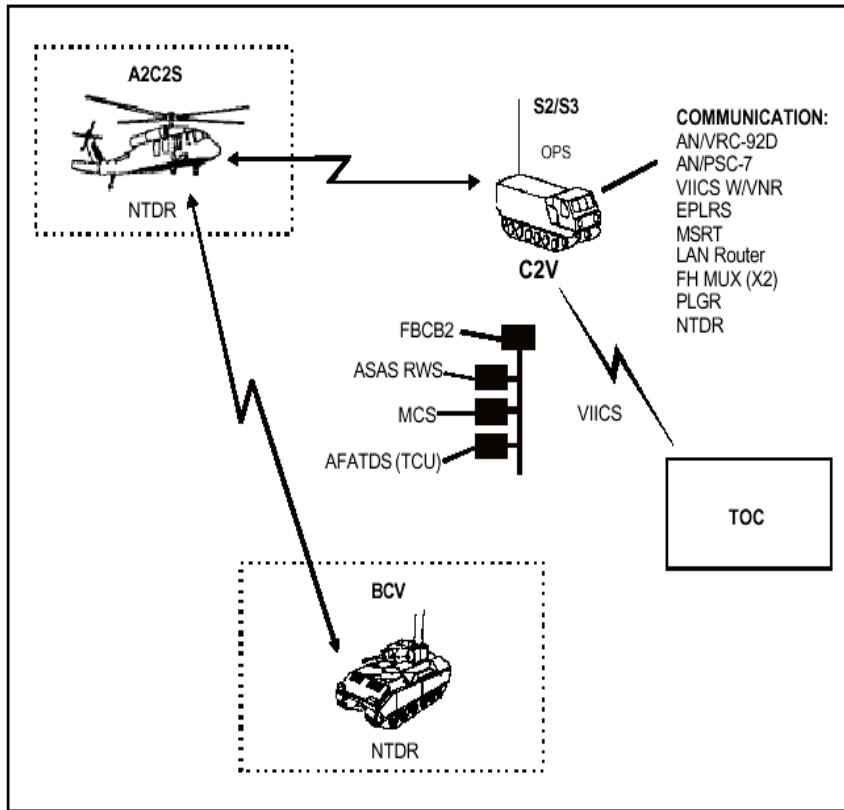
*Рухомі платформи командування та управління тактичних ешелонів* (бригада, батальйон та нижче) включають три складові:

- бойові машини командування та управління (Command and Control Vehicle – C2V);
- вертольоти командування та управління (Army Airborne Command and Control System – A2C2S);
- машини бойового командування (Battle Command and Control Vehicle – BCV).

Перші призначені для розміщення пересувних командних пунктів – ТАС (рис. 7.17); другі – для розміщення авіаційних КП (рис. 7.17, 7.18); треті для розміщення на пересувних платформах командирів бригадного і батальйон-

ного ешелонів, а також командирів груп, що створюються для вирішення часткових (ситуаційних) бойових завдань (рис. 7.17).

Телекомунікаційні засоби, якими комплектуються C2V і A2C2S, включають всі існуючі на цей час засоби CNR і ADDS. Підключення TAC (наземного чи авіаційного)



до ACUS з подальшим виходом до будь-якого абонента здійснюється створенням складеної лінії: TAC – TOC – ACUS. Підключення TOC до ACUS забезпечується рухомою платформою офіцера зв'язку, що має назву машини G6/ S6, де G6, S6 – умовні позначення офіцерів зв'язку, відповідно, бригадного/ батальйонного і корпусного/ дивізійного ешелонів (рис. 7.19). Рухому платформу BCV, що застосовують для розміщення командних осіб, комплекту-

Рис. 7.17. Рухомі засоби командування та управління бригадного ешелону

ють засобами зв'язку згідно з потребами виконання бойових завдань, як правило, засобами CNR і ADDS. Залежно від умов, в яких перебувають командні особи на полі бою, розрізняють два різні види платформ BCV: M2 BCV, що є броньованою гусеничною машиною полегшеного типу; M1 BCV, що є спеціально обладнаним танком.

Загальні властивості рухомих платформ (C2V і BCV) полягають у тому, що вони є елементами шостої складової бойових функціональних областей (BFA), яка діє в нижніх ешелонах командування та управління (бригада і нижче), і називається системою управління силами на полі бою (Force XXI Battle Command – Brigade and Below – FBCB2, див. рис. 7.8). Засоби цієї складової на основі взаємодії (інтеграції) із засобами автоматизації інших BFA (що наведені вище) забезпечують формування повідомлень, необхідних для ефективного ведення бойових дій тактичної ланки: бригада – батальйон – рота – взвод. Перелік цих повідомлень включає:

- ситуаційні попередження (Situation Awareness – SA) щодо місцеположення власних і ворожих сил, включаючи рухомі;



– дані розвідки стосовно чинників, які впливають на ведення бойових дій;

– навігаційні дані стосовно руху на полі бою (включаючи відомості про зони вогневого ураження та мінні поля);

– картографічні дані (кольорові електронні карти) з позначенням суттєвих тактичних елементів;

– метеорологічні дані тощо.

Перелічені дані в реальному часі надходять в нижчі тактичні ешелони, що забезпечує автоматизоване оброблення баз даних усіх бойових функціональних областей.

Поряд з інформаційними даними система *FBCB2* забезпечує доведення командних повідомлень. Телекомунікаційні засоби *CNR* і *ADDS* забезпечують доведення повідомлень до абонентів усіх ешелонів тактичної ланки управління.

**Загальна характеристика тактичної системи радіозв'язку *JTRS*.** На озброєнні США в ОТЛУ більш як 15 років перебуває одноканальна цифрова радіостанція *УКХ* діапазону *SINCGARS*, четверте і п'яте ("Спірхед") удосконалені покоління якої використовуються зараз. Нові принципи організації зв'язку на базі автоматизованих систем розподілу даних і прив'язки до місцевості спричинили створення таких систем, як *JTIDS*, *MIDS*, *ОСНОД*, *EPLRS*. З 1995–2000 років на озброєння збройних сил США надходять радіостанції *NTDR* з підвищеною швидкістю пересилання даних (200–288 *кбіт/с*) для обслуговування АСУВ на рівні бригад і батальйонів, а також переносна станція супутникового зв'язку *SPITFIRE* (32 *кбіт/с*).

І все ж таки реальна швидкість передачі відстає від вимог, нижня границя яких зараз визначається рівнем 500 *кбіт/с*. Крім того, номенклатура цих радіостанцій завелика, для кожного типу необхідні свої запчастини і ремонтні комплекти, що призводить до значних експлуатаційних затрат. Завдання, які може виконувати кожен тип радіостанцій, жорстко визначаються її апаратними можливостями, тому для виконання інших завдань необхідно підбирати радіостанцію з відповідними можливостями.

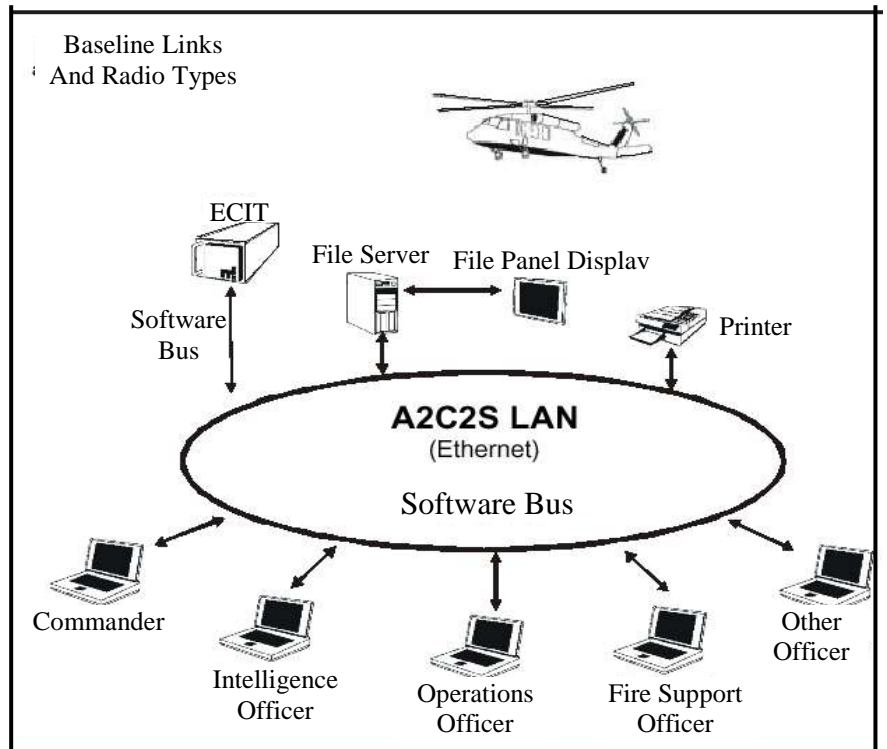


Рис. 7.18. Технічна архітектура авіаційного КП бригадного ешелону

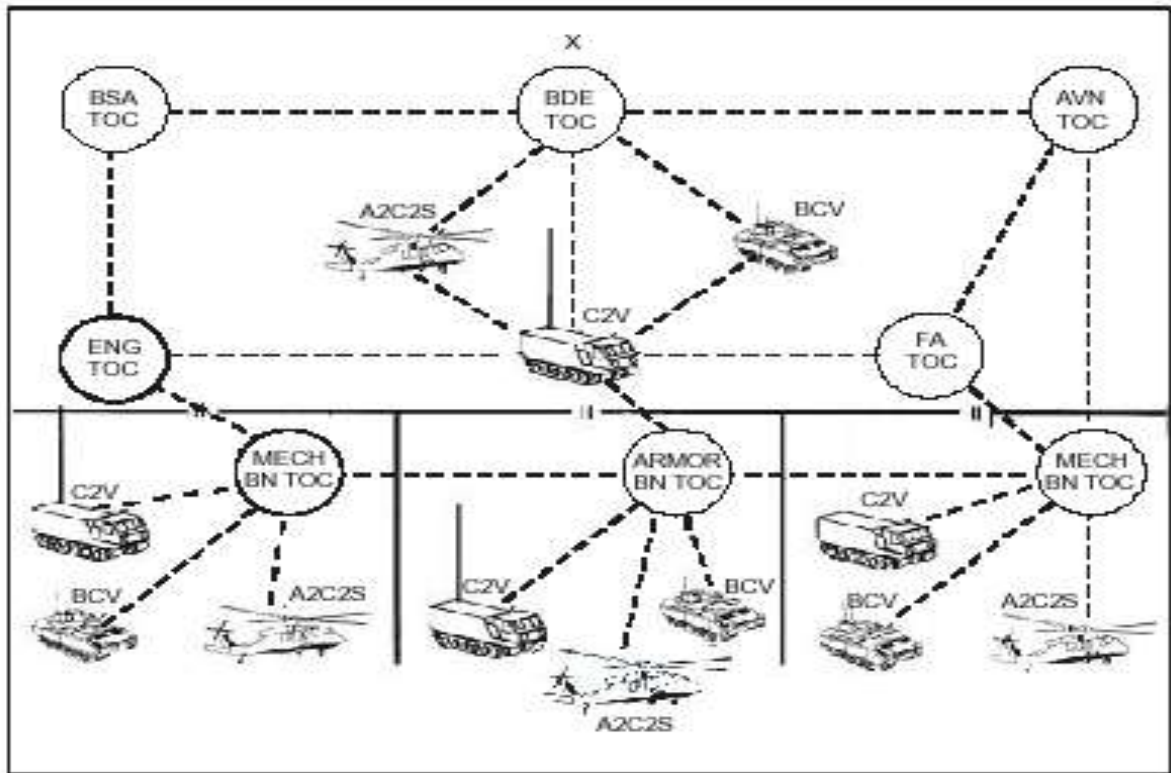


Рис. 7.19. Рухомі телекомунікаційні платформи (машини G6/S6) в тактичних ешелонах армії США (бригада, батальйон)

Вищезазначені недоліки сучасних засобів зв'язку призвели до необхідності розроблення і виконання в США програми створення принципово нової архітектури засобів радіозв'язку, яка дала б можливість формувати радіостанцію відповідно до завдань, які виконуються, з окремих модулів різних виробників, що реалізують типові функції, і змінювати режим роботи і форму сигналу перепрограмуванням. Важливо, щоб програмне забезпечення було створене на основі єдиного операційного середовища, а інтерфейси модулів відповідали визначеним фізичним і електричним параметрам. Ця програма і відповідна система отримали назву **JTRS** (Joint Tactical Radio System). Вона фінансується усіма видами збройних сил США. Аналогічні програми існують в Німеччині, Франції і Великобританії, але за масштабами і темпами реалізації вони значно поступаються американській.

Метою робіт за програмою JTRS є створення для усіх видів збройних сил США уніфікованої модульної програмованої радіостанції на основі застосування архітектури відкритих систем, яка дасть змогу широко застосовувати комерційні технології та технічні рішення, підвищити конкуренцію між виробниками і зменшити затрати на закупівлю та експлуатацію засобів радіозв'язку.

JTRS має бути єдиним для всіх видів збройних сил сімейством радіостанцій з широкими функціональними можливостями, високою пропускнуою

спроможністю, забезпечувати зв'язок як у межах, так і за межами прямого бачення. Станції мають перекривати діапазон частот від 2 МГц до 2 ГГц, одночасно приймати і передавати мовну, відео- та цифрову інформацію на декількох каналах. Габарити станцій сімейства JTRS різні: від портативних приймачів-передавачів (ПрП) до великогабаритних станцій. Усі модифікації мають бути електромагнітосумісними і розрахованими на подальше поліпшення можливостей і характеристик. Спосіб модуляції сигналу станцій JTRS визначається її програмним алгоритмом. Для переорієнтації станції на виконання інших завдань достатньо її перепрограмувати. Станція JTRS має бути здатною передавати і приймати радіосигнал з використанням більш як 40 різних способів модуляції. Це одне з найскладніших завдань, але його розв'язання дасть можливість підтримувати зв'язок з існуючими радіостанціями, які ще упродовж багатьох років перебуватимуть на озброєнні збройних сил США.

Створення програмованих радіостанцій пов'язано з низкою технічних проблем. Одна з них полягає у створенні високошвидкісних АЦП і ЦАП, які дали б змогу перейти на цифрову обробку якнайближче до антени; друга – полягає у виборі між стандартним процесором цифрової обробки сигналів і спеціалізованим процесором. Стандартний процесор легше перепрограмувати, але він менш продуктивний; у спеціалізованого вища продуктивність, але вужча область застосування.

Повний перехід на радіостанції з архітектурою JTRS заплановано здійснити після 2010 року, коли закінчиться період експлуатації сучасних засобів радіозв'язку. Але вже зараз деякі новинки з програми JTRS застосовуються у ході модернізації існуючих радіостанцій, пропонуються нові радіостанції, в яких вимоги програми JTRS реалізовані неповною мірою. Це стосується сім'ї програмованих ширококутових тактичних КХ-УКХ радіостанцій RF-5800 “Фалкон-2” фірми “Харрис”, в усіх станціях якої є блоки захисту інформації і каналу зв'язку. Вони можуть працювати в режимі ППРЧ, оптимізовані для пересилання даних і мають зручний для користувача інтерфейс. Разом станції цієї сім'ї перекривають діапазон частот 1,6–512 МГц.

*Радіостанція RF-5800H-MP* працює в діапазоні 1,6–60 МГц. Швидкість пересилання даних у КХ діапазоні становить 9,6 кбіт/с, в УКХ діапазоні – 16 кбіт/с, вихідна потужність відповідно 10 і 20 Вт. Маса станції без батарей 4,5 кг. Зв'язок у КХ діапазоні встановлюється і підтримується автоматично з автоматичним пошуком частоти з найсильнішим і стійкішим сигналом.

*Ранцева радіостанція RF-5800V-MP* діапазону 30–108 МГц призначена для пересилання слів і даних зі швидкістю 64 кбіт/с в мережах автоматизації управління військами ОТЛУ СВ, може працювати з формами сигналів усіх радіостанцій цього діапазону. Убудований модуль 12-канального Прм супутникової навігаційної системи NAVSTAR дає змогу визначати і відображати на екрані станції інформацію щодо географічних координат, висоту, швидкість і напрямок руху військової техніки, на якій встановлена радіостанція,

час і азимут на контрольну точку. Станція має такі основні характеристики: частота ППРЧ 300 стрибків за секунду, максимальна потужність 10 Вт, маса з блоком батарей 3,6 кг, габарити 183×81×343 мм.

Доповненням до радіостанції RF-5800V є *портативна радіостанція УКХ* діапазону RF-5800V-НН, яка може використовуватись для розширення мережі зв'язку, побудованої на базі радіостанцій RF-5800V, до ланки “взвод – відділення – окремий солдат”.

*Тактична радіостанція RF-5800M* (AN/PRC-117F за номенклатурою збройних сил США) діапазону 30–512 МГц призначена для роботи:

- в мережах командного радіозв'язку СВ (діапазон 30–88 МГц);
- в мережах зв'язку цивільних служб;
- в мережах зв'язку з літаками ВПС і вертольотами армійської авіації (225–400 МГц);
- в мережах супутникового зв'язку (225–400 МГц).

Доповненням до радіостанції RF-5800M є *портативна модель RF-5800M-НН* з тим самим діапазоном робочих частот і швидкістю пересилання даних 16 кбіт/с.

Заслуговує на увагу багатодіапазонна багатфункціональна програмована портативна УКХ-радіостанція нового покоління AN/PRC-148 фірми “Тейлз”, яка призначена для персонального зв'язку в підрозділах СВ і морської піхоти США та між ними. Станція випускається в двох модифікаціях: AN/PRC-148(V)1 – корабельний варіант і AN/PRC-148(V)2 – для дій у міських умовах. Обидва варіанти є легкою надійною компактною цифровою радіостанцією, яка може тривалий час працювати від власних акумуляторів. Станція AN/PRC-148 може функціонувати в режимах радіотелефонного зв'язку і пересилання даних в наземних мережах командного радіозв'язку, в мережах цивільних служб, для зв'язку з літаками і вертольотами, як радіомаяк. Станція функціонує в діапазоні 30–512 МГц з шагом сітки частот 5 і 6,25 кГц, має 100 попередньо настроєваних каналів, здатна працювати в режимі ППРЧ, важить 1 кг, її габарити 194×66×38 мм. Максимальна швидкість пересилання даних 16 кбіт/с, максимальна потужність випромінювання 5 Вт, тривалість роботи від акумулятора 8 год. Середнє напруження на відмову 11 000 год. Перша модель витримує перебування під водою на глибині 20 м упродовж 2 год. Індикатори та органи управління дають змогу працювати вночі через пристрій нічного бачення. Вартість – \$7500 тис.

Одним із перспективних напрямів розвитку оснащення піхотинця, що перебуває в передовій тактичній зоні, є розроблення його персональної інформаційної системи [7; 13; 74]. До складу системи мають увійти: персональний засіб радіозв'язку, засіб нічного бачення, цифровий компас, персональний комп'ютер, лазерний далекомір, нашоломний дисплей, Пзм сигналів системи NAVSTAR, елементи живлення, датчики, антенно-фідерна система, з'єднувальні проводи. Частина елементів системи буде деталями обмундиру-

вання і спорядження, через що вивчається можливість використання електропровідних тканин та інших матеріалів. Уже є прототипи антен і мініатюрних приймачів системи NAVSTAR, які мають бути вмонтовані в спорядження піхотинця і розташовуватись на його плечах. Обмундирування піхотинця має змінювати колір наче шкіра хамелеона. Його гвинтівка буде оснащена телевізійним і тепловізійним прицілом, що дасть змогу стріляти із-за кута, висунувши тільки руку з гвинтівкою. Проблема полягає в тому, що маса одягу і оснащення солдата становить 43–45 кг, а батареї живлення розраховані на 12 годин, тоді як допускається маса одягу та оснащення не більш як 24 кг, а батарея має забезпечувати роботу упродовж 72 годин.

Таким чином, на думку західних військових експертів, засоби радіозв'язку є одним з видів військової техніки, який розвивається найдинамічніше. Це пов'язано як з високим загальним темпом розвитку радіоелектроніки, так і з великою увагою до систем управління і зв'язку з боку керівництва збройних сил провідних країн світу.

## 7.6. Об'єднана система розподілу тактичної інформації

Однією з тенденцій розвитку ТКС є поступовий перехід від однофункціональної бортової апаратури до інтегрованих багатофункціональних систем. Прикладами систем, що поєднують в собі функції зв'язку, обміну даними, впізнання, управління зброєю, визначення власного місцеположення є JTIDS в США, ОСНОД в Росії, MIDS в європейських країнах НАТО. У них втілені новітні досягнення науки, техніки, технології. Ознайомимось з ними на прикладі JTIDS [24].

**Особливості однофункціональної апаратури.** Раніше бортова радіоелектронна апаратура створювалась як однофункціональна. Через це на борту корабля, літака, танка, ракетної установки тощо ледве розміщувались комплекти апаратури різного призначення. Проаналізувавши її, дійшли до таких висновків: апаратура зв'язку, обміну даними, впізнання, управління зброєю, визначення місцеположення працює в сусідніх діапазонах хвиль і має близькі за призначенням пристрої; під час виконання бойових завдань частина апаратури використовується епізодично; для забезпечення необхідної надійності застосовується резервування; близько 50% маси і вартості цієї апаратури припадає на високочастотні та аналогові пристрої формування й оброблення сигналів. Ці висновки навели фахівців на думку щодо доцільності інтеграції цієї апаратури для кращої реалізації можливостей радіоелектронної апаратури.

**Багатофункціональні інтегровані системи.** *Інтеграція* – це процес об'єднання різних функцій і засобів їх реалізації для виконання завдань вищого рівня. Інтегрована радіоелектронна апаратура визначається як система,

що складається з підсистем і забезпечує максимальну ефективність виконання завдань за умови обмеження ресурсів. Досягається це за рахунок динамічної реконфігурації системи. Інтеграція може бути алгоритмічною (на базі ЕОМ) і апаратною. Ці види інтеграції поєднані у JTIDS, ОСНОД, MIDS.

У США 20% обсягу робіт зі створення JTIDS фінансувала армія, а 80% – ВПС і ВМС. Діючий макет JTIDS був створений у 1983 році. Його випробування виявили можливість: роботи в широкому діапазоні хвиль; одночасної цифрової обробки декількох сигналів; нейтралізації раптових відмов за рахунок швидкої реконфігурації апаратури; зниження в 2–2,5 рази маси, габаритів і споживаної потужності (маса зменшилась з 265 до 104 кг, об'єм – з 280 до 110 дм<sup>3</sup>).

У 90-ті роки ХХ ст. відбувалося переозброєння всіх видів збройних сил США системою JTIDS, але найбільшого поширення вона набула у ВПС.

**Термінали.** Розроблені термінали трьох класів і передбачене їх використання:

- I класу – на наземних, корабельних і повітряних командних пунктах;
- II класу – у великих армійських підрозділах, на ЛА і кораблях ВМС;
- III класу – у невеликих армійських підрозділах, передовими авіанавідниками, на ДПЛА.

Найвіддалішим виявився термінал II класу (90% його модулів використовуються і в терміналах I та III класу), спрощена схема якого зображена на рис. 7.20. “Серцем” терміналу є *синтезатор*, який визначає темп роботи і формує необхідні частоти. *Сигнальний процесор* – “мозок” терміналу. Він забезпечує синхронізацію, кодування сигналів, виявлення помилок і корекцію під час декодування, вимірювання псевдодальностей, оброблення даних і визначення власного місцеположення, здійснює функції контролю та управління терміналом. Збудник і модулятор перетворюють ЦС процесора в імпульсні частотно-фазомодульовані сигнали. У змішувачі за допомогою синтезатора вони перетворюються в НВЧ сигнали діапазону 960–1215 МГц, підсилюються у твердотілому підсилювачі потужності і надходять через антенний перемикач і фільтр в антену для випромінювання. Фільтр призначений для роботи з апаратурою впізнавання на  $f = 1030$  і  $1090$  МГц.

Прийнятий антеною сигнал через фільтр і антенний перемикач надходить на двоканальний Прм, де підсилюється, перетворюється за допомогою синтезатора на проміжну частоту і надходить на процесор проміжної частоти  $f_{\text{п}}$  (конвольвер), де підсилюється і згортається з опорними сигналами для формування кореляційної функції, за сплеском якої виявляється і визначається, якому опорному сигналу він відповідає.

Основні ТТХ терміналу II класу: швидкість передачі даних 57–80 кбіт/с на канал, мовних каналів – 2, антен – 2, пікова потужність Прд 800–1200 Вт, дальність дії до 500 км (за наявності прямої видимості), габарити ПрП 22×20×4 см, сигнального процесора 27×41×20 см. Для збільшення дальності

передбачено режим ретрансляції. Точність визначення власного місцеположення 10–30 м, яка є достатньою для завдання вогневого удару.

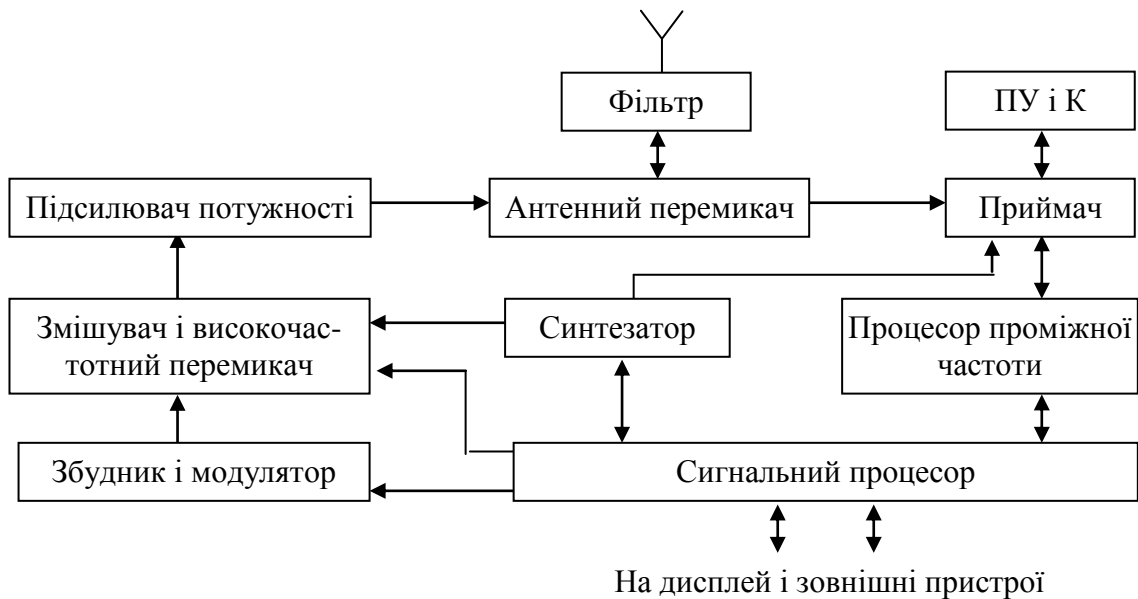


Рис. 7.20. Спрощена структурна схема терміналу II класу

Командир, льотчик чи оператор може викликати на екран дисплею інформацію про маршрут; місце завдання удару; боєкомплект; залишок палива; радіолокаційні дані щодо повітряної обстановки; місцеположення своїх, чужих і невпізнаних об'єктів. Свої об'єкти позначають зеленим кольором, чужі – червоним, невпізнані – жовтим. У разі накладання стробу на ціль на індикаторах позначається її тип, курс, швидкість і висота. Можна отримати дані від взаємодіючого командира, що дозволить зрозуміти, як він може надати підтримку в конкретній бойовій ситуації; доповісти про виконання бойового завдання.

**Структура сигналу.** У JTIDS вперше були застосовані унікальні (на той час) методи сигналоутворення та організації обміну інформацією, які потім були застосовані і в інших системах. Структура сигналу обрана, виходячи з умов забезпечення високої скритності, завадостійкості, завадозахищеності, достовірності та імітостійкості, заданої швидкості передавання повідомлень і низької ймовірності їх перехоплення, доступу до системи великої кількості абонентів, роботи в діапазоні 960–1215 МГц. Ці якості досягаються підвищеним відношенням сигнал / шум, широкосмуговістю сигналу, спеціальними методами оброблення сигналу.

Для забезпечення широкосмуговості застосовуються 3 основних способи: псевдовипадкове коректувальне кодування з подальшою псевдовипадковою частотнофазовою модуляцією сигналів; псевдовипадкове перестроювання робочої частоти (ППРЧ) від імпульсу до імпульсу; псевдовипадкова зміна інтервалів між блоками імпульсів.

У JTIDS для радіозв'язку застосовується каскадне коректувальне кодування. Зовнішнім є код Ріда – Соломона (РС) (31, 15), яким в сигнальному процесорі кодуються 5-елементні блоки первинної двійкової інформації. Внутрішнім є  $M$ -ічний ( $M = 32$ ) циклічний код Боуза – Чоудхурі – Хоквінхема (БЧХ), яким здійснюється внутрішньоімпульсна модуляція. Кожному кодуемому 5-елементному блоку (слову) зіставляється зсунута за відповідним правилом 32-елементна ПВП. Усі можливі зсуви охоплюють  $2^5 = 32$  – елементний алфавіт 5-елементних кодуємих блоків (слів). Ці правила відомі і на приймальному кінці, що робить можливим зв'язок між абонентами однієї мережі. Каскадне кодування значно збільшує мінімальну кодову відстань, а з нею і коригувальні властивості коду.

Таким чином, імпульсний радіосигнал тривалістю 6,4 мкс є блоком з 32 підімпульсів тривалістю 0,2 мкс кожен. Підімпульси впритул примикають один до одного. Їх частоти залежать від двох значень (0 і 1) відповідних елементів  $M$ -ічного коду БЧХ (рис. 7.21).

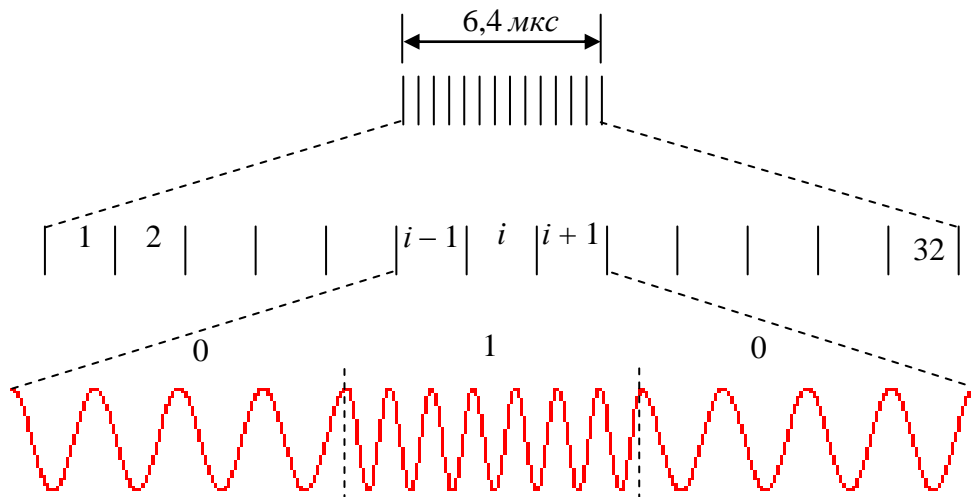


Рис. 7.21. Структура зв'язкового сигналу

Для забезпечення об'єктової ЕМС і зменшення внутрішньосистемних завад спектр імпульсного сигналу має бути компактним, а  $M$ -ічний код – ортогональним. Перше досягається таким виконанням частотної маніпуляції, за якої на стиках підімпульсів відсутні стрибки фази і набіг фази у межах підімпульсу становив  $90^\circ$ . При цьому швидкість спаду спектральної щільності потужності зростає на 20 дБ/дек, ширина спектру становить 3 МГц на рівні 0,5 і 5 МГц на рівні 0,1 від максимального. Отже, база цього складного сигналу

$$B = \Delta G t_u = 5 \cdot 6,4 = 32.$$

$M$ -ічний код не є точно ортогональним, але на його ПВП можна знайти ділянки, де його можна вважати близьким до ортогонального, тобто квазіортогональним



$$\int_0^{t_u} u(t)u(t+\tau)dt \approx 0. \quad (7.1)$$

Це означає, що його АКФ має невеликі бокові пелюстки, тому енергетичні втрати не перевищують десятих часток  $\delta B$ .

Кожен блок підімпульсів випромінюється на іншій несучій частоті, яка змінюється за псевдовипадковим законом в межах 960–1215 МГц (за одними даними таких частот 81, за іншими – 255). За рахунок цього спектр повідомлення розширюється до 255 МГц.

**Організація багатостанційного доступу.** В одному географічному районі JTIDS здатна забезпечити одночасну роботу до 128 радіомереж, але їх реальна кількість не перевищує 30. Розрізняють основну і допоміжні мережі.

В основній мережі працюють виконавці бойового завдання. Інші абоненти об'єднуються в мережі за місцем у системі та іншими ознаками. Мережі відрізняються псевдовипадковими законами змінювання частот і ПВП  $M$ -ічного коду. Для переходу до іншої мережі треба зсунути ПВП на відповідний інтервал часу.

У межах кожної окремої мережі застосовується БДЧсР каналів. Її абоненти застосовують однакові коди (відрізки ПВП) для кодування і розширення спектра сигналу, а тому можуть зв'язуватись між собою. Їх взаємодія координується завдяки часовому розподілу каналів.

Абоненти мережі виходять на зв'язок у точній часовій послідовності. Основною одиницею часу зв'язку є вікно тривалістю 7,8125 мс (рис. 7. 22).

1536 вікон утворюють 12-секундний кадр, а сукупність із 64 кадрів утворює епоху (суперкадр) тривалістю 12,8 хв. Впродовж епохи опорні послідовності, що керують внутрішньоімпульсним кодом і псевдовипадковим перестроюванням робочої частоти, не змінюються і відомі всім абонентам мережі. Основним блоком інформації є символ (блок, кодове слово), що несе 5 *bit* інформації. Він може передаватись одним блоком підімпульсів (6,4 мкс і паузою 6,6 мкс) чи для підвищення надійності двома однаковими блоками.

Оскільки пропускна спроможність вікна невелика, то введена система з 16 пріоритетів, що визначають можливості абонентів з використання пропускної спроможності мережі. Абоненту з найвищим пріоритетом надається кожне третє вікно в епоху, абоненту з найнижчим пріоритетом – лише одне вікно в епоху.

Приймач абонента-користувача відкривається на період існування тих вікон, в які згідно з часовим регламентом надходить інформація від потрібних йому абонентів.

Час в межах вікна використовується у такій послідовності: спочатку йде інтервал тремтіння, тобто час, упродовж якого може бути розпочата передача; за ним передається синхропreamбула, що призначена для синхронізації

Прм з необхідним йому Прд; потім передається інформаційна посліжка; на-  
решті йде захисний інтервал, що призначений для виключення накладок сиг-  
налів від різних кореспондентів, який довший, ніж інформаційна посліжка. У

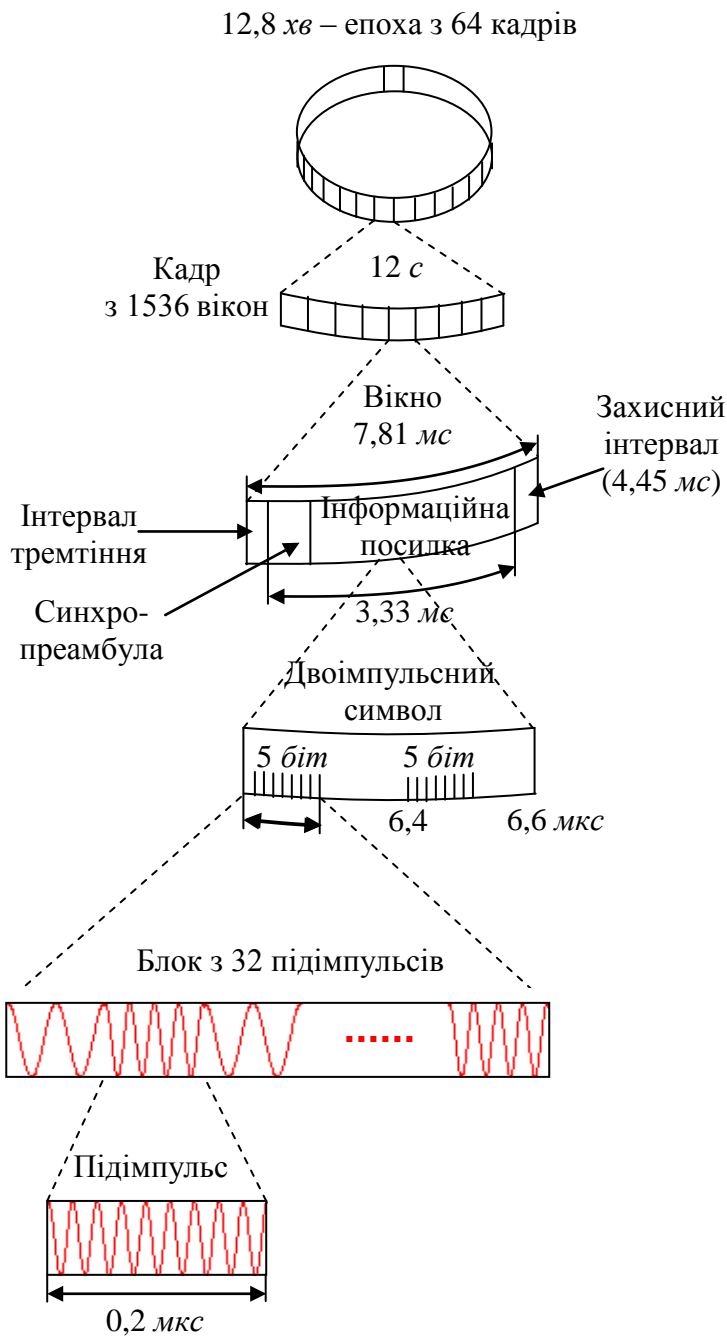


Рис. 7.22. Структура епохи

У Прм на конвольвері (процесорі проміжної частоти на рис. 7.20) від-  
бувається спеціальне оброблення сигналів, прийнятих разом з шумами та ін-  
шими завадами.

*Конвольвер* – це пристрій на поверхневих акустичних хвилях (рис. 7.23)  
з двома входами і одним виходом. На перший вхід надходить прийнятий сиг-  
нал з шумами (завадами), на другий – обернена у часі опорна ПВП подвійної

У цей час всі абоненти мережі мовчать, а сигнал, переданий у цьому вікні, поширюється без завад від інших кореспондентів JTIDS на відстань, що в 2,7 рази перевищує максимальну дальність дії системи.

Інтервал тремтіння підвищує завадозахищенність, тому що вносить елемент випадковості в початок передачі повідомлення.

Недоліком такої організації є жорстка довжина вікон і жорстке закріплення їх за абонентами. Це не дає змоги організувати гнучку інформаційну мережу з мінімальними витратами часу на обмін даними, але такі мережі вже існують. У них не тільки частота, але й часове вікно, що виділене абоненту, змінює свою позицію за псевдовипадковим законом, відомим кореспондентам зв'язку.

**Спеціальне оброблення сигналу.** Синхронізований Прм абонента-користувача відкривається на час існування тих вікон, в які згідно з часовим регламентом надходять сигнали від потрібного йому або-

довжини. У п'єзоматеріалі конвольверу збуджені ними хвилі поширюються (рухаються) назустріч. Унаслідок їх нелінійної взаємодії відбувається перемноження сигналу + шуму з тією чи іншою ділянкою опорної ПВП, а інтегрування добутків в межах тривалості імпульсу  $t_u = 6,4 \text{ мкс}$  здійснюється верхньою пластинною конвольверу. Так у реальному часі формуються значення функції взаємної кореляції

$$u_{\text{вих}}(\tau) = \int_0^{t_u} u_{\text{с+ш}}(t) u_{\text{оп}}(t + \tau) dt. \quad (7.2)$$

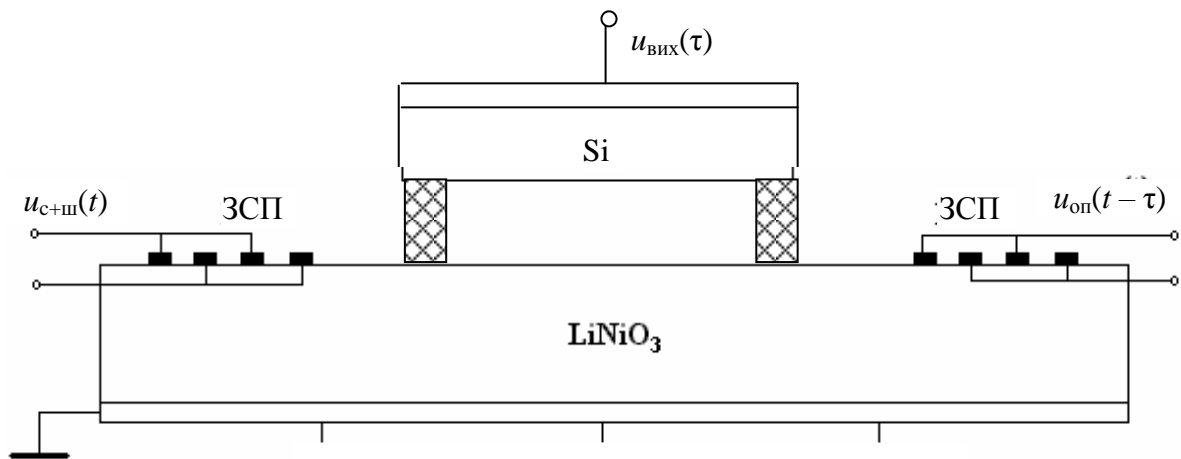


Рис. 7.23. Конвольвер на поверхневих акустичних хвилях

Наявність сигналу визначають за перевищенням її значеннями порогового рівня. За часовим положенням її максимуму розпізнають, який з 32-х 5-бітних блоків інформації був переданий цим імпульсним сигналом.

Для оперативного перестроювання системи достатньо змінити опорну ПВП подвійної довжини у Прд та у конвольвері Прм, що відбувається на початку кожної епохи. Це підвищує скритність зв'язку, завадостійкість, завадозахищеність, імітостійкість і протирозвідкову захищеність системи зв'язку.

**Синхронізація.** Для реалізації мережної роботи в JTIDS передбачене формування мережних шкал часу, прив'язаних до гринвіцького часу. Навігаційна функція передбачає високу точність синхронізації. Оскільки робота мереж заснована на часовому розподілі каналів, то умовою їх нормального функціонування є також синхронізація роботи абонентських терміналів (АТ). Розрізняють системну і сигнальну синхронізації.

*Завдання системної синхронізації* – прив'язка до системного часу шкали часу Прд для його попадання своїм інформаційним пакетом (3,33 мс) до відведеного для нього часового вікна (7,81 мс). Для цього опорна станція з відомим місцеположенням 1 раз в кожному кадрі (тривалістю 12 с) випромінює спеціальний сигнал, що забезпечує входження синхронізованого АТ в своє вікно з деякою похибкою. Цю похибку синхронізуемий АТ усуває (з точністю

до десятків наносекунд) за принципом, схожим на активну радіолокацію: запит – відповідь – вимірювання часу ПРХ сигналу. Водночас визначається дальність до опорної та інших станцій, що вже увійшли в синхронізм. Збереження системного часу забезпечується високоточними кварцовими (а в терміналах I класу – рубідієвими) стандартами частоти.

*Завдання сигнальної синхронізації* – узгодження шкали часу Прм з часом надходження сигналу, для компенсування впливу щодо переміщення абонентів. Для цього в кожному часовому вікні (7,81 мс) випромінюється синхропреамбула, що являє собою 16 імпульсів, які послідовно передаються на 4-х різних частотах. Набір частот і внутрішньоімпульсний код посилок змінюються за псевдовипадковим законом від одного вікна до іншого, що забезпечує високу завадозахищеність і точність узгодження.

За кожною мережею на епоху закріплюється визначене правило формування ПВП. Для переходу терміналу до іншої мережі оператор вводить у пам'ять процесора необхідний часовий зсув у ПВП.

Застосування часового розподілу каналів підвищило ефективність використання частотного ресурсу. Однак необхідність синхронізації робить систему вразливою. Швидкість пересилання інформації не досягла своїх потенціальних можливостей через необхідність захисних інтервалів. Очікування черги ускладнює передавання термінових повідомлень.

**Визначення власного місцеположення.** Як уже відзначалось, під час синхронізації відбувається вимірювання дальностей до терміналів, що вже увійшли в синхронізм. Якщо положення цих терміналів у просторі відоме, то за дальностями до 2 терміналів можна визначити місцеположення синхронізуемого терміналу на поверхні Землі. Однак зсув шкали часу синхронізуемого терміналу призводить до того, що замість дальностей вимірюються псевдодальності. Але якщо збільшити кількість вимірних псевдодальностей на одиницю, то при спільній їх обробці можна визначити координати і поправку до шкали часу синхронізуемого терміналу, а потім зкоригувати його таймер.

На *закінчення* слід відзначити такі загальні риси сучасного телекомунікаційного забезпечення армії США та армій інших країн НАТО:

- відповідність телекомунікаційної архітектури операційним потребам в усіх ієрархічних ешелонах управління;
- відповідність і повноту існуючого парку телекомунікаційних засобів вимогам телекомунікаційної архітектури і операційним потребам;
- техніко-технологічну єдність засобів зв'язку та автоматизації;
- безперервний розвиток засобів зв'язку та автоматизації відповідно до досягнень науки і техніки.

## 8. Системотехнічні принципи побудови систем мобільного зв'язку

До систем мобільного зв'язку прийнято відносити: стільниковий зв'язок, транковий (транкінговий) зв'язок, персональний виклик (інакше пейджинговий зв'язок), мобільний супутниковий зв'язок і безпроводовий телефон [24].

### 8.1. Функціональна схема системи стільникового зв'язку

Стільниковий зв'язок існує всього 40 років, а його послугами користуються близько 4 мільярдів абонентів. Його широко застосовують в повсякденній діяльності військовослужбовці та працівники Збройних Сил України.

Перше (аналогове) покоління стільникового зв'язку відійшло в минуле, друге і третє (цифрові) панують зараз, четверте покоління – у стадії випробувань і упровадження .

Основними цифровими системами стільниковому зв'язку є: NA-TDMA – північноамериканська TDMA – діапазони 800 і 1900 МГц; GSM – глобальна система мобільного зв'язку – 900, 1800 і 1900 МГц; CDMA – система множинного доступу з кодовим поділом каналів – 800, 1900 МГц і UMTS – універсальна система мобільного зв'язку – 2000 МГц.

Стільниковий зв'язок може забезпечити передавання мовних повідомлень, зображення, факсимільних повідомлень, комп'ютерних даних. Передавання мовних повідомлень може бути однобічним, двобічним, багатобічним (конфренц-зв'язок). Виклик можливий у режимах автодозвону, чекання виклику, переадресації виклику.

**Функціональна схема системи стільникового зв'язку.** Система стільникового зв'язку будується як сукупність **чарунок**, зон чи стільників, що покривають всю територію, яка обслуговується (рис. 8.1). У суміжних чарунках використовуються різні смуги частот, у віддалених (через декілька чарунок) – смуги частот повторюються, що забезпечує ефективне використання відведеного частотного діапазону і обслуговування кожною системою доволі великою територією. На території кожної чарунки розташована БС (рис. 8.2), яка обслуговує всі рухомі станції, тобто абонентські радіотелефонні апарати, у межах своєї чарунки. У разі переміщення абонента до іншої чарунки його об-

обслуговування передається БС цієї чарунки. Усі БС, у свою чергу, покластерно замикаються на ЦК, з якого є вихід до Єдиної національної мережі зв'язку країни, зокрема до мережі проводового Тлф зв'язку. Очолює всі системи стільникового зв'язку стандарту GSM центр управління та експлуатації.

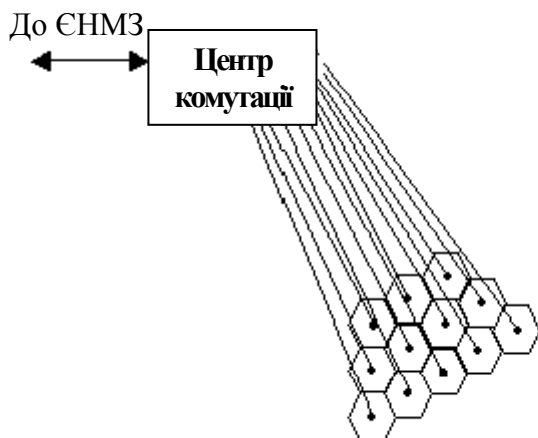


Рис. 8.1. Схема системи стільникового зв'язку

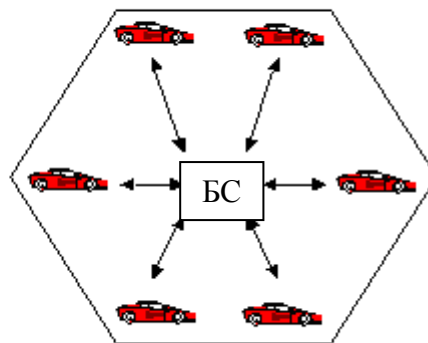


Рис. 8.2. Одна чарунка системи стільникового зв'язку

У разі використання неспрямованих антен базових станцій відстань  $D$  між центрами чарунок, в яких використовуються однакові частоти, і числом  $N$  чарунок у цьому масиві (кластері), де частоти не повторюються, визначається співвідношенням

$$D = R\sqrt{3N}, \quad (8.1)$$

де  $R$  – радіус кола, описаного навколо чарунки.

Щоб передача обслуговування була не дуже частою, вибирають  $R > 500$  м. Для зменшення внутрішньосистемних завад відстань  $D$  має перевищувати відстань прямої видимості.

Насправді чарунки ніколи не бувають правильної геометричної форми, БС розташовується не обов'язково в центрі чарунки, а центрів комутації в системі може бути декілька, один із яких є головним. Саме на ньому розташований домашній реєстр – тобто відомості щодо всіх абонентів, зареєстрованих у даній системі, їх місце розташування, види послуг, що надаються їм за договором.

У разі переміщення абонента на територію іншої системи стільникового зв'язку відбувається міжсистемна передача обслуговування або роумінг за умови виконання двох умов: апаратурної сумісності систем і наявності угоди між компаніями-операторами. На цей випадок абонент вписується до гостьового реєстру іншої системи. (Роумінг – це окремий випадок передачі обслуговування між системами, що не межують одна з одною).

Кожен стандарт зобов'язує фірм-виробників апаратури цього стандарту жорстко дотримуватися вимог щодо однаковості ефірних інтерфейсів, що забезпечує апаратну сумісність систем стільникового зв'язку одного стандарту, наприклад, стандарту GSM.

До складу БС входить контролер і до 16 ПрП, кожен з яких обслуговує свій сектор чи частотний канал.

## 8.2. Елементи комплексу: базова і абонентські станції, центр комутації

Рухома АС складається з приймально-передавального блоку, антенного блоку і блоку управління. Спрощена структурна схема зображена на рис. 8.3.

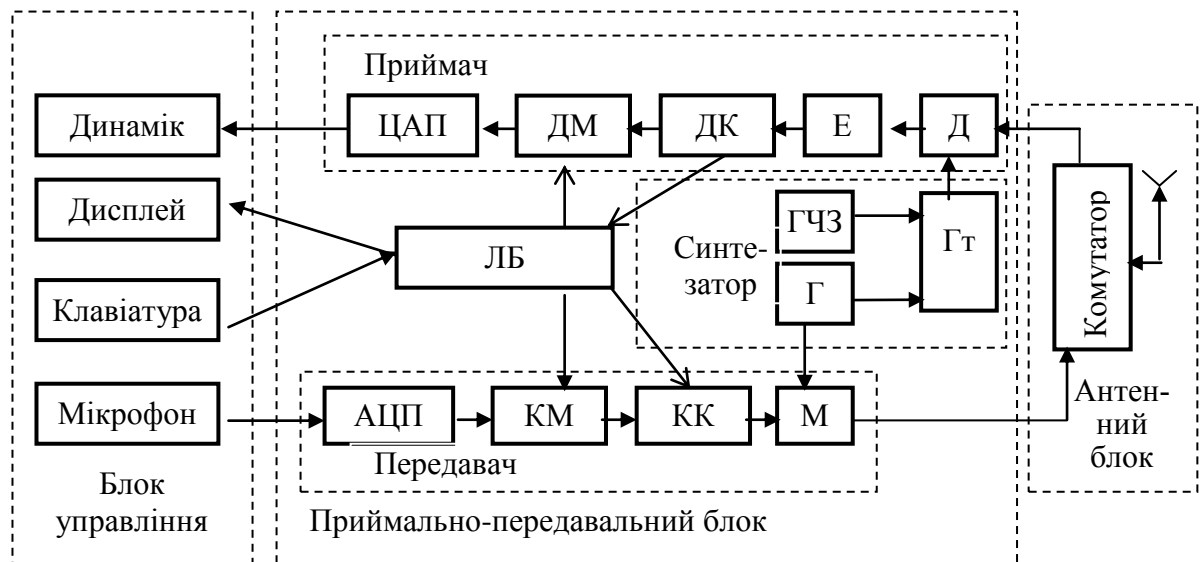


Рис. 8.3. Спрощена структурна схема рухомої станції

Сигнал з мікрофона надходить на АЦП Прд, і вся подальша обробка і пересилання мовного сигналу відбувається в цифровій формі аж до ЦАП.

Кодер мови (КМ) скорочує надмірність мовної інформації, передаваної каналом зв'язку.

Кодер каналу (КК) додає до ЦС надлишкової інформації, яка необхідна для захисту від похибок, що виникають під час пересилання сигналу лінією зв'язку. З тією самою метою і для засекречування інформація піддається перестановці (перемеженню). Крім того, від логічного блоку (ЛБ) до складу сигналу вводиться інформація управління.

Модулятор (М) переносить інформацію кодованого відеосигналу на несучу частоту.

Найпростішою антеною є чвертьхвильовий штир, який підмикається електронним комутатором на вхід Прм або на вихід Прд. Для зменшення

внутрішньосистемних завад і економії енергії акумулятора Прд вмикається на повну потужність тільки на час мовної активності абонента.

У Прм здійснюється зворотне перетворення сигналу.

Демодулятор (Д) виділяє з модульованого радіосигналу кодований відеосигнал, який несе інформацію.

Еквалайзер (Е) є адаптивним фільтром, який служить для ослаблення впливу завад, обумовлених багатоприменовістю ПРХ. Він не є функціонально необхідним і тому іноді відсутній.

Декодер каналу (ДК) спрямовує інформацію управління до логічного блоку, здійснює зворотне переупаковування інформації, перевіряє інформацію на наявність помилок і по змозі виправляє їх.

Декодер мови (ДМ) відновлює природну форму мови з властивою їй надмірністю, але в цифровому виді.

ЦАП перетворює цифровий мовний сигнал в аналогову форму і подає на динамік.

Синтезатор є джерелом коливань несучої і гетеродинної частот, відмінність яких зумовлена тим, що передавання і приймання здійснюються на різних частотах. В ньому ГЧЗ – генератор частоти зсуву.

Логічний блок – це мікрокомп'ютер, який управляє роботою.

Клавіатура у блоці управління служить для набирання номера телефону і команд, що визначають режим роботи АС. Дисплей призначений для відображення різної інформації.

Схема (див. рис. 8.3) є спрощеною, тому що на ній не зображені підсилювачі, фільтри, генератори синхрочастот, схеми контролю та управління потужністю, детектор мовної активності абонента, схеми управління частотами синхронізатора і роботою на визначеному частотному каналі тощо. Для забезпечення конфіденційності в деяких рухомих станціях є блоки шифрування і дешифрування, а також блок ідентифікації абонента. За потреби до складу рухомої станції входять додаткові термінальні пристрої, наприклад факсимільний апарат.

В аналогових АС не було АЦП, ЦАП, кодерів і декодерів, але був складний і громіздкий дуплексний антенний перемикач, який забезпечував можливість одночасної роботи на передавання і приймання.

У цифрових системах у цьому немає потреби, тому що в них здійснюється часове чи кодове ущільнення та розділення каналів.

**Базова станція (БС)** відрізняється великою кількістю Прм та Прд і наявністю: роздільних приймальних та передавальних антен; рознесеного приймання на дві антени; подільника потужності приймальної антени та суматора потужності Прд перед подачею її на передавальну антену (рис. 8.4).

Передавачі і приймачі БС мають в цілому таку саму структуру, що й в АС. У них відсутні тільки АЦП і ЦАП, а кодеки можуть бути винесені в центр комутації. Контролер станції є високопродуктивним комп'ютером.



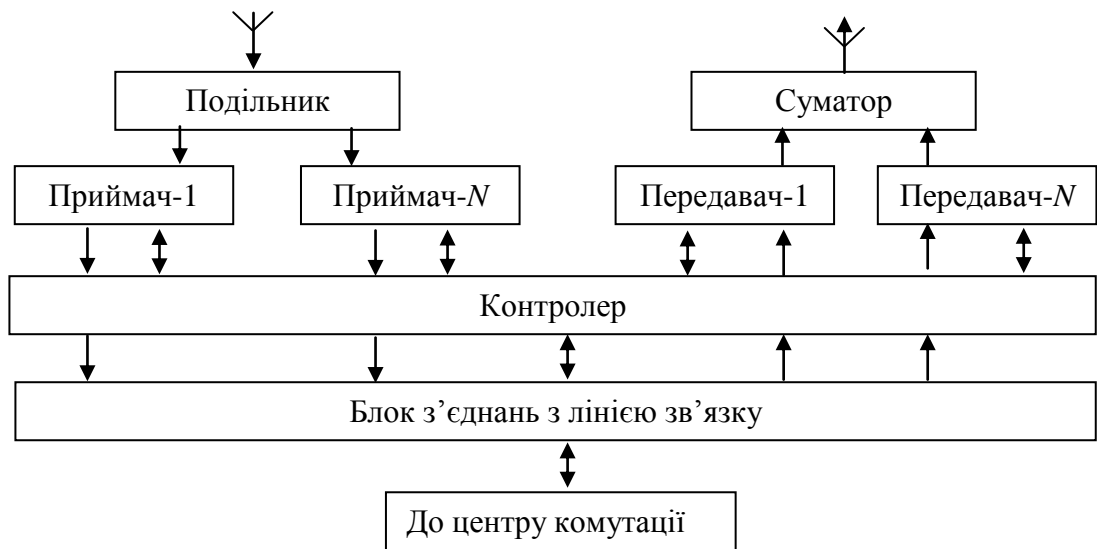


Рис. 8.4. Структурна схема базової станції

Блок з'єднань з радіорелейною чи волоконно-оптичною лінією зв'язку, що з'єднує базові станції покластерно з центром комутації, забезпечує ущільнення інформації, яка передається на центр комутації, і розділення по каналам прийнятої від нього інформації. Для підвищення надійності багатьох вузлів і блоків станції дублюються.

**Центр комутації** – це мозковий центр і диспетчерський пункт ССЗ. На нього замикаються покластерно потоки інформації з усіх базових станцій. Через нього здійснюється вихід до інших мереж зв'язку: стаціонарної Тлф, міжміської, супутникової й інших стільникових мереж.

Структурна схема центра комутації зображена на рис. 8.5.

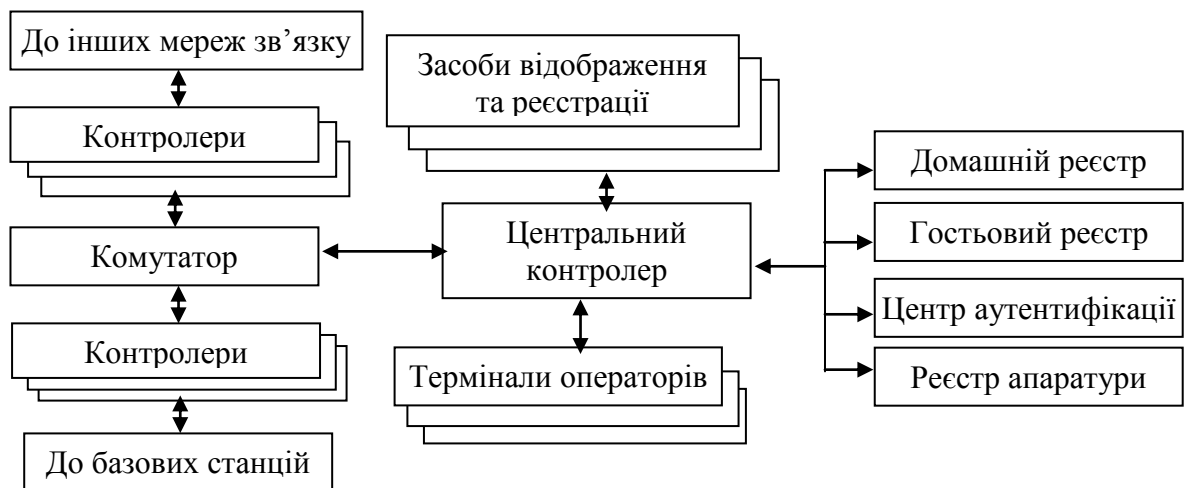


Рис. 8.5. Структурна схема центра комутації

Контролери здійснюють проміжну обробку (ущільнення, розділення, буферне збереження) інформації. Перемикання потоків інформації між від-

повідними лініями зв'язку через контролери здійснює комутатор. Загальне управління роботою центра здійснює центральний контролер з могутнім математичним забезпеченням за активної участі операторів, для яких є термінали і засоби відображення та реєстрації (документування) інформації. Зокрема, оператори вводять дані про абонентів і умови їх обслуговування.

Важливими елементами ЦК є бази даних: домашній реєстр, гостьовий реєстр, центр аутентифікації, реєстр апаратури. У домашньому реєстрі зосереджені дані щодо абонентів даної системи стільникового зв'язку і послуги для них, у гостьовому – про абонентів інших систем, що тимчасово користуються послугами даної системи. У центрі забезпечується аутентифікація абонентів і шифрування повідомлень, у реєстрі апаратури містяться дані про експлуатовані рухомі станції, їх технічний стан, а також про втрачені апарати. В ЦК також передбачається резервування.

### 8.3. Взаємодія елементів і оброблення інформації в системі стільникового зв'язку

**Взаємодія елементів системи стільникового зв'язку.** Частотний канал – це смуга частот, що відводиться для передавання інформації групи часових каналів зв'язку. У стандарті GSM – це 200  $\kappa\Gamma\text{ц}$ , а всього у відведеній 25-мегагерцовій смузі частот розміщується 124 частотних канали. Номери частотних каналів  $1 \leq N \leq 124$  і робочі частоти  $f_0$  прямих (від БС до АС) і зворотних каналів пов'язані відповідно до формули

$$f_0 = 935,2 + 0,2N, \quad (8.2)$$

$$f_0 = 890,2 + 0,2N. \quad (8.3)$$

З урахуванням БДЧсР у кожному частотному каналі розміщується 8 чи 16 часових каналів (слотів, або “вікон”), а всього в смузі 25  $M\Gamma\text{ц}$  – 1000 чи 2000 часових каналів. Так відбувається часове ущільнення каналів.

Тривалість слота (“вікна”) 577  $\mu\text{кс}$ . Один слот містить 148 *біт* тривалістю по 3,65  $\mu\text{кс}$  і захисний інтервал 36,8  $\mu\text{кс}$ . Існують слоти трафіка і слоти управління. Базова станція передає інформацію кадрами по 8 слотів. З кадрів створюються мультикадри, з мультикадрів – суперкадри, з суперкадрів – гіперкадри. Гіперкадр ще називають криптографічним, тому що номери кадрів 1, ..., 2 715 648 в межах гіперкадру використовуються в процесі шифрування інформації, яка передається.

Кадри трафіка (мови, факсимільних повідомлень, комп'ютерних даних) і кадри управління (доступу, корекції частоти, синхронізації та ін.) існують в декількох варіантах, які відрізняються спеціальними ознаками.

Центр комутації і БС працюють безупинно і цілодобово. У роботі АС перерви неминучі (наприклад, для заміни джерел живлення). Після цього виконується включення АС, її ініціалізація, тобто автоматичне настроювання за сигналами управління БС для забезпечення готовності АС до роботи в складі ССЗ, і перехід АС у режим очікування. У цьому режимі відстежуються зміни в ССЗ, у тому числі переміщення АС, вимірювання рівнів та якості сигналів своєї і сусідніх БС.

У системах стандарту GSM це відбувається таким чином. АС сканує всі наявні частотні канали в пошуках радіомовного каналу управління, що відрізняється від інших каналів наявністю пачки корекції частоти. Далі АС виділяє з неї пачку синхронізації, синхронізується, розшифровує код ідентифікації БС та іншу інформацію щодо неї, на базі чого приймає рішення, чи залишатися з цією БС, чи шукати іншу.

Кожні 10–15 хв АС передає в ЦК через свою БС спеціальні сигнали, які підтверджують її працездатність і дають змогу з точністю до стільника визначити її місцеположення. Якщо ці сигнали не надходять упродовж 20–45 хв, то АС вважається вимкненою, знімається з реєстрації і сигнали виклику на неї не передаються. Крім того, АС передає інформацію про рівні та якість сигналів своєї і сусідніх (до 16) БС. Якість визначається частотою помилок декодування. Ця інформація необхідна для вирішення в ЦК питання щодо передання обслуговування (хендоверу АС іншій БС).

Типовий абонентський радіотелефонний апарат (тобто АС) має масу 150–200 г, габарити 130×60×25 мм, рідинокристалічний дисплей, штиркову антену завдовжки 20–60 мм, що у деяких типів АС висувається на 50–150 мм, пульт управління з багатофункціональними клавішами (кнопками), мікрофоном – внизу, динаміком – уверху, світлоіндикатором режимів і дзвоником. Час роботи батареї джерела живлення становить 2–5 год у режимі розмови, десятки – сотні годин – у режимі очікування. Час зарядження батареї 1–3 год.

Щоб подзвонити з попередньо увімкненого апарата, необхідно набрати номер викликуваного абонента, перевірити правильність набору на екрані дисплея і натиснути клавішу виклику. Після цього АС передає через свою БС повідомлення з указівкою викликуваного номера і даними для аутентифікації. Після аутентифікації БС призначає АС частотний та часовий канали, допомагає настроїтися і відрегулювати рівень потужності і повідомляє ЦК про готовність АС. ЦК передає виклик у мережу на низку сусідніх БС з урахуванням можливого переміщення абонента. Абонент, який викликає, може прослуховувати сигнали “Виклик” чи “Зайнято”. Коли викликуваний абонент, почувши дзвоник, натискає на пульті управління таку саму клавішу, з’єднання завершується. У процесі Тлф розмови АС обробляє мовні сигнали і сигнали управління. Після закінчення розмови абоненти натискають кнопку відбою. При цьому відбувається обмін службовими повідомленнями між АС і БС, після чого Прд АС виключається і АС переходить у режим очікування.

Передача обслуговування АС до іншої БС відбувається за вказівкою ЦК на підставі вимірів рухомою станцією рівнів та якості радіосигналів, що надходять до АС від “своєї” БС і від сусідніх (до 16) БС. Отримавши від ЦК через БС старої чарунки вказівку щодо нового фізичного каналу, АС автоматично перестроюється на роботу з новою БС, виконуючи ті самі етапи, що і під час підготовки до сеансу зв’язку. При цьому перерва в Тлф розмові не перевищує частки секунди, а тому залишається непомітною для абонента.

Передача обслуговування АС з однієї ССЗ до іншої віддаленої ССЗ називається *роумінгом*. Роумінг можливий за умови технічної сумісності систем і наявності угоди між компаніями про взаємне надання послуг їх абонентам. При цьому абонент – *роумер*, потрапивши до “чужої” системи, реєструється у гостьовому реєстрі її центра комутації, користується її послугами в межах угоди, а платить за послуги через свою “рідну” систему. Так само здійснюється міжсистемне передавання обслуговування в суміжних системах.

Зі зростанням масштабів і географії роумінгу виникають труднощі, що пов’язані з аутентифікацією, оплатою послуг і протекціонізмом (заборонаю використання АС іноземного виробництва).

*Аутентифікація* – це процедура перевірки прав абонента на використання послуг стільникового зв’язку. *Ідентифікація* – це процедура перевірки абонентського радіотелефонного апарата на справність і належність до даного абонента, у ході якої виявляються втрачені апарати.

**Цифрова обробка** передаваного сигналу АС полягає в аналого-цифровому перетворенні, кодуванні мови, каналному кодуванні і модуляції.

Аналого-цифрове перетворення здійснюється з частотою дискретизації  $8 \text{ кГц}$ , оскільки основна частина потужності спектра мовного сигналу припадає на частоти  $300\text{--}3400 \text{ Гц}$ . Кількість двійкових розрядів дорівнює 8, що забезпечує діапазон представлення чисел  $\pm 127$  і створює потік інформації зі швидкістю  $64 \text{ кбіт/с}$ .

Кодування мови здійснює вокодер шляхом 5-кратного стиснення інформації кожного 20-мілісекундного сегмента мови. Це досягається тим, що замість мовних повідомлень передається інформація про основний тон мови, коефіцієнти її лінійного передбачення і відхилення від нього [24; 36].

У кодері каналу здійснюється завадостійке кодування, тобто таке, що дає змогу знайти і значною мірою виправляти помилки, які виникають у разі поширення сигналу радіоканалом від Прд до Прм. Це досягається введенням надлишкової (контрольної) інформації при блоковому і згортковому кодуванні, перемежовуванням, а іноді й шифруванням.

Суть блокового кодування полягає в тому, що вхідна інформація розділяється на блоки по “ $k$ ” символів кожен, які за визначеним законом перетворюються в кодері в “ $n$ ”-символьні блоки ( $n > k$ ). Відношення  $R = \frac{k}{n}$  зветься

швидкістю кодування, чим вона менша, тим вища завадостійкість, але менша швидкість передавання інформації.

Суть згорткового кодування полягає в тому, що вихідний код утворюється з вхідного шляхом згортки (підсумовування за модулем 2) декількох його розрядів для утворення розряду вихідного коду. Перемеження полягає в перестановці символів. Завдяки цьому групові помилки, після зворотної перестановки в декодері каналу, розбиваються на поодинокі помилки, які легше виявити і усунути з допомогою блокових і згортних кодів.

Модуляція сигналів у стандарті D-AMPS – фазова, у стандарті GSM – частотна.

У Прм виконуються операції зворотного перетворення сигналу.

Крім передавання мовних повідомлень, факсимільних і комп'ютерних даних, абонентський радіотелефонний апарат може служити як електронна записна книжка, годинник, будильник, календар, калькулятор, тощо. У записній книжці міститься до 100 Тлф номерів. Годинник не припиняє відлік часу у разі вимикання апарата і навіть через заміну батареї акумуляторів, якщо це триває < 30 с. На екрані дисплея відображається вимірюваний рівень сигналу і ступінь розрядження акумулятора. Гучність звуку і дзвоника регулюється.

Для уникання несанкціонованого використання апарата абонент може передбачити власний код, який потрібно вводити після включення для розблокування апарата, клавіатури, блокування визначених категорій викликів. Додаткові можливості захисту інформації пов'язані з використанням у стандарті GSM знімної SIM-карти.

Над розробленням ССЗ працювало багато талановитих інженерів і вчених. Познайомимося детальніше з деякими результатами їх праці.

**Стискання мовної інформації та відтворення її природної надмірності.** Обираючи метод стискання, враховували те, що максимум спектра мовного сигналу лежить в діапазоні частот 400–800 Гц, спад спектра відбувається зі швидкістю 9 дБ на декаду. Середня тривалість звуку становить 130 мс, в тому числі, голосних звуків – 210 мс, приголосних – 95 мс. В інтервалах 20–30 мс спектрально-кореляційні характеристики звуків майже не змінюються, що дало можливість обробляти надхідну інформацію з ЦАП сегментами у 20 мс, на яких при частоті дискретизації 8 кГц робиться 160 вибірок по 8 біт кожна.

Процедура кодування мовного сигналу полягає в тому, що на кожному сегменті визначаються параметри основного тону, коефіцієнти лінійного передбачення  $a_i$  ( $i = 1, \dots, M$ ) і параметр сигналу збудження (відхилення від функції лінійного передбачення) [24, 36]. Ці коефіцієнти і параметри кодується і передаються до каналу зв'язку. По ним в декодері мови відтворюється передаваний сигнал. Процедури кодування і декодування мови реалізуються в мікропроцесорах.

Разом ці процедури забезпечують в стандарті GSM майже 5-кратне стискання інформації мовного сигналу, який збільшиться ще вдвічі з переходом

на передавання в одному часовому каналі двох каналів трафіка, інформація яких передається по черзі, через кадр. У заощаджений таким чином час передаються результати вимірювань, інформація управління, телеконтролю і сигналізації тощо.

#### 8.4. Транкінговий зв'язок

**Загальні відомості про транковий (транкінговий, радіальний, радіально-зоновий) зв'язок.** *Транк* (англ. *trunks* ствол) – ствол частотних каналів, кожен з яких може бути наданий будь-якому абоненту або групі абонентів системи. У найпростішому випадку до цієї системи належать: БС, що виконує функції комутатора і ретранслятора, та абонентські апарати. Абонентські апарати можуть бути стаціонарними, перевізними і переносними. Переносний абонентський апарат, – це портативна кишенькова радіостанція (з клавіатурою, акумулятором, а деякі навіть з дисплеєм), що є одночасно радіостанцією і портативним мобільним телефоном абонента. Транковий радіотелефон дозволяється передавати іншим особам. Його можна використовувати для зв'язку всередині системи по короткому номеру, одночасно викликати групу абонентів, через ретранслятор користатися селекторним зв'язком, виходити на прямий зв'язок тощо.

Основна відмінність транкового зв'язку від стільникового: простіший, надає абонентам менший набір послуг. Для спрощення і здешевлення може використовуватись напівдуплексний режим, БДЧР, обмеження тривалості розмови, але оскільки він використовується переважно для службового, відомчого зв'язку, то вимоги до оперативності і надійності встановлення зв'язку високі.

Система транкового зв'язку довго будувалась як одна чарунка (зона) зв'язку з порівняно великим (біля 50 км) радіусом дії. Звідси більші, ніж у стільникового зв'язку, потужність Прд, витрата енергії, маса і габарити абонентських терміналів. І навіть якщо транкова система будується як багатозонна, то управління зонами більш обмежене, і передача обслуговування із зони в зону призводить до короткочасної перерви зв'язку. Але це вже є кроком у розвитку в напрямі до стільникового зв'язку.

В Україні нині дозволена експлуатація лише двох стандартів аналогового транкового зв'язку Smart Trank і МРТ1327, для яких виділені парні смуги частот: 423–430 МГц від АС до БС, 413–420 МГц від БС до АС, а також 150,05–156,7625, 156,8375–162,75, 163,2–168,5 МГц [71].

У сучасних транкових системах, крім того, можливе пересилання цифрової інформації управління, охоронної сигналізації, телеметрії та ін. Сучасні транкові системи працюють в діапазонах частот 136–174, 330–440, 400–480, 806–825, 851–870, 896–901, 935–940 МГц.

Зараз у транкінгових системах відбувається перехід від аналогових до цифрових систем.

**Цифрові транкові системи** мають відповідати одному з сучасних стандартів. В Європі найпоширенішим є стандарт TETRA. Цей стандарт передбачає плавний перехід від аналогових до цифрових систем, тобто створення таких умов, за яких абоненти аналогової транкової системи до повної її амортизації могли б зв'язуватись з абонентами цифрової транкової системи, і навпаки. Це досягається створенням в аналоговій і цифровій системах спеціальних шлюзових станцій, що перетворюють інформацію і забезпечують аналоговим транковим системам доступ через цифрові транкові системи до цілої низки інших мереж: локальної обчислювальної, пакетного передавання даних, мережі з інтеграцією послуг, Тлф мережі загального користування, малих АТС, мереж безпроводового цифрового зв'язку, центрів комутації стільникового зв'язку.

Крім передавання мовної інформації і даних, в цифрових транкових системах передбачене виконання функції пошуку абонента, тобто пейджингового зв'язку.

У цифрових транкових системах БДЧР поєднується з БДЧсР. Кожному частотному каналу виділяється смуга частот шириною в 25 кГц. На кожному частотному каналі розташовано по 4 часових канали. У кожному часовому каналі кодек усуває природну надмірність мовної інформації. Внаслідок цього швидкість передавання зменшується до 4,8 кбіт/с, що створює умови для завадозахищеного кодування і перестановки. Максимальна швидкість у часовому каналі становить 7,2 кбіт/с, в частотному – 28,8 кбіт/с, а з урахуванням службової інформації і контрольного кадру – 36 кбіт/с.

Під час передавання даних передбачене регулювання швидкості в межах 2,4–28,8 кбіт/с (при використанні усіх чотирьох часових вікон), але чим вища швидкість, тим нижча завадозахищеність. Якщо кількість помилок перевищує допустимий рівень, то автоматично здійснюється повторне передавання пакета інформації.

До складу типової цифрової транкової системи входять:

- центр комутації, при якому є база даних абонентів і їх місцеперебування;
- БС з комутаторами, ретрансляторами і базами даних абонентів;
- абонентські радіостанції;
- центр управління, який контролює і оптимізує роботу мережі, заносить дані про абонентів, формує звіти, забезпечує техобслуговування.

До складу типової цифрової транкової системи при однозоновій структурі входять тільки базова і абонентські радіостанції.

Основними принципами побудови центра комутації є здатність до розширення можливостей транкової системи, стійкість до відмов завдяки наяв-

ності “гарячого” резерву, широкий набір стандартних інтерфейсів, які забезпечують можливість підключення до інших мереж.

Базові станції містять по 8 радіоканалів в одній установці, що дає 32 часових канали. До першої установки можна увімкнути другу – установку розширення, тоді кількість радіоканалів зростає до 16, а часових каналів – до 64. При цьому всі канали управляються контролером, який розташований у першій установці. Можливе і подальше розширення кількості частотних і часових радіоканалів. Потужність Прд БС на вході суматора становить 25 Вт на радіоканал. БС працює на 4 передавальні і 8 приймальних антен (по дві для рознесеного приймання сигналів). Надійність роботи БС також забезпечується резервуванням. Через БС підтримується зв'язок з іншими мережами шляхом шлюзування. Стійкий зв'язок забезпечується при швидкості переміщення абонента до 200 км/год.

Абонентські радіостанції мають масу: переносні – кілька сот грам, перевізні – декілька кілограм. Час установлення зв'язку не перевищує 0,3 с. У Прд застосовується диференціальна фазова маніпуляція. Потужність випромінювання становить до 5 Вт у переносних абонентських радіостанцій і до 10 Вт у перевізних. У дуплексному режимі частоти приймання і передавання рознесені на 10 МГц. У напівдуплексному режимі абонентська радіостанція весь час перемикається з приймання на передавання, і навпаки, синхронно з відведеними часовими інтервалами. Це дає змогу обійтись без складних схем фільтрації, які були б необхідні при одночасному прийманні і передаванні інформації. Для зменшення довжини антени її виготовляють у вигляді покритої полімерною оболонкою спіралі на гнучкому діелектричному стрижні або у вигляді сполучення спіралі з прямолінійним провідником всередині цього стрижня. Коефіцієнт корисної дії такої антени дорівнює 2–3%. Ширина смуги пропускання  $\approx 700$  кГц. Тому не завадить мати комплект замінних антен, а істотно підвищити дальність радіозв'язку можна, застосувавши спеціальні подовжені антени (гнучкі і телескопічні), а також антенні підсилювачі.

В абонентських радіостанціях передбачена можливість прямого зв'язку між абонентами, обминаючи ретранслятор БС і можливість використання абонентської радіостанції як ретранслятора сигналів інших абонентських радіостанцій для розширення зони покриття.

Цифрові транкові системи забезпечують такими видами послуг як мовний зв'язок, пересилання даних в режимі зв'язку, пересилання даних в пакетному режимі, пріоритетний доступ, доступ до інших мереж, конференц-виклик, виклик з дозволу диспетчера та ін. (всього 37 видів послуг, 21 з яких пов'язані з викликом). Є й такі види послуг, як передавання обслуговування, роумінг, ідентифікація абонентських радіостанцій.

Яскравим прикладом цифрової транкової системи, створеної за стандартом TETRA, є система ACCESSNET-T німецької фірми Роде і Шварц, яка працює в діапазоні частот 380–400/410–430 МГц, здатна нарощувати ємності



і пропускну спроможність. На її основі можна створювати як однозонову мережу, так і мережу, що покриває всю країну. Важливою особливістю цієї системи є можливість синхронізації від глобальної супутникової системи місцевизначення, а також те, що вона потребує мінімального обслуговування. Для спільної роботи аналогової системи ACCESSNET і цифрової системи ACCESSNET-T в обох системах ставлять шлюзи. При цьому аналогова система дістає через цифрову доступ до мережі з інтеграцією послуг. Розробляється можливість доступу і до інших сучасних цифрових мереж.

Крім TETRA, до найпопулярніших стандартів цифрового транкового зв'язку належать стандарти: EDACS, ARCO25, TETRAPOL та iDEN [71].

**Організація транкового зв'язку у миротворчому контингенті.** Транкінговий зв'язок українських миротворців на території республіки Ірак забезпечувався базовими 2-канальними радіостанціями, портативними та автомобільними радіостанціями без скремблерів, а також базовими 2-канальними радіостанціями, портативними та автомобільними радіостанціями зі скремблерами.

Усього використовувалось 4 БС. Дві з них були розгорнуті на ВЗ табору “Дельта” (м. Аль-Кут), ще дві – на ВЗ табору “Зулу” (м. Ес-Сувейра). Антени встановлювались на щоглах станцій Р-409 заввишки 20 м. Дальність зв'язку відповідала ГТХ і становила 50 км. Іноді прослуховувався сусідній канал. Робота в репітерному режимі використовувалась під час конвоювання та для зв'язку з віддаленими об'єктами.

Використовувались також 6 диспетчерських пунктів: два з них – стандартні, із застосуванням радіостанції Р-142Н, забезпечували дальність зв'язку 50 км, два інших – самозмонтовані на базі автомобільної радіостанції “Кордон”, щогли заввишки 11 м з кабелем та антеною від іракських засобів зв'язку – забезпечували дальність зв'язку 40 км, ще два – самозмонтовані на базі автомобільного комплексу Motorola – забезпечували дальність зв'язку 25 км.

У разі застосування БС зі скремблерами (в таборі “Дельта”) дальність зв'язку зменшувалась до 20 км навіть при піднятті антени на висоту 30 м за допомогою щогли типу “Сосна-М”, але значно поліпшувалась прихованість управління військами. (Scrambling – перестановка, перетасовка, перемеження).

## 8.5. Пейджинговий зв'язок і безпроводовий телефон

**Пейджинговий зв'язок.** *Пейджинг* (англ. *paging* – виклик). *Пейджингова система* – це дуже проста і недорога система однобічного мобільного зв'язку, що забезпечує пересилання коротких повідомлень з центра системи (пейджингового терміналу) через радіопередавач, антену БС на мініатюрні абонентські Прм (пейджери). Пейджер приймає тільки ті повідомлення, які йому адресовані за його індивідуальним чи груповим номером. Радіус дії може сягати 100 км.

Цифровим повідомленням може бути номер телефону, за яким необхідно подзвонити, а буквено-цифровим – будь-який текст зі 100–200 і навіть більше символів. Ці повідомлення відображаються на екрані дисплею. Передача мовних повідомлень поки що не набула широкого розповсюдження.

Повідомлення, які треба передати, вводяться в пейджингову систему одним з трьох способів:

- оператором пейджингового зв'язку за Тлф заявкою замовника;
- з клавіатури ТА замовника до пейджингового терміналу;
- з клавіатури комп'ютера замовника через Тлф мережу до пейджингового терміналу.

Основною відмінною рисою пейджингових систем (крім простоти і дешевизни) є пересилання повідомлення із затримкою у часі до кількох хвилин, що забезпечує ефективне використання каналу зв'язку.

Крім повідомлень, адресованих конкретним абонентам чи групам абонентів, в пейджингових системах може передаватись інформація про погоду, біржові новини, обстановку на дорогах тощо.

У 1997 р. у світі використовувалося більш ніж 100 млн пейджерів. Типові габарити  $80 \times 50 \times 20$  мм, маса  $\approx 100$  г, висока економічність. Використовувані діапазони частот: 88–108, 169,425–169,8, 901–902, 929–931, 940–941 МГц, смуги частотних каналів 25 або 50 кГц, швидкості передавання 512, 1200, 1600, 2400, 3200, 6250, 6400, до 25600 Бод [71].

Останнім часом з'являються повідомлення щодо розроблення пейджерів для двобічного зв'язку, тобто твейджерів. Але незрозуміло, чи набудуть вони широкого застосування, хоча міжнародним стандартом ERMES це, і навіть роумінг в пейджингових системах, передбачені.

**Безпроводовий телефон.** Через те, що плата за послуги стільникових систем досить висока, а стаціонарний телефон стримує мобільність абонента, на межі 70-х і 80-х років ХХ ст. була розроблена аналогова, а наприкінці 80-х років – цифрова система зв'язку, що дістала назву безпроводовий телефон.

Сучасний безпроводовий телефон, як правило, відповідає стандарту DECT, хоча можливі й інші стандарти. Спочатку він був розрахований на обмежений радіус дії (до 300 м), пішохідну швидкість переміщення абонента, застосування, насамперед, у середині приміщень і на невеликих територіях, що зумовило малу середню потужність випромінювання АС ( $\approx 10$  мВт), простіше, ніж в системах стільникового зв'язку, оброблення сигналу. Це немов би стільниковий зв'язок з маленькими стільниками (чарунками, зонами) і обмеженим набором послуг. У ньому застосовується багатостанційний доступ з частотним і часовим розподілом каналів. В Європі безпроводовому телефону відведений діапазон 1880–1900 МГц, в якому розміщуються 10 частотних каналів зі смугами по 1,728 МГц і захисними частотними інтервалами між ними. У кожному частотному каналі обмін інформацією відбувається кадрами тривалістю 10 мс, що містять по 24 слоти (часових вікна, інтервали). Перша

половина слотів, як правило, використовується для пересилання інформації від БС до АС, друга – від АС до БС (рис. 8.6). Таким чином, створюється 12 дуплексних каналів для обміну інформацією зі швидкістю 32 кбіт/с в кожному. Метод кодування мови – адаптивна диференціальна ІКМ. 16 кадрів створюють один мультикадр. Кожному абоненту виділяється в кадрі, як правило, один слот для пересилання інформації і один слот для приймання інформації з рознесенням цих слотів на 5 мс. При цьому застосовуються коди, що дають змогу виявити, але не виправити похибку. Гнучкість системи полягає в тому, що абоненту можуть бути виділені по декілька слотів у кожному кадрі.

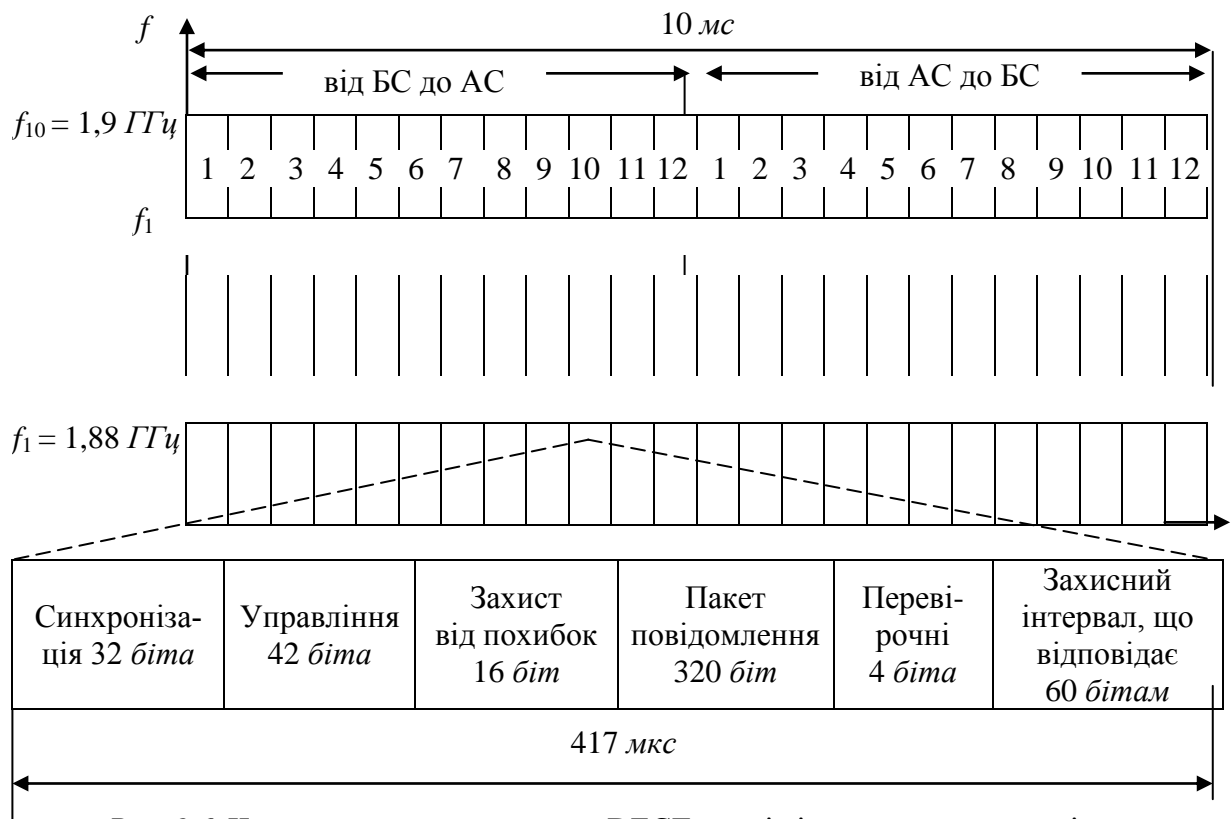


Рис. 8.6. Частотно-часова структура DECT-кадрів і часова структура вікна

Структура системи складається з базових станцій; контролера, що ними керує і забезпечує вихід на АТС; рухомих станцій; пристроїв доступу, через які можливий також вихід на БС з факсу і стаціонарних ТА.

Важливим достоїнством системи є можливість доступу БС і АС до будь-якого частотного і часового каналів. Регулярно (раз на 30 с) БС і АС сканують своє локальне радіосередовище, вимірюючи рівні напруженості електромагнітного поля в каналах для визначення вільних каналів. Вільні канали визначаються за низьким рівнем електромагнітного поля, зайняті (сигналом чи завадами) – за високим. Спираючись на результати цих вимірів, БС і АС вибирають оптимальний канал, і цей вибір може змінюватись в процесі сеансу зв'язку. При цьому БС по одному з каналів постійно повідомляє про свій

номер, стан системи і т. ін., що необхідно для встановлення зв'язку. АС аналізує інформацію і визначає, чи є в неї доступ до цієї системи, чи є вільні часові канали.

Щоб виявити спробу АС встановити зв'язок, БС весь час сканує свої канали. У цей час АС синхронізується за сигналом БС, вимірює в каналах інтенсивність сигналу + завади та частоту похибок і за власною ініціативою вибирає найкращий. Інформація про інтенсивність сигналу + завади і частоту похибок використовується також для передавання обслуговування. Безперервний пошук кращого каналу сприяє плавному передаванню обслуговування АС від однієї до іншої БС.

Як і в стільниковому зв'язку, у безпроводовому телефоні передбачена прописка (реєстрація), ідентифікація АС за PIN-кодом та аутентифікація абонента на право доступу в мережу та надання йому передбачених послуг. Вкрай важливо, що ключ аутентифікації не передається по радіо. Він є в АС і БС. В АС над ним виконуються таємні алгоритмічні перетворення. Їх результат передається по радіо. У БС виконуються зворотні таємні алгоритмічні перетворення, результат яких порівнюється з ключем аутентифікації, що є в БС. Від результату цього порівняння залежить: встановиться зв'язок чи відбудеться роз'єднання. За аналогією з SIM-картою у безпроводовому телефоні використовується DAM-карта. Для розкриття ключа аутентифікації потрібен тривалий час або великі обчислювальні потужності, що робить перехоплення повідомлень практично неможливим.

Деякі DECT-системи випускаються з радіоподовжувачами радіусу їх дії, пристроями доступу (радіорозетками) для виходу через радіоканал на БС з факсу, стаціонарного телефону тощо. Абонентські апарати виробляються з автовідповідачем або без нього. Деякі виробники пропонують об'єднати в одній АС два стандарти: GSM стільникового зв'язку і безпроводового DECT-телефону з пріоритетом DECT, поки абонент перебуває в зоні дії його базових станцій.

Достоїнствами безпроводового телефону як системи зв'язку є те, що він:

- дає змогу зменшити поточні витрати на зв'язок;
- приводить до росту ефективності використання технічних засобів і продуктивності праці;
- працює в діапазоні, більш вільному від завад, ніж GSM-900;
- безпечніший для здоров'я, оскільки випромінює меншу потужність;
- забезпечує захист від несанкціонованого доступу і підслуховування;
- забезпечує чимало послуг, зокрема, внутрішній зв'язок, конференц-зв'язок, переадресацію дзвінків тощо;
- забезпечує доступ до багатьох застосувань, що підвищують продуктивність праці, природно вписується в загальне телекомунікаційне середовище, даючи можливість АС вийти через БС і АТС до будь-якої іншої мережі.

Нині областю застосування безпроводового телефону є: приватний сектор, бізнес-сектор, суспільний сектор, створення локальних комп'ютерних мереж, створення локальних мереж безпроводового, зокрема мікrostільникового, зв'язку, абонентський радіодоступ до ТМЗК.

Прикладом мікrostільникової DECT-системи може бути система "Меридіан", яка складається зі 128 БС, кожна з яких обслуговує чарунку радіусом 25–50 м (у приміщенні). Кожна БС підтримує одночасно від 6 до 12 розмов. Разом вони покривають зв'язком 350 000 м<sup>2</sup> і обслуговують 3500 абонентів. Максимальна відстань від БС до установчої АТС – 700 м. Забезпечується передавання обслуговування і роумінг. Габарити БС 235×172×45 мм. АС-кишенькова, повністю замінює звичайний телефон.

При малій відстані між абонентами між ними можливий прямий, минаючи БС, зв'язок. Тоді і платити за послуги зв'язку не потрібно, як і тоді, коли БС належить власнику приватного чи бізнес сектору.

## **8.6. Порівняння різних видів мобільного зв'язку і їх використання у військовій справі**

**Порівняння і тенденції розвитку.** *Стільниковий зв'язок* не обмежує мобільності абонента і надає найбільшу кількість послуг у вигляді, зручному і звичному для користувачів. Він найбільш криптостійкий і завадозахищений; доволі біологічно безпечний, надійний і оперативний; ефективно використовує частотний ресурс, практично не має тіньових ділянок. Але його обладнання складне, послуги одні з найдорожчих. Він не всюди доступний і не скрізь рентабельний.

*Мобільний супутниковий зв'язок* за набором і якостями послуг близький до стільникового, забезпечує найбільшу (тисячі кілометрів) зону покриття, майже усюди доступний. Але він складніший, найдорожчий, менш біологічно безпечний, вносить деяку незручність через затримку сигналу.

*Транковий зв'язок* за набором послуг бідніший за стільниковий; менш біологічно безпечний; менш криптостійкий і завадозахищений; якщо і забезпечує хендовер, то з деякою перервою зв'язку. Перерви можливі і через наявність тіньових ділянок. Але він надійний, оперативний; теж не обмежує мобільність абонента; має більший радіус дії; ефективніше використовує частотний ресурс через вузькосмуговість і можливість групового використання робочих частот; дає змогу передавати радіотелефон іншим особам, ретранслювати їм сигнали для розширення зони обслуговування. А головне, він не так сильно централізований, як стільниковий зв'язок.

*Безпроводовий телефон* поступається вищеназваним видам зв'язку за мобільністю і радіусом дії, але він дешевший, забезпечує середній набір послуг, доволі криптостійкий і завадозахищений; біологічно безпечніший.

*Пейджинг* за набором послуг поступається всім видам мобільного зв'язку, але він найдешевший; найбезпечніший біологічно, оскільки пейджер не випромінює РХ; має другий за величиною радіус дії.

Таким чином, **стільниковий зв'язок** – унікальний за своїми характеристиками. Інші види мобільного зв'язку доповнюють його там, де можна обійтися меншим набором послуг, чи потрібно обійтись менш дорогим видом зв'язку, чи в малонаселених і важкодоступних районах, у повітрі і в космосі, на морях і океанах, де розгортання системи стільникового зв'язку було б нерентабельним або неможливим. Іноді це доповнення виявляється у вигляді створення абонентського терміналу, здатного підтримувати декілька видів мобільного зв'язку: стільникового і супутникового, стільникового і безпроводового телефону, транкового і пейджингового, аналогового і цифрового або працювати в різних діапазонах частот.

У цей час відбувається новий етап розвитку усіх видів мобільного зв'язку.

Стільникові системи третього покоління працюють в діапазоні частот 1885–2170 МГц – наземний сегмент і 1980–2010/ 2170–2200 МГц – супутниковий сегмент. Ці системи можуть забезпечити мобільний зв'язок з усіма видами послуг, з глобальним роумінгом, відеотелефоном, відеоконференціями, визначенням місцеположення, високошвидкісним доступом в Internet тощо при швидкостях передавання інформації 64 кбіт/с без обмеження мобільності абонента, до 384 кбіт/с – при швидкості пішохода, до 2 Мбіт/с – у стаціонарному варіанті. Передбачається комбінований поділ каналів. Випробуються і упроваджуються системи четвертого покоління.

Транковий зв'язок зазнає переходу від аналогових до цифрових систем, тому почав використовуватись багатостанційний доступ не тільки з частотним, але й з часовим розподілом каналів, синхронізацією від глобальної навігаційної супутникової системи. Це зробило можливим передавання не тільки мови, але й даних, зокрема в пакетному режимі; значно збільшити ємність системи та ефективність використання частотного ресурсу, обігнати за цими характеристиками навіть стільниковий зв'язок.

Безпроводовий телефон за допомогою радіоподовжувачів і антенних підсилювачів нарощує радіус дії. Це розширює його можливості під час створення систем радіодоступу. Можлива реалізація в одному абонентському терміналі стандартів GSM і DECT з пріоритетом DECT в зонах дії його базових станцій. Це здешевить послуги і забезпечить доступ до послуг інших мереж.

У нових пейджингових системах можливий перехід від одnobічного до двобічного зв'язку, передавання мовних повідомлень, роумінг.

Отже, тенденція розвитку систем така, що кількість і якість послуг за видами зв'язку збільшується. Транкінг і безпроводовий телефон у своєму розвитку йдуть услід за стільниковим зв'язком, а пейджинг – за транкінгом. Продовжується перехід від аналогової до цифрової обробки сигналів. Збіль-

шується кількість ознак, за якими розподіляються канали. Опановуються нові діапазони вищих частот. Збільшується ємність, пропускна спроможність, мобільність, надійність, завадо- і криптозахищеність. Продовжуються процеси взаємопроникнення систем і глобалізації мобільного зв'язку.

**Використання у військовій справі.** Згідно з Державним стандартом України мобільність систем ВЗв визначається як здатність у запроваджені терміни розгортатися, згортатися, переміщуватися та змінювати свою структуру відповідно до обставин. Рухомою вважається апаратура, що змонтована на транспортних засобах (автомобілях, броньованих машинах, літальних апаратах, кораблях, у контейнерах) і перевозиться ними. Виходячи з цього, можна стверджувати, що засоби мобільного зв'язку вже широко використовуються. Насамперед, це стосується супутникового зв'язку, що необхідний для усіх ланок управління. Тимчасові труднощі пов'язані з відсутністю в Україні власного СР. Це змушує орендувати канали супутників інших країн, але роботи зі створення національних супутників зв'язку і дистанційного зондування Землі ведуться.

Однак, якщо враховувати використання портативних (переносних, кишенькових) абонентських радіостанцій, то з цим справа гірша. Існують переносні абонентські радіостанції супутникового зв'язку. Використовувався пейжинговий зв'язок, але дуже обмежено. Що стосується транкового, стільникового і безпроводового локального зв'язку, то їх використання дуже перспективне, особливо в реформованих Збройних Силах і якщо будуть в наявності відповідні системи вітчизняного виробництва. У всякому разі програмою розвитку передбачене впровадження засобів радіодоступу на ВЗ від мобільних засобів зв'язку за умови надійного криптозахисту інформації. За рештою характеристик практично всі портативні радіостанції, що пропонуються на вітчизняному ринку, відповідають військовим стандартам. Вони виготовлені в удароміцному корпусі. Потужність випромінювання переносних радіостанцій не перевищує 5 Вт, кишенькових – 1 Вт. Зона обслуговування – декілька кілометрів. Центральний процесор забезпечує формування 200–320 каналів, запам'ятовування номера, паралельне прослуховування сусідніх каналів, блокування клавіатури, зменшення випромінюваної потужності тощо.

Розглядаючи перспективи, слід звернути увагу на перспективні системи зв'язку збройних сил США [74] та об'єднаних збройних сил НАТО. У цих системах поряд з комутацією каналів застосовують комутацію пакетів, телекомунікаційні послуги передбачають внутрішній голосовий зв'язок, Тлф зв'язок, пересилання даних, нерухомих зображень, низько- і високошвидкісної відеоінформації. Існуючі тактичні системи зв'язку не розраховані на пересилання відеоінформації, а тому не можуть забезпечити на сучасному рівні розосереджені воєнні операції. Нові технології дають можливість інтегрувати в загальній ТКС ISDN XXI ст. передачу усіх цих видів повідомлень.

На закінчення відзначимо таке:

1. Через обмежене фінансування головним завданням військових на поточне десятиліття вважається запозичення та адаптація цивільних телекомунікаційних технологій, їх інтеграція з військовими і комерційними технологіями для скорочення затрат на розроблення обладнання, підвищення якості зв'язку і розширення послуг. На сьогодні найпридатнішим для застосування у військовій справі є сучасний транкінговий зв'язок.

2. Нині швидко розвиваються системи персонального зв'язку і стільникового зв'язку третього і четвертого покоління.

До персонального зв'язку належать системи стільникового зв'язку, що працюють в діапазонах 1800 і 1900 МГц. Перехід на ці діапазони частот (від 800 і 900 МГц) істотно підвищує ємність систем і робить їх доступними для масового використання. Для плавного переходу до таких систем створені поєднані мережі, розроблені дворежимні і трирежимні абонентські апарати (GSM1800/GSM900, GSM1900/GSM900, Д-AMPS1900/Д-AMPS 800/AMPS800, CDMA800, CDMA1900 та ін).

3. Робота щодо створення систем стільникового зв'язку третього покоління проводилась упродовж більш ніж 10 років і нині йде інтенсивне їх упровадження і експлуатація. Для них виділено 2-гігагерцовий діапазон, а саме загальну смугу в 170 МГц на частотах 1885–1980, 2010–2025 і 2110–2170 МГц для наземного сегменту і в 60 МГц на частотах 1980–2010/2170–2200 МГц для супутникового сегменту. У цих системах передбачене забезпечення стільниковим зв'язком з усіма можливими видами послуг, глобальним роумінгом, доступом до Internet та ін. На жаль, про єдиний всесвітній стандарт домовитись не вдалось, тому запланований курс на “сімейство стандартів”, здатних разом функціонувати, забезпечуючи глобальний роумінг.



## 9. Супутникові системи зв'язку та визначення місцеположення

### 9.1. Загальні положення

Одним з найважливіших етапів застосування штучних супутників зв'язку (ШЗС) стало забезпечення УКХ радіозв'язку на будь-які відстані.

Для ССЗ виділені смуги частот в діапазонах  $L$  (1,452–1,550 і 1,61–1,67),  $S$  (1,92–2,70),  $C$  (3,40–5,25 і 5,725–7,025),  $X$  (7,25–8,90),  $Ku$  (10,70–14,80),  $Ka$  (15,40–26,50 і 27,00–30,20),  $K$  (84–86) ГГц.

ССЗ – це велика система, до складу якої входять:

- ЗС зв'язку;
- СР з допоміжним обладнанням;
- координаційна станція, що контролює стан каналів зв'язку, координує роботу ЗС, забезпечує комутацію каналів зв'язку.

Усі види супутників запускаються на орбіти за допомогою ракетно-космічного комплексу.

Параметри орбіт визначаються КВК (див. рис. 9.1). На основі цих вимірювань надаються цілевказання для наведення антен ЗС на СР. Крім того, КВК контролює стан обладнання СР й управляє роботою СР.

Класифікація елементів системи ЗС–СР:

1. За сферою належності та обслуговування: комерційні і державні (цивільні і військові) [10].
2. За мобільністю ЗС: стаціонарні і рухомі (перевізні, переносні, портативні).
3. За масою супутника: малі (до 1000 кг) і великі ( $\geq 1000$  кг).
4. За типами орбіт:
  - з високоеліптичними орбітами (висота перигею сотні км, висота апогею десятки тисяч км);
  - з круговими орбітами: низькими (до 1500 км), середньовисотними (5–20 тис. км), високими (30–40 тис. км).

Серед останніх особливе місце посідають геостаціонарні орбіти (висота яких над поверхнею Землі  $h = 35\,836$  км). Вони лежать в екваторіальній площині Землі. З них забезпечуються величезні (до 17 тис. км у діаметрі) зони видимості СР і сприятливі умови спостереження за супутником завдяки його нерухомості відносно поверхні Землі).

5. За способом ретрансляції сигналів супутником: з пасивною (за допомогою відбивача) і активною ретрансляцією.

Найбільшого поширення набула остання. Активна ретрансляція може бути негайною (коли обидва кореспонденти одночасно перебувають в зоні обслуговування одного і того самого СР) або затриманою (коли ця умова не виконується). Затримана ретрансляція реалізується накопиченням інформації першого кореспондента в пам'яті СР і подальшого скидання її другому ко-респонденту, коли зона обслуговування СР наблизилася до місця його розташування.

Супутникові системи місцевизначення з'явилися в 60-і роки ХХ ст. і швидко зарекомендували себе як точні і надійні засоби кораблеводіння, літаководіння, визначення положення різних наземних об'єктів. Відтоді вони пройшли чималий шлях розвитку і представлені зараз двома найрозвиненішими мережними супутниковими радіонавігаційними системами (МС РНС): північноамериканською GPS, чи "Навстар", і радянською, а зараз російською ГЛОНАСС. Обидві системи надані в міжнародне користування. У 2010 році мала б надійти в експлуатацію європейська система «Галілео», у 2020 – китайська система «Бейдоу».

## **9.2. Військові системи супутникового зв'язку США та інших країн НАТО**

Збройні сили НАТО обслуговує об'єднана мережа усіх родів зв'язку. Однією з найважливіших її складових є ССЗ SATCOM. Високі тактико-технічні характеристики SATCOM (практично необмежена дальність зв'язку, повсюдна доступність, велика кількість каналів, безперервність зв'язку, оперативність, гнучкість тощо) привели до передавання каналами цієї системи більш ніж половини всієї передаваної інформації.

Система супутникового зв'язку SATCOM базується на використанні СР SATCOM, НАТО-4, DSCS-4, MILSTAR та ін. Вона тісно співпрацює з національними ССЗ країн НАТО, які мають радіально-зонову топологію і все частіше орендують лінії комерційних ССЗ.

Дані національних ССЗ США і деяких країн НАТО наведені у табл. 9.1.

У розглянутих системах працюють близько 30 різних типів військових ЗС. Серед них: стаціонарні і рухомі (перевізні та переносні), наземні, корабельні і літакові. Їх потужність від 1,5 Вт до 100 кВт. Більшість з них (близько 20 типів), працюючи в орендованих каналах комерційних ССЗ, відповідають вимогам секретності або конфіденційності.

Супутники-ретранслятори мають від 1 до 20 стволів (транспондерів) зв'язку, пропускну спроможність 2,4–64 кбіт/с на канал, випромінюють потужність від 8 до 70 Вт. Види зв'язку: Тлф, Тлг, ФТлг, ПД. Антени: рупорні, параболічні, ФАР з шириною пелюстка близько 1°.

Дані військових ССЗ США і деяких країн НАТО

Країна	ССЗ	Ланки управління	Кількість СР, типи орбіт	Діапазон радіохвиль	Види розподілу каналів
США	DSCS	СЛУ (МО)	6 ГЕО DSCS-4	СМХ, ММХ	ЧРК, ЧсРК, КРК
США	MILSTAR	Усі ланки збройних сил	4 ГЕО, 4 ВЕО	DMX, CMX, MMX	ЧРК, ЧсРК, КРК
Англія	SKYNET	Усі ланки збройних сил	2 ГЕО Skynet-4	DMX, CMX, MMX	ЧРК, ЧсРК
Франція	SYRACUZE	СЛУ, ОТЛУ	3 ГЕО Syracuse-3	СМХ	ЧРК, ЧсРК, КРК

**Новітні розроблення.** В останні десятиліття в США проводяться інтенсивні роботи з оновлення ССЗ. Для підвищення надійності супутникового зв'язку, особливо в надзвичайних умовах, передбачена можливість спільної роботи нових типів військових ЗС як з військовими, так і з комерційними СР. Це забезпечує багаторазове дублювання і резервування каналів, розширення загальної пропускної спроможності, а надійність зростає через неможливість радіопридушення чи знищення усіх комерційних СР.

Комерційні СР працюють в інших діапазонах частот, а саме *C* (6/4 ГГц) і *Ku* (13,7/11,7 ГГц), тоді як військові СР працюють в діапазоні *X* (8,5/7,65 ГГц) [71]. Тому в США розроблені нові дво- і тридіапазонні ЗС для усіх ланок управління, які використовують завадостійкі ШСС і ППРЧ, мають винесені антени або дистанційне управління з відстані 45–600 м.

Для забезпечення швидкого розгортання, топографічної прив'язки, орієнтування і синхронізації ЗС оснащені апаратурою супутникової навігації, датчиками обр'ю і північного напрямку. Переоснащення заплановано закінчити до 2010 року. Деякі ГТХ цих та інших ЗС наведені в табл. 9.2.

Таблиця 9.2

Тактико-технічні характеристики військових ЗС США

Ланка управління	Тип ЗС	Військова назва	Кількість каналів	Швидкість передачі, Мбіт/с	Маса, кг	Час розгортання, хв	Час зміни діапазону, хв
СЛУ, ОТЛУ	STAR-T	AN/TSC-156 (V1)	280	2 і 8 (з комерц. СР)	–	30	10
ТЛУ	T3	AN/TSC-145	–	8	–	30	5
ТЛУ	LMST	AN/TSC-152	–	–	–	–	–
ТЛУ	FEAST	–	–	–	190	–	–
ТЛУ	LST-8000 (V)T	–	–	9,4	1400	60	15
ТЛУ	SMART-T	AN/TSC-154	64	1,5	681	30	–
ТЛУ	SCAMP-I	AN/PSC-11	4	0,0024	14	10	–
ТЛУ	SCAMP-II	–	2	0,064	7	5	–

Додаткові відомості:

ЗС STAR-T можна транспортувати одним літаком або гелікоптером. Вона може працювати в режимах комутації каналів і комутації пакетів. У війська надходить з 1999 року. Заплановано поставити 200 ЗС для ВМС і ВПС, 150 – для СВ.

ЗС FEAST придатна для скидання на парашуті.

ЗС LMST – дводіапазонна.

Однодіапазонні ЗС працюють в діапазоні MMX (43,5–45,5/20,2–21,2 ГГц). З них: SMART-T (перевізна), SCAMP-I (переносна) експлуатуються з 1999 року, а SCAMP-II (ранцева) – з 2002 року. Потужність випромінювання SCAMP-I – 1,5–5 Вт, SCAMP-II – 2,5–3,5 Вт. Детальніше дивись у [25].

#### **Новітні дані про ЗС військового супутникового зв'язку США:**

1. У 1994–1998 роках були модернізовані стаціонарні й перевізні варіанти ЗС супутникового зв'язку (AN/FSC-78 випуску 1976 року, AN/GSC-39(V) випуску 1977 року, AN/GSC-52 випуску 1978 року) з розрахунком на те, що їх будуть експлуатувати ще упродовж 15–20 років. Це є прикладом дбайливого ставлення багатой країни до “старої” техніки.

2. Окрім перебудованих дводіапазонних і тридіапазонних ЗС на озброєнні є станції, які можуть одночасно забезпечувати зв'язок через 2 і 4 СР. Це AN/TSC-152 – дводіапазонна станція, яка може працювати на дві антени для одночасного ведення зв'язку через 2 СР в різних діапазонах частот з мінімумом часу на розгортання і входження в зв'язок, і станція AN/TSC-86, що може одночасно працювати з чотирма СР.

3. З 1998 року випускається транспортабельна станція AN/TSC-154 (SMART-T) міліметрового діапазону хвиль (40/20 ГГц). Вона призначена для збільшення радіусу дії польової автоматизованої системи зв'язку загального користування MSE, а також для абонентів СЛУ, ОТЛУ, тактичних підрозділів ВПС, морської піхоти і сил спеціальних операцій. Вага станції – 681 кг, час розгортання – 30 хв. Вона має 12 портів для середньошвидкісного зв'язку (від 4,8 кбіт/с до 4,096 Мбіт/с) і 12 портів для низькошвидкісного зв'язку (від 75 біт/с до 2.4 кбіт/с). Топоприв'язка і часова синхронізація здійснюється за сигналами GPS. Планувалося закупити 209 станцій для СВ, 25 – для морської піхоти, 13 – для сил спеціальних операцій.

#### **4. Переносні ЗС:**

– родина станцій ДМХ (300–512 МГц) AN/PSC-3, -5, -5D для зв'язку через СР “Флітсатком” і “Афсатком”. За допомогою цих ЗС можна забезпечувати зв'язок з тактичною авіацією;

– ранцеві станції для забезпечення зв'язку через СР Inmarsat-3:

Satlink B2, якою керують з відстані 100 м, забезпечує багатоканальний Тлф, факсимільний і відеозв'язок, пересилання даних в мережах ISDN;

Voyager, яка відзначається високою якістю автосупроводження СР, що дає змогу підтримувати зв'язок під час руху зі швидкістю до 250 км/год. Станція забезпечує пересилання даних і Тлф ЗАЗ. Для захисту від несанкціо-

нованого доступу вона має SIM-карту. Упаковується в кейс і має автомобільний варіант;

ЗС MMX SCAMP-I і SCAMP-II, які розглядалися раніше.

5. Портативні ЗС користувацького діапазону 1,616–1,626 МГц для зв'язку через СР ССЗ “IRIDIUM”:

– Motorola 9500, яка має два режими – супутникового і стільникового зв'язку різних діапазонів частот і стандартів. Зміна режимів відбувається за рахунок змінних картриджів. Швидкість пересилання інформації 2,4 і 4,8 кбіт/с, потужність випромінювання 0,645 Вт;

– Motorola 9505 має такі самі характеристики, що й Motorola 9500, при меншій масі і габаритах. До її складу входить SIM-карта. Може обладнуватися шифрувальним пристроєм.

Детальніше про це дивись в журналах “Зарубежное военное обозрение” № 3 і 4 за 2004 рік; № 5 за 2009 рік і додатку 1.

### 9.3. Використання комерційних систем супутникового зв'язку у військових цілях

Для підготовки і розгортання бойових дій, крім військових, використовуватимуться і комерційні ССЗ, що вже робилося під час збройних конфліктів у Афганістані та Іраку.

Найвідомішими комерційними ССЗ, що використовують геостаціонарні СР, є Інтелсат, Євтелсат, Інмарсат, ПанАмСат, VSAT, Thuraya. До складу кожного з них входять одиниці–десятки геостаціонарних супутників, а до Інтелсат та Інмарсат-3 ще й високоеліптичні супутники, через які послугами зв'язку можуть забезпечуватися абоненти майже 180 країн. Супутники працюють в *C* і (або) *Ku*-діапазонах, а Інмарсат-3 і Thuraya ще й в користувацькому діапазоні 1,64/1,54 ГГц, реалізують ЧРК, ЧсРК, КРК.

**VSAT** – система малих малих абонентських терміналів, в якій працюють майже 700 ЗС України, орендуючи канали у Інтелсат і Євтелсат. VSAT працює в *Ku*-діапазоні, реалізує ЧЧсРК. В Україні ці станції об'єднував у мережу космічний координаційний центр “Укрсат”, що розташований у м. Києві на вул. Васильківській, буд. 37. VSAT надає послуги банкам, митній і податковій службам, Збройним Силам України. Оренда каналу з пропускною спроможністю 64 кбіт/с становить \$2–2,5 тис. на місяць. Зараз аналогічні послуги, зокрема прикордонній службі, надає компанія Datasat.

**Thuraya** (Плеяди) – одна з кращих сучасних геостаціонарних ССЗ. Вона належить компанії TST Об'єднаних Арабських еміратів.

*Космічний сегмент* ССЗ складається з двох геостаціонарних супутників, встановлених на позиції  $\cong 44^\circ$  сх. д. Планується запуснути на орбіту ще один супутник. Кожен СР обладнаний: високочутливими Прм; потужними Прд;

антенною з рефлектором, площа якого становить  $12 \times 16 \text{ м}^2$ , що цифровим способом формує 250–300 керованих пелюсток; комутатором для забезпечення міжмобільних зв'язків. Ємність СР – 13 750 одночасно використовуємих Тлф каналів з імовірністю відмови 0,02. СР працює з користувачами на частотах 1, 64/1,54 ГГц, зі шлюзами – на частотах 6,6/3,46 ГГц. Гарантійний термін СР – 12 років. Обидва СР виведені на орбіту українською ракетою.

*Наземний сегмент ССЗ* складається з АС, центрального і національних шлюзів, які забезпечують зв'язок між стаціонарними і мобільними мережами через СР. До складу центрального шлюзу входять: центр керування супутниками, центр розподілу каналів і центральна система обслуговування клієнтів.

Особливістю системи є забезпечення супутниковим та стільниковим зв'язком і навігаційними послугами в одній АС (масою 220 г, вартістю \$899). У зоні стільникового обслуговування працює дешевший GSM-зв'язок, а за її межами АС автоматично переходить на супутниковий зв'язок. Потужність Прд АС не перевищує 2 Вт. Модуляція несучої – квадратурна фазова. Кодування – за стандартом GSM. Розділення каналів – частотне і часове. Швидкість пересилання даних – 2,4; 4,8; 9,6 кбіт/с. Точність місцевизначення – 20–30 м. Акумулятор забезпечує 3 год розмови або 34 год чергового режиму. Компанія планує через супутник забезпечувати абонентів високошвидкісним пересиланням даних, для чого розробляється новий тип АС, важливою перевагою якої буде оплата обсягу прийнятих даних, а не витраченого на це часу. З існуючих АС можна дзвонити на будь-які міжнародні Тлф номери (звичайні, стільникові чи супутникові), а також приймати виклики від них.

На жаль, в абонентській радіолінії ССЗ Thuraya” не вдалося забезпечити достатнього запасу енергії для якісного зв'язку під час перебування абонента в приміщенні. Однак рівень сигналу виклику достатній і прийнявши його, абонент має вжити заходів для забезпечення прямої видимості СР [67].

В Україні інтереси компанії TST представляє компанія “Пан-Телеком” під торговою маркою “Турая – Україна”, що розташована у м. Києві на Бессарабській пл. 9/1, офіс 5. Абонентська плата – \$17, вихідний дзвінок – \$0,75, внутрішній – \$0,5, вхідний – безкоштовний.

На початковій стадії військового конфлікту в Іраку система “Thuraya” використовувалась без обмежень, але згодом в частинах, що безпосередньо брали участь у бойових діях, через побоювання командувань воюючих сторін, що противнику стане відомим їх розташування, це було заборонено. Причина – в суміщеності функцій зв'язку і навігації в АС “Thuraya”, хоча виходом з цього становища було б вимкнення функції навігації.

**Особливості орбіт.** Геостаціонарна орбіта дає змогу забезпечити найбільшу зону видимості, сприятливі умови спостереження за супутником, глобальний зв'язок за допомогою усього трьох СР. Але вона дуже перевантаже-

на, не забезпечує обслуговування високих широт (вище ніж  $81^\circ$ ), запуск на неї дорожчий, сигнал між кореспондентами проходить впродовж  $0,25\text{--}0,27$  с, що створює деяку незручність для Тлф зв'язку. Ось чому за останнє десятиліття, спираючись на успіхи мікроелектроніки і необхідність забезпечення глобального мобільного зв'язку ("з трубкою в руці"), бурхливого розвитку набули низько- і середньоорбітальні ССЗ.

Супутники і мінісупутники низько- і середньоорбітальних ССЗ легші, дешевші, енергетично вигідніші, вносять меншу затримку сигналу. Але їх зони обслуговування значно менші, а тому для забезпечення глобального зв'язку необхідна на порядок більша кількість супутників, крім того, керувати таким угрупованням супутників значно складніше, через урахування істотного доплерівського зсуву частот.

Найвідомішими низькоорбітальними ССЗ є IRIDIUM, "Гонець", GLOBALSTAR, середньоорбітальними – ICO та інші.

**ССЗ IRIDIUM** створена за участю фірм США, Росії, Японії та інших держав. Її почали експлуатувати у 1998 році. 700-кілограмові супутники системи у кількості 66 штук рухаються по 6 кругових орбітах з нахиленням орбіти близько  $86^\circ$ , тобто здатні обслуговувати всю земну кулю. Система працює в діапазонах  $29,2/19,5$  і  $1,616/1,6265$  ГГц, реалізує частотний, часовий і просторовий розподіл каналів. Її унікальна особливість – це існування зв'язку між сусідніми супутниками на 600–1300 Тлф каналах на частоті  $23,3$  ГГц, що забезпечує глобальність мобільного зв'язку між абонентами. Шість ФАР супутника формують 48 пелюсток ДС антен, що разом покривають на поверхні Землі зону діаметром  $4500$  км. Частоти повторюються в кожній восьмій пелюстці, що поліпшує просторову розв'язку і дає змогу раціонально використати відведений частотний діапазон.

Під час руху супутників відбувається передача обслуговування кореспондента з пелюстки до пелюстки, від супутника до супутника без перерви сеансу зв'язку. На  $f = 1,62$  ГГц в системі діє 3835 Тлф каналів з пропускною спроможністю  $2,4$  кбіт/с на канал. Крім того, система визначає координати кореспондентів.

Вартість системи становить  $\$3,5$  млрд, вихідного дзвінка –  $\$2$  за хв. Але поки створювали систему IRIDIUM, ринки збуту заповнили дешеві види мобільного зв'язку, що спричинило банкрутство компанії. Однак у 2000 році систему перекупила інша компанія (за  $\$25$  чи  $\$50$  млн) і відновила її експлуатацію. Пентагон підтримав це, орендувавши 20 тис. Тлф номерів за  $\$3\text{--}6$  млн на місяць. Система дуже ефективно використовувалась збройними силами США під час воєнних конфліктів в Афганістані та Іраку.

**ССЗ "Гонець"** розгорнута Росією в 1999–2001 роках. Її 300-кілограмові супутники у кількості 45 штук обертаються на 5 кругових орбітах заввишки  $\sim 1400$  км і нахиленням орбіти  $83^\circ$  з розрахунком на обслуговування корис-

тувачів усіх широт. Діаграма спрямованості антени СР – широка. Діаметр зони покриття майже 5000 км. Потужність випромінювання СР – 5–30 Вт. Діапазон робочих частот – 312–315/387–390 МГц. Швидкість пересилання інформації – 2,4–128 кбіт/с на канал. У системі реалізовано ЧРК і ЧсРК, вона розрахована на 1,5 млн користувачів. Точність місцевизначення користувача – 1 км. Маса АС – 3 кг. Її антена не спрямована. Це дає змогу застосовувати АС на рухомих об'єктах (літаках, танках та ін.).

**Нові проекти.** Найцікавішими є такі:

1. Проект Sky Bridge пропонує квазігеостаціонарні орбіти з використанням ЗС з гостроспрямованими антенами.

2. Проект міжурядової організації “Інтеркосмос”, яка замовила виготовлення 100 малих супутників з наміром встановити їх на 15 геостаціонарних позиціях, поступово нарощуючи кількість супутників на кожній позиції.

Детальніше дивись у [25].

#### 9.4. Принципи побудови, характеристика елементів ГЛОНАСС, Навстар та інших систем місцевизначення

Супутниковою системою місцевизначення називають систему, у якій роль опорних пунктів (для застосування радіодальномірного методу визначення місцеположення користувача) виконують ШСЗ, що мають радіонавігаційну апаратуру. За це їх називають навігаційними ШСЗ, чи НШСЗ.

Спрощена структурна схема (рис. 9.1) містить в собі:

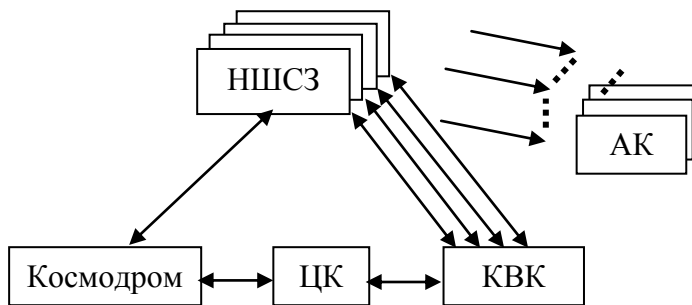


Рис. 9.1. Структурна схема МС РНС

– космодром, що забезпечує виведення НШСЗ на необхідні орбіти;

– мережу НШСЗ – джерел навігаційних сигналів і ретрансляторів необхідної службової інформації;

– апаратуру користувачів (АК) чи апаратуру супутникової навігації (АСН), яка призначена

для приймання й оброблення сигналів НШСЗ для визначення за ними місць розташування і швидкостей руху користувачів (об'єктів);

– КВК, що слугує для контролю за НШСЗ, постачання НШСЗ і АК службової інформації, а також для управління НШСЗ як космічними апаратами (КА);

– центр керування (ЦК), який координує роботу всіх елементів системи.

Для користувачів робота космодрому, КВК і ЦК мало помітна. Для них важливо:



– що навколо Землі на середньовисотних кругових орбітах обертаються НШСЗ, утворюючи мережу опорних пунктів (рис. 9.2), координати яких розраховуються в АК з високою точністю;

– що на борту НШСЗ є атомний стандарт частоти, який забезпечує випромінювання радіонавігаційних сигналів у точно відомі моменти системного часу;

– що за часом поширення цих сигналів від  $j$ -го НШСЗ до користувача можна з високою точністю ( $\sigma_R = 10\text{--}20 \text{ м}$ ) визначити дальність  $R_j$  між ними як добуток швидкості ПРХ  $299\,752\,458 \text{ м/с}$  на час поширення сигналу від НШСЗ до АК;

– що визначенням цієї дальності навколо  $j$ -го НШСЗ фіксується уявна сферична поверхня положення, інакше кажучи, поверхня однакових значень  $R_j$ ;

– що точка перетину трьох таких поверхонь положення, зафіксованих одночасним виміром дальностей до трьох НШСЗ, визначає з високою точністю місце розташування користувача у просторі, яке обчислює АК;

– що за доплерівським зсувом частот визначається швидкість руху користувача.

Для вимірювання часу ПРХ від  $j$ -го НШСЗ до користувача код сигналу, прийнятий від НШСЗ, зіставляється з кодом сигналу, який генерується в АК. Для цього код, що генерується в АК, рухається до моменту збігу з кодом сигналу. Часовий зсув коду визначається за часами АК, менш точними, ніж системні часи. Це призводить до похибки у вимірюванні, через яку фактично визначаються не дальності, а псевдодальності  $\bar{R}_j$ .

Оскільки похибка, що зумовлена зсувом шкали часу даної АК відносно системного часу, однакова за величиною у всіх псевдодальностях, визначених даним АК, то для оцінки трьох координат користувача і зсуву шкали часу його АК необхідно здійснювати виміри як мінімум по 4-м НШСЗ.

Оскільки в системі використовують ДМХ і беззапитний метод вимірювання дальностей, то їй притаманна всепогодність, потайність і необмежена пропускна спроможність.

**ГЛОНАСС.** 24 супутники, включаючи 3 резервних, виконують політ по 8 супутників на кожній із 3-х орбіт. Висота орбіт – 19 100 км, нахилення –  $64,8^\circ$ , період обертання навколо Землі – 11 год 15 хв.

Спосіб розділення сигналів, випромінюваних різними супутниками – частотний.

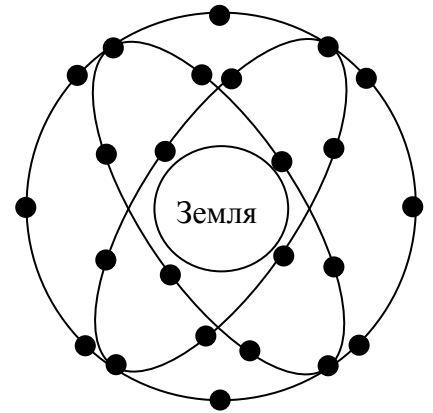


Рис. 9.2. Одномоментне розташування супутників ГЛОНАСС

Для виключення іоносферної похибки кожен супутник випромінює радіонавігаційний сигнал на двох частотах. Номінали частот визначають за правилом:

$$f_{ij} = f_{i0} + j\Delta f_i,$$

де  $j$  – номер супутника,  $j = 1, \dots, 24$ ;

$i$  – номер випромінюваної супутником частоти,  $i = 1, 2$ ;

$\Delta f_i$  – інтервал між літерними частотами.

Для ряду літерних частот, що починається з частоти

$$f_{10} = 1602 \text{ МГц}, \quad \Delta f_1 = 0,5625 \text{ МГц},$$

для ряду літерних частот, що починається з частоти

$$f_{20} = 1246 \text{ МГц}, \quad \Delta f_2 = 0,4375 \text{ МГц}.$$

Несуча частота піддається фазовій маніпуляції далекомірним псевдовипадковим кодом, тривалість якого становить 1 мс. Важливо, що несуча частота, далекомірний код і елементи службової інформації формуються від загального бортового еталона частоти.

Випромінювані сигнали мають кругову правобічну поляризацію. Потужність Прд  $\cong 300 \text{ Вт}$ , потужність сигналу в пункті приймання на неспрямовану антену становить  $-151 \dots -161 \text{ дБВт}$ .

Точність визначення координат користувача залежить від кількості використаних НШСЗ і геометрії їх розташування стосовно користувача. Під час роботи за мінімумом НШСЗ планові координати визначаються із середньою квадратичною похибкою  $\sigma_{\text{пл}} = 15\text{--}25 \text{ м}$ , висота з  $\sigma_{\text{н}} = 30 \text{ м}$ , швидкість з  $\sigma_{\text{в}} = 0,1 \text{ м/с}$ .

Донині гарантійний термін роботи КА складав 3–4 роки. Це вимагало доволі частого поповнення орбітального угруповання НШСЗ. Однак останніми роками через недостатнє фінансування Росія цього не робила. Тому в 2000 році на орбітах залишалось усього 7 навігаційних супутників. Для розвитку наземної інфраструктури і відновлення орбітального угруповання Росія виділила у 2001 році \$1 млрд, завдяки чому у 2001 році кількість супутників на орбітах зросла до 9, у 2002 році – до 13, у 2005 році – до 15, у 2008 році – їх кількість доведена до 21, у 2011 році – до 30. Гарантійний термін роботи нових супутників збільшується до 7–10 років, точність місцевизначення – до одиниць метрів. Крім того, у Санкт-Петербурзі розпочалось серійне виготовлення АК на лінії з виробничою потужністю 20 000 примірників на рік.

**GPS, чи Навстар** розрахована на 24 супутники, з яких 3 – резервних, але вони виконують польоти на 6 орбітах по 4 супутники на кожній. Висота

орбіт 20 183 км, нахилення 55°, період обертання навколо Землі 11 год 55 хв 56,6 с.

Кожен супутник випромінює два коди: код *C/A*, що легко виявляється і призначений для цивільних користувачів; захищений код *P* – для військових користувачів США і НАТО. Обидва коди передаються на загальній частоті  $f = 1575,42$  МГц, але двома несучими, зсунутими на 90° для зручності їх розділення. У разі використання *P*-коду точність приблизно на порядок вища, і він може бути використаний для наведення високоточної зброї (ВТЗ). Щоб цим не міг скористатися противник, введено режим вибірного доступу *SA*, у разі включення якого точність погіршується до 100–150 м.

Для виключення іоносферної похибки передбачена друга несуча  $f_2 = 1227,6$  МГц, але модулюється вона тільки точним вимірювальним кодом *P*. Для виходу на цей код у службовій інформації коду *C/A* передається спеціальний ключ, знання якого дає змогу увійти в спостереження за кодом *P* і виконати точніші виміри.

Коди *P* і *C/A* формуються з використанням фазової маніпуляції несучих відповідно на 0 і 180° та +90° і –90° псевдовипадковим кодом тривалістю 1 мс і 0,1 мс.

Спосіб розділення сигналів різних супутників в АК кодовий. Для забезпечення надійного розділення використовуються ортогональні коди.

Точність вимірювання планових координат у режимі *C/A*  $\sigma_{\text{пл}} = 15\text{--}25$  м, висоти  $\sigma_{\text{н}} = 30$  м, швидкості  $\sigma_{\text{в}} = 0,1$  м/с, у режимі *P* точність збільшується приблизно на порядок.

**EGNOS** – це проект Європейської глобальної навігаційної орбітальної системи для цивільних користувачів. У ній, як і в американській системі WAAS та японській системі MSAS, реалізується ідея спільного оброблення даних від супутників GPS, що перебувають на середньовисотних кругових орбітах, і даних від навігаційно-зв'язкового супутника, який буде запущено на геостационарну орбіту. На борту цього супутника, крім навігаційної апаратури, передбачено встановити ретранслятор для пересилання даних на АК від власних земних контрольно-коректувальних станцій (ККС). Крім того, використовуватиметься власна система станцій траєкторного контролю супутників. Очікувана точність місцевизначення користувачів – кілька метрів. Було заплановано ввести систему в експлуатацію у 2004 році.

**“Галілео”** – це проект незалежної цивільної комерційної супутникової радіонавігаційної системи. Необхідність цієї системи обґрунтована тим, що GPS і ГЛОНАСС перебувають під контролем військових, а військові можуть припинити пересилання навігаційного сигналу або навмисно внести в нього велику похибку. Для зменшення залежності від військових Росії і США Європейська спільнота планує вивести на орбіту заввишки 24 тис. км 30 власних навігаційних супутників. У наземний сегмент увійде 30 станцій управління, які забезпечать також контроль за якістю навігаційних сигналів.

“Галілео” дасть можливість користувачам за допомогою малогабаритної і порівняно дешевої апаратури визначати своє місцезнаходження на планеті з точністю 4 м, тоді як у GPS вона становить 25 м. У системі передбачаються три режими роботи: відкритого доступу (з такою самою точністю, як у GPS); платного доступу; платного доступу для особливо важливих застосувань, як наприклад, в системі управління повітряним рухом. Загальна вартість системи €40 млрд. Система мала б надійти в експлуатацію у 2010 році. Україна теж приєдналась до цього проекту.

### **9.5. Диференціальний режим і його вплив на точність визначення місцеположення**

**Сутність диференціального методу.** Незважаючи на високу точність МС РНС, для цілого ряду застосувань (проводка кораблів вузьким фарватером, автоматична посадка літаків, попередження зіткнень, топографічна прив'язка бойових позицій, зустрічна орієнтація антен з гостроспрямованими діаграмами, застосування ВТЗ) вона недостатня. Є ціла низка користувачів, яким в режимах *C/A* і *SA* необхідна точність кілька метрів.

Дослідження показали, що основними складовими похибок є ефемеридна, атмосферна та похибки, що зумовлені зсувом шкали часу супутника і увімкненням режиму *SA*. Дві перші залежать від геометрії взаємного положення користувача і супутників, дві останні – ні. Отже, між похибками в двох точках робочої зони є доволі сильна кореляція. Це дає підстави для визначення величини похибки у наземному пункті з відомими координатами і застосування її для виправлення вимірювань у пункті розташування користувача.

**Структура і принцип роботи диференціальної підсистеми.** У реалізації диференціального режиму (ДР) бере участь наземна (рис. 9.3) і бортова (рис. 9.4) апаратура.

На поверхні Землі у пункті з координатами, відомими з високою точністю (5–10 см), розташована ККС. До її складу входять точна АК, формувач коректувальної інформації (КІ) і Прд КІ. АК забезпечує високу точність за рахунок накопичення у статичному режимі великої кількості даних вимірювань і їх статистичного оброблення для визначення власного місцеположення. Формувач КІ порівнює результати оброблення з істинними координатами ККС (чи з розрахованими по ним дальностями до супутників) і виробляє КІ. Передавач передає її всім користувачам, що перебувають у робочій зоні.

На борту об'єкта, крім стандартної АК, є Прм КІ, дешифратор КІ і коректор координат чи псевдодальностей, вимірюваних стандартною АК.

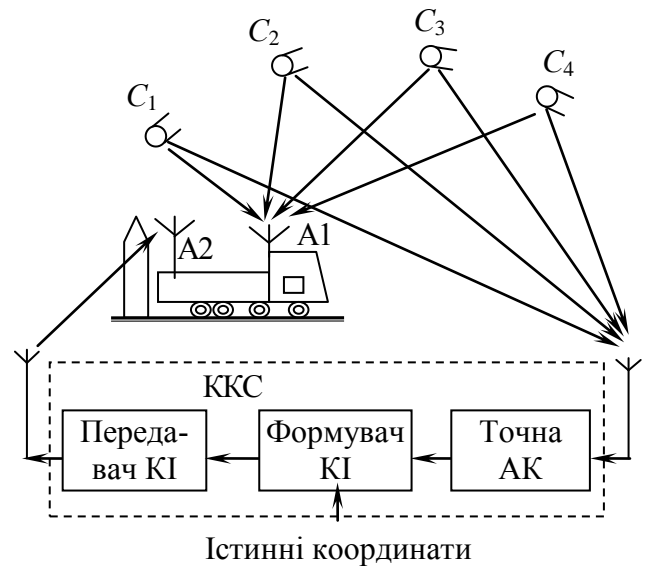
Виникає питання, що краще коригувати: координати чи вимірювані псевдодальності? Поправки в координати вводити простіше, але такий спосіб був

би пов'язаний з істотними обмеженнями на вибір оптимального сузір'я супутників, які при великих відстанях між ККС і АК можуть виявитись для них різними. Вводити в координати АК, що визначені по одному сузір'ю, поправки, які визначені ККС по іншому сузір'ю, не припустимо, тому що це може погіршити точність. Отже, краще в ККС визначати поправки до псевдодальностей по сигналах усіх НШСЗ, що перебувають над радіобриєм, і дати можливість кожній АК самій вибирати із цього сузір'я оптимальне робоче сузір'я або перейти в зону обслуговування іншої ККС. Структурна схема реалізації цього способу показана на *рис. 9.4*.

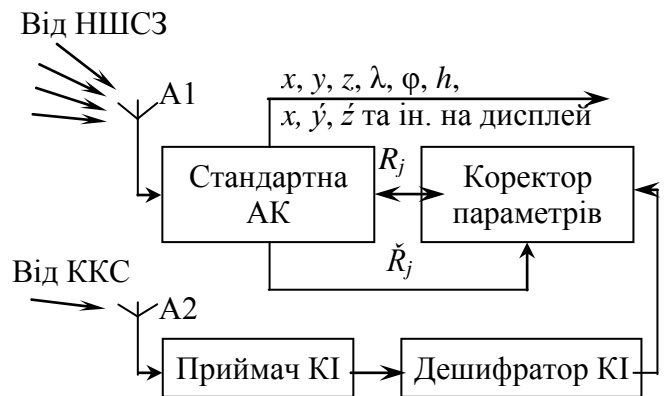
Кожен користувач хотів би мати гарантії, що введення поправок підвищить точність. Для цього в полі Прд ККС слід розташувати контрольний приймальний пункт (псевдосупутник) з відомими координатами. Якщо на цьому пункті зробити вимірювання по НШСЗ з урахуванням КІ, а потім ці результати порівняти з апріорно відомими координатами цього пункту, то можна визначити якість КІ і не-відкладно повідомити про неї користувачів через ККС.

Коректувальну інформацію доцільно передавати: сухопутним користувачам – поверхневою хвилею середньохвильового каналу, морським користувачам – каналом супутникового зв'язку, повітряним користувачам – УКХ каналом в межах прямого бачення. Достатньо робити це один раз на декілька хвилин, а для компенсації похибок, зумовлених режимом SA, – один раз у 10 с.

Застосування ДР забезпечує підвищення точності на відстанях до 300–500 км від ККС. У деяких районах відстань між ККС становить 25–50 км. Це дає змогу додатково підвищити точність корекції або істотно розширити зону підвищеної точності місцевизначення за рахунок спільного оброблення надмірної КІ. Виграш у точності (порівняно з використанням однієї ККС) стає



*Рис. 9.3.* Диференціальна підсистема МС РНС



*Рис. 9.4.* Структурна схема АК для роботи в диференціальному режимі

помітним на відстанях, що перевищують 200 км від найближчої ККС, і зростає до відстаней 1000 км, де починається деградація КІ.

## 9.6. Апаратура користувача і її військові застосування

Апаратура військового користувача має відповідати таким вимогам:

- приймання і оброблення сигналів НШСЗ з високою точністю;
- вживання додаткових заходів завадозахищеності, наприклад, за рахунок просторової селекції за допомогою адаптивних ФАР, інтегрування з інерціальними навігаційними та іншими системами рухомого об'єкта;
- малий час до моменту отримання перших результатів вимірювань;
- висока надійність, малі маса і габарити, низька вартість.

За складністю схемотехніки і обсягом апаратурних затрат розрізняють одноканальну, мультиплексну і багатоканальну АК.

Останнім часом виробляють переважно *багатоканальну* АК (АСН), у якій одночасно приймаються і обробляються сигнали від усіх НШСЗ робочого сузір'я. Завдяки багатоканальності прискорюється пошук, синхронізація, оброблення, підвищується завадостійкість. Багатоканальна АСН, перш за все, почала застосовуватись на таких високодинамічних об'єктах, як стратегічні бомбардувальники, космічні кораблі, деякі види ракет, а також на підводних човнах, яким під час визначення місцеположення треба якомога менше перебувати у надводному положенні. Зараз область її застосування істотно розширилася.

Тенденціями подальшого розвитку АК (АСН) є широка реалізація диференціального режиму, інтегрування з інерціальною навігаційною системою (ІНС), спільне використання сигналів НШСЗ ГЛОНАСС, GPS та інших систем. Приклади сучасних приладів для вимірювання місцеположення наведені у [25; 40].

Інтегрування АК супутникової РНС з ІНС підвищує надійність визначення координат (що дуже важливо для користувачів, які працюють в умовах підвищеного ризику, наприклад, під час заходу літака на посадку, під час проведення корабля вузьким фарватером, у разі висування підрозділу на бойову позицію в умовах поганої видимості тощо), забезпечує працездатність комплексу у разі тимчасової втраті радіовидимості супутників (внаслідок наявності перешкоди у вигляді високих будівель, складок місцевості, енергійного маневру тощо). Крім того, спрощується визначення орієнтації об'єкта у просторі, прискорюється пошук і захват навігаційних сигналів під час введення в АСН координат і швидкостей з ІНС, підвищується завадостійкість і точність вимірювання. А застосування мікромеханічних акселерометрів і гіроскопів дає змогу зробити ІНС меншими і дешевшими.

Найбільший ефект набуває інтегрування АСН з ІНС і системою зв'язку, а для літаків і вертольотів – ще й з радіовисотоміром. Радіовисотомір забезпечує підвищення точності визначення цього параметра, недостатньої для забезпечення заходу на посадку у разі автономного застосування АСН. Систе-

ма зв'язку забезпечує передавання координат користувача на командний (диспетчерський) пункт, дає змогу істотно підвищити точність і достовірність шляхом приймання від ККС й урахування КІ та даних про якість навігаційної інформації.

Аналіз характеристик АСН виготовлення 90-х років ХХ ст. свідчать про суттєвий прогрес у цій області. Для них характерні: багатоканальність, можливість роботи в двох системах, можливість роботи в диференціальному режимі, за рахунок якого у 5–7 разів зростає точність місцевизначення, підвищення часу напрацювання на відмову, зменшення маси і вартості. Україна володіє двома типами приладів, що можуть з високою точністю визначити місцеположення за даними найбільшої кількості каналів ГЛОНАСС і GPS. Коштують вони порівняно недорого, але на їх індикатор виводиться менше інформації, ніж в деяких інших приладах.

Слід звернути увагу на побутову англійську АК GPS III Garmin та інші АК цієї фірми. Вони найдешевші і мають доволі високі технічні характеристики.

Окремо відзначимо найкращі досягнення багатоканальної АСН, які отримані від застосування ДР і коду *P*. При чутливості  $P_{\text{прм}} = -166 \text{ дБВт}$ , відношенні сигнал / шум  $30 \text{ дБГц}$ , швидкості руху об'єкта  $1100 \text{ м/с}$  і більше, перевантаженнях до  $10g$  були досягнуті середньоквадратичні похибки (СКП) вимірювання дальності  $1,5 \text{ м}$ , швидкості  $1,5 \text{ см/с}$ , визначення планових координат  $10 \text{ м}$ . Слід також відзначити, що при спільному використанні даних ГЛОНАСС і GPS у 2 рази може бути збільшена зона обслуговування з геометричним фактором 3,2. (Геометричний фактор – це відношення СКП місцевизначення до СКП вимірювання дальності).

**Військові застосування АСН.** *Мережні супутникові радіонавігаційні системи* – це перші універсальні системи, що забезпечують високоточне визначення місця розташування рухомих і нерухомих об'єктів у глобальному масштабі. Вони можуть визначати координати, швидкість і багато інших похідних сервісних параметрів руху морських кораблів, літаків, космічних апаратів, різних наземних транспортних засобів, на основі чого можна забезпечувати водіння різних об'єктів, керування повітряним рухом і судноплавством, безпеку руху, попередження зіткнень, керування в містах машинами швидкої допомоги, надавати цілевказання під час проведення рятувальних операцій, прив'язки гідрометеобуїв, виконання рибпромислових робіт тощо. На жаль, АСН використовують і правопорушники, наприклад, браконьєри для точного виходу навіть вночі на установлені в морі риболовні снасті.

У ДР із застосуванням фазових методів вимірювання супутникові радіонавігаційні системи можуть використовуватися для високоточної геодезичної зйомки, створення геодезичних мереж, зняття профілів місцевості, дослідження геодинамічних явищ (деформації земної кори, вулканічних змін, тектонічних рухів материкових плит для прогнозування землетрусів, вибору місця для будівництва ядерних електростанцій) тощо.

З урахуванням високої стабільності використовуваних в системі атомних і кварцових стандартів частоти, вони застосовуються для високоточної (до 0,1 мкс, а в перспективі – до 1 нс) часової прив'язки різних явищ і процесів, а також для синхронізації роботи пристроїв багатоканальних зв'язкових систем. Це дає змогу збільшити кількість користувачів, тобто збільшити ефективність використання систем зв'язку.

Під час роботи багатоканальних АК на кілька рознесених антен можна визначати просторову орієнтацію несучих платформ з СКП 3–10 кут. мин.

Із суцільно військових застосувань можна назвати такі:

- навігація і посадка бойових літаків;
- навігація морських кораблів і підводних човнів;
- визначення місцеположення штабів, бойових частин і підрозділів для забезпечення керування ними;
- високоточна топографічна прив'язка бойових позицій артилерії, ракет, танків, підводних човнів, місця розташування радіорелейних і тропосферних станцій, ЗС супутникового зв'язку;
- контроль за траєкторією об'єктів озброєння під час проведення їх випробувань;
- визначення часу спрацьовування і координат фотоцентра під час виконання аерофотозйомки для повітряної розвідки і картографування;
- агентурна топографічна прив'язка об'єктів противника для подальшого застосування щодо них ВТЗ;
- програмне керування ВТЗ в процесі її застосування тощо.

Важливого значення набули супутникові системи навігації, зв'язку, розвідки, прогнозування погоди у ході проведення операцій США і НАТО в Югославії, Афганістані, Іраку, під час проведення яких GPS надала повне навігаційно-часове забезпечення відповідних військових угруповань. GPS широко застосовувалась для навігації літаків, крилатих ракет та інших об'єктів озброєння, що потребують високоточного визначення місцеположення щодо земної поверхні. Для підвищення точності GPS у ці періоди частіше виконувалось коригування бортової апаратури супутників від КВК.

Апаратура супутникової навігації давала змогу з високою точністю визначати місцеположення об'єктів космічної розвідки і застосовувати ВТЗ по стаціонарних об'єктах. Для застосування ВТЗ по рухомих об'єктах будуть створені необхідні умови після інтегрування бортових засобів космічної розвідки і зв'язку.

Апаратура супутникової навігації застосовується і в системах польової розвідки і вогневого ураження, інтегрування в яких із засобами зв'язку і обчислювальної техніки дає змогу створити структуру “розвідка – управління – ураження”, а згодом оперативно формувати канали “розвідка – ураження”.



Натовського солдата передбачено згодом оснастити системою супутникової навігації і зв'язку, щоб він міг у реальному масштабі часу передавати в штаб розвідувальну інформацію і коригувати вогонь польової артилерії.

Існування АСН, інтегрованої з лазерною ІНС (ЛІНС), забезпечує автоматичне визначення місцеположення гаубиці під час її руху. Завдяки цьому, що дуже важливо, зменшується час на підготовку до першого пострілу.

Ще у 1980 році в США були проведені перші випробування керованого гарматного снаряда з механізмом корекції його траєкторії по GPS і ІНС. В Англії прийняття аналогічних снарядів на озброєння було заплановано на 2005 рік. Дальність польоту цих снарядів 28–80 км, ймовірне відхилення від цілі 10–20 м. Через наявність таких видів зброї зростає важливість агентурного визначення за допомогою АСН місцеположення цілей на території інших країн, що мало місце в Югославії і чого у свій час побоювався Ірак.

У провідних країнах світу не відстають від артилерії й інші роди військ і види збройних сил. Так відомо, що:

- інтегрована апаратура, до складу якої входять ІНС, АСН AN/PSN-11, зв'язкова радіостанція Sincgars і апаратура завантаження криптографічних ключів, використовується на модернізованих американських танках М1 “Абрамс” і бойових машинах піхоти М2 “Бредлі”;

- усі сучасні ЗС супутникового зв'язку США обладнуються АСН, датчиками обрїю і напрямку на північ. Їх комплексне застосування забезпечує швидке розгортання, топоприв'язку, точне орієнтування і синхронізацію;

- інтегрована апаратура ЛІНС/GPS, яку розробили США і ФРН, встановлена під час модернізації на тактичному винищувачі ВПС ФРН “Торнадо”. Ця апаратура повністю відповідає сучасним вимогам, усуває залежність літака від наземних компонентів традиційних навігаційних систем, дає змогу виконувати бойові завдання із застосуванням ВТЗ на будь-якому ТВД. Аналогічна апаратура застосовується і на літаках США, Росії, Франції та інших провідних країн світу. Україна почала запроваджувати АСН на нових комплексах зв'язку і для модернізації авіації. Як відомо, програма модернізації штурмовика Су-25 передбачала його обладнання АСН, що забезпечує можливість бомбардування у будь-який час доби і підвищить його точність у 1,4–1,7 разів [25]. Запровадження аналогічної апаратури дасть змогу підняти на якісно вищий рівень застосування й інших зразків української військової техніки, зокрема командних і командно-штабних машин, комплексних апаратних зв'язку і мереж доступу, базових станцій радіо доступу тощо;

- за даними фахівців МО США, обладнання Прм GPS головної частини стратегічних балістичних ракет зробить можливим попадання у ціль з круговою ймовірною похибкою 10 м [63].

На закінчення відзначимо таке:

1. Створення ССЗ потребує значних стартових витрат, але згодом це се-

бе виправдовує, оскільки супутниковий зв'язок, на відміну від інших родів УКХ зв'язку, скрізь доступний.

2. Тенденціями розвитку ССЗ є підвищення надійності, робочих частот, пропускної спроможності, обсягу пересилання даних і послуг Internet, тривалості життя супутників (до 14–15 років); комбінація різного виду орбіт; інтегрування з навігацією і стільниковим зв'язком; зменшення абонентської плати за рахунок використання мінісупутників з обмеженим набором послуг і застосування безгермоконтейнерної конструкції; спрощення конструкції і зменшення вартості ЗС за рахунок ускладнення і подорожчання СР.

3. Як за кордоном, так і в Україні помітною стає тенденція використання військовими орендованих каналів комерційних ССЗ. Але для цього потрібні ЗС, здатні працювати в  $C$  і (або)  $Ku$  діапазоні, та надійний криптозахист інформації.

4. Через банкрутство компаній-операторів деяких низькоорбітальних ССЗ у поточному десятилітті у 1,5 рази збільшиться кількість супутників, виведених на геостаціонарну орбіту.

5. В Україні роботи з оновлення власної ССЗ ведуться недостатньо інтенсивно через брак фінансування. Необхідно докласти ще чимало зусиль для виведення української ССЗ на сучасний рівень.

6. Майбутнє у застосуванні ССЗ у військовій сфері належить інтегрованим системам, в яких поєднані можливості ІНС, мережних супутникових РНС з диференціальною підсистемою, системи зв'язку, а у разі спеціального застосування – ще й радіовисотоміра і розвідувальної системи.

Детальніше дивись у [10; 25; 40; 47; 74; 75].

## Розділ II

# СУЧАСНІ ТА ПЕРСПЕКТИВНІ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ І КОМПЛЕКСИ

## 10. Базова модель взаємодії відкритих телекомунікаційних систем

Розглядаються чотири питання, а саме: сутність поняття відкритих телекомунікаційних систем (ТКС), базова модель взаємодії відкритих ТКС, характеристика рівнів моделі, управління на перспективних ТКМ [5; 23; 26; 41; 44].

### 10.1. Сутність поняття відкритих телекомунікаційних систем

Головним напрямом розвитку Єдиної системи зв'язку та автоматизації управління військами є створення Єдиної інформаційно-телекомунікаційної системи Збройних Сил України на основі об'єднання різних за сутністю мереж і служб електрозв'язку, інформаційних і телекомунікаційних технологій. Створення Єдиної інформаційно-телекомунікаційної системи як єдиної мультипротокової системи на базі єдиних принципів побудови, передавання і комутації повідомлень надасть користувачам Єдиної автоматизованої системи управління Збройних Сил України можливість отримання усього набору послуг зв'язку та інформатизації. Це завдання можна задовольнити, якщо будувати ІТМ за стандартами відкритих ТКС.

Мережа зв'язку складається з досить складного обладнання, виробленого різними виробниками, через що перед нею особливо гостро стоїть проблема сумісності. Згодом розробники і виробники обладнання для мереж зв'язку зрозуміли, що цінність виробів підвищується через можливість легкої взаємодії з обладнанням інших фірм, тому що їх можна використовувати з більшою кількістю працюючих мереж. Сумісність забезпечується тільки за умови реалізації однакових стандартів усіма виробниками. Ця проблема була розв'язана шляхом декомпозиції складного завдання взаємодії між різним обладнанням мережі на декілька простих, що дало можливість міжнародним організаціям із стандартизації (ISO, ITU-T та ін.) створити 7-рівневу модель взаємодії відкритих систем (рис. 10.1). (Першою була 4-рівнева система, яка

вперше була застосована в ARPANET і до цього часу використовується в Internet).

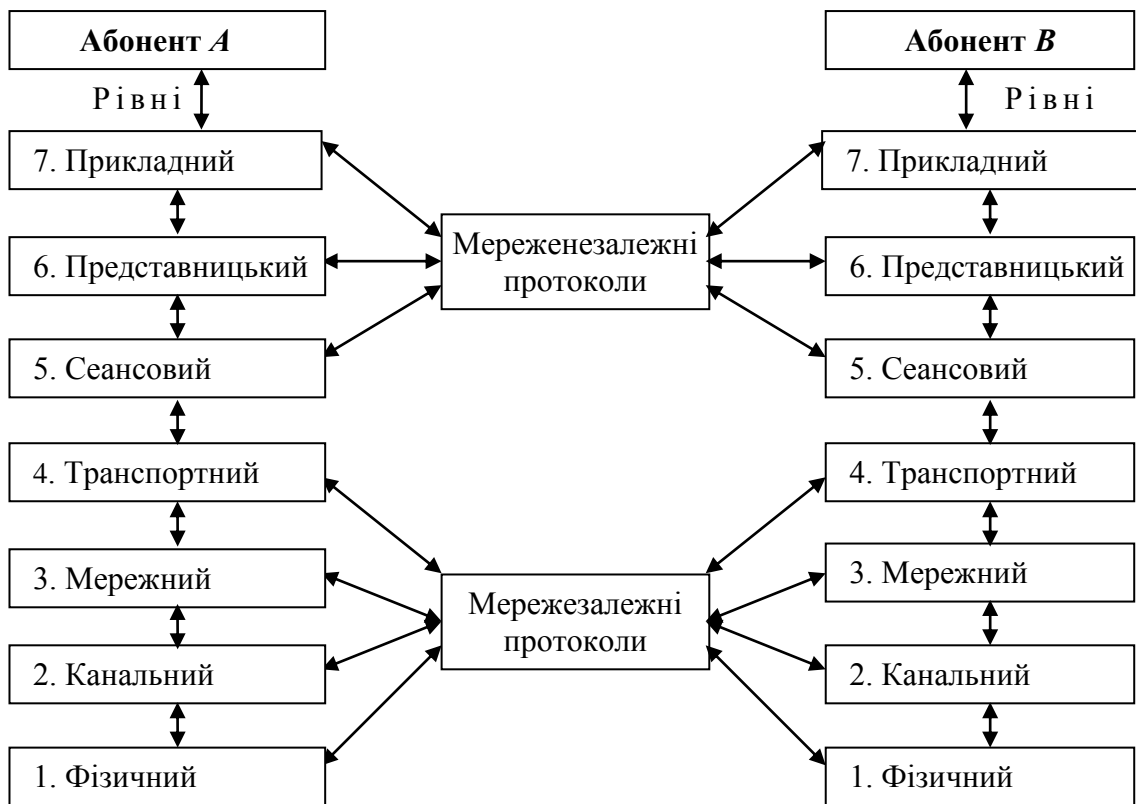


Рис. 10.1. Рівні взаємодії моделі OSI/ISO

*Відкрита система* – це система, яка побудована за відкритими стандартами (специфікаціями, протоколами). Використання систем відкритих стандартів, специфікацій, протоколів під час розроблення дає змогу різним фірмам розробляти для цих систем апаратні та програмні засоби і створювати апаратно-програмні комплекси з продукції різних виробників.

## 10.2. Базова модель взаємодії відкритих телекомунікаційних систем

Базова модель взаємодії відкритих ТКС торкається лише одного аспекту відкритості, а саме, взаємодії пристроїв, об'єднаних до мережі, з використанням відкритих (нетаємних) стандартних правил, що визначають послідовність і структуру (формат) повідомлень, які відправляються та приймаються.

Організація взаємодії між пристроями в мережі є складним завданням, для вирішення якого використовують універсальний прийом – *декомпозицію*, тобто розділення одного складного завдання на кілька простих – *модулів*. У процесі декомпозиції часто використовують багаторівневий підхід (див. рис. 10.1). Рівні утворюють ієрархію, тобто є вище та нижче розташовані рів-

ні. Модулі рівнів формуються таким чином, що для виконання своїх завдань вони звертаються за допомогою до модулів нижчих рівнів.

Обладнання, що розташоване у вузлах мережі, теж може бути представлене у вигляді багаторівневої моделі у кожному вузлі. Процедура взаємодії пари вузлів може бути описана у вигляді набору правил взаємодії кожної пари однакових рівнів обладнання цих вузлів.

При наведеному способі декомпозиції варто чітко визначити функції кожного рівня та інтерфейсу між рівнями.

Сукупність правил, що визначають послідовність і формат повідомлень, якими обмінюються компоненти мережі, що лежать на одному рівні, але в різних вузлах, називається *протоколом* [32].

Модулі, що реалізують протоколи сусідніх рівнів одного вузла, теж взаємодіють відповідно до чітко визначених правил і за допомогою стандартизованих форматів повідомлень, які називають *інтерфейсом*. Інтерфейс визначає сукупність послуг, які один рівень надає сусідньому рівню.

По суті інтерфейс і протокол – це одне і те саме, але за традицією вони мають різні області дії: протоколи визначають правила взаємодії модулів одного рівня в різних вузлах, а інтерфейси – правила взаємодії модулів сусідніх рівнів в одному вузлі.

Засоби кожного рівня мають відпрацьовувати власний протокол і інтерфейси з сусідніми рівнями. Ієрархічно організовану сукупність протоколів, достатню для організації взаємодії вузлів мережі, називають *стеком телекомунікаційних протоколів*. Протоколи можуть бути реалізовані як програмно, так і апаратно. Чим вищий рівень, тим більша частка програмних засобів у його протоколі. Протоколи різних рівнів незалежні, тобто протокол будь-якого рівня може бути змінений незалежно від протоколів інших рівнів. Програмний модуль, що реалізує будь-який протокол, часто теж називають “протоколом”. Протоколи реалізуються не тільки комп’ютерами, а й іншими мережними пристроями: концентраторами, мостами, комутаторами, маршрутизаторами тощо.

Декомпозиція завдань, застосування багаторівневої моделі і відкритих стандартів мають такі переваги:

- можливість побудови мережі із засобів різних виробників;
- можливість заміни складових мережі новими, сучаснішими, що здешевлює розвиток мережі;
- можливість спряження різнорідних за технологіями мереж;
- простота освоєння та обслуговування мереж.

У моделі взаємодії відкритих систем OSI (Open Sistem Interconnection) засоби взаємодії поділяють на 7 рівнів: 1) фізичний, 2) каналний, 3) мережний, 4) транспортний, 5) сеансовий, 6) представницький, 7) прикладний. Кожен рівень має справу з одним аспектом взаємодії мережних пристроїв. Верх-

ній рівень ставить завдання сусідньому нижньому рівню, а він виконує його і доповідає сусідньому верхньому рівню про виконання завдання.

### 10.3. Характеристика рівнів моделі

**Фізичний рівень** має справу з пересиланням бітів фізичними каналами, тому в його протоколах визначається, якими мають бути: фізичне середовище передачі даних (вита пара, коаксіальний кабель, ВОК, повітряний простір, космічний простір тощо), його характеристики (довжина, діаметр перерізу кабелю, характеристичний опір, ширина смуги пропускання, завадозахищеність тощо), характеристики електричних сигналів (тривалість фронту імпульсу, амплітуди струму і напруги, швидкість пересилання інформації, тип кодування тощо), типи роз'ємів, призначення кожного контакту. Функції фізичного рівня з боку комп'ютера виконує *мережний адаптер* або *порт*.

**Канальний рівень** забезпечує доставку кадру чи пакета між будь-якими вузлами локальної чи глобальної мережі, тому в його протоколах визначаються: механізм перевірки доступності середовища; механізм виявлення і корекції помилок (формування кадру, визначення і розташування контрольної суми), хоча функція виправлення помилок для цього рівня не обов'язкова; адресування пакетів і кадрів для доставки їх сусідньому вузлу, або в межах локальної мережі з простою топологією (шина, зірка, кільце) і однотипною технологією, або у багатосегментних мережах з ієрархічною топологією, розділених тільки мостами і комутаторами. У складніших мережах потрібна допомога протоколів мережного і навіть транспортного рівня.

**Мережний рівень** забезпечує створення єдиної транспортної мережі, що об'єднує декілька мереж нижчого рівня (підмереж), які можуть мати довільну топологію і технологію пересилання повідомлень. Під *підмережею* розуміють сукупність вузлів, що з'єднані за однією з типових топологій і реалізують одну із стандартних технологій канального рівня. Доставкою даних між підмережами займається мережний рівень. Для цього підмережі з'єднуються між собою маршрутизаторами, які збирають відомості про поточну топологію і стан міжмережних з'єднань і на цій підставі пересилають пакети мережного рівня у підмережу призначення за найкращим (за визначеним критерієм) маршрутом.

Мережний рівень розв'язує завдання узгодження різних технологій, спрощення адресації у великих мережах, створення гнучких і надійних бар'єрів на шляху небажаного трафіка між підмережами.

На мережному рівні визначаються і працюють три види протоколів:

–протокол обміну маршрутною інформацією, тобто протокол маршрутизації;

- протокол, що відповідає за трансформацію адреси вузла, використаної на мережному рівні, в локальну адресу під мережі;
- протокол, згідно з яким забезпечується просування пакету мережею.

**Транспортний рівень** забезпечує пересилання повідомлень вищим рівням з необхідним їм ступенем надійності. Базова модель OSI визначає 5 рівнів сервісу, надаваних транспортним рівнем, які відрізняються якістю послуг, а саме: терміновістю; можливістю відновлення перерваного зв'язку; наявністю засобів мультиплексування з'єднань між різними прикладними протоколами через загальний транспортний протокол; а головне, здатністю до виявлення і виправлення таких помилок пересилання, як спотворення, втрата і дублювання пакетів. Вибір класу сервісу залежить від того, якою мірою ці завдання розв'язуються вищими і нижчими рівнями.

Як правило, усі протоколи, починаючи з транспортного рівня і вище, реалізуються програмними засобами кінцевих вузлів мережі.

Протоколи 1–4 рівнів створюють транспортну підсистему, яка використовується вищими рівнями для надання користувачам на цій основі прикладних сервісів.

**Сеансовий рівень** забезпечує управління взаємодією, тобто: фіксує, яка сторона зараз є активною; надає засоби синхронізації; встановлює контрольні точки, які дають можливість, у разі відмови, починати відновлення від останньої контрольної точки, а не з самого початку. На практиці функції цього рівня часто поєднують в одному протоколі з функціями прикладного рівня.

**Представницький рівень** має справу з формою переданої мережею інформації (шифруванням, дешифруванням) без змінювання її змісту. Завдяки роботі цього рівня, інформація, що передається прикладним рівнем однієї системи, завжди зрозуміла прикладному рівню взаємодіючої системи. Тим самим забезпечується скритність, долаються синтаксичні розбіжності в кодах символів, наприклад, кодів ASCII і EBCDIC.

**Прикладний рівень** обслуговує сукупність протоколів, що забезпечують користувачам доступ до розподілених ресурсів (файлів, принтерів тощо), а також організують свою спільну роботу, наприклад, за протоколом електронної пошти. Одиницю даних, якою оперує цей рівень, зазвичай, називають *повідомленням*. (У [41] відзначається, що три верхніх рівні недостатньо заповнені протоколами, їх слід об'єднати в один, а натомість розділити перший рівень на два підрівні. Але згідно зі стандартом дотримуватимемося 7-рівневої моделі).

**Взаємодія рівнів** шляхом вкладеності повідомлень показана на *рис. 10.2* на прикладі трьох нижніх рівнів. З рисунка видно, що на передавальній стороні з пониженням рівня дані обростають новими заголовками та кінцевиками і за рахунок цього поле даних збільшується. На приймальній стороні навпаки, з підвищенням рівня спостерігається зворотний процес: за конт-

рольними сумами, що розташовані в кінцевиках, перевіряється правильність передавання.



Рис. 10.2. Формування повідомлення у разі пониження рівня

За службовою інформацією, розміщеною в заголовках, на відповідних рівнях виконуються конкретні дії. Відповідний заголовок і кінцевик знімаються, а решта кадру передається для подальшої обробки на вищий рівень.

## 10.4. Управління на перспективних телекомунікаційних мережах

**Коротка характеристика системи управління.** Розподілений характер великих ТКМ унеможливує підтримання її в робочому стані без централізованої системи управління, що в автоматичному режимі збирає інформацію про стан кожного елемента мережі і надає її оператору мережі.

Зазвичай система управління працює в автоматизованому режимі: прості дії з управління виконуються автоматично, а складні рішення приймає людина на основі інформації, підготовленої системою.

Система управління має бути інтегрованою, тобто функції управління різними пристроями і системами мережі повинні служити загальній меті обслуговування абонента з заданою якістю.

Існують рекомендації ІТУ-Т X.700 і близький до них стандарт ISO 7498-4, що поділяють завдання управління на 5 функціональних груп: управління конфігурацією мережі й іменуванням (адресацією); обробка помилок; аналіз продуктивності і надійності; управління безпекою; облік роботи мережі.

Модель управління OSI не розрізняє керовані об'єкти: канали, підмережі, мости, комутатори, маршрутизатори, модеми, мультиплексори, апаратне і програмне забезпечення комп'ютерів, систему управління базами даних тощо. Ці об'єкти управління складають загальне поняття "система", і керуюча система взаємодіє з керованою системою за відкритими протоколами OSI. Однак на практиці розподіл систем управління за типами керованих об'єктів ще дуже поширений, але вже помітна тенденція до інтеграції систем управління мережами і систем управління системами.



**Комутація і маршрутизація.** Під час з'єднання абонентів через низку транзитних вузлів мають бути вирішені такі управлінські завдання:

- позначення інформаційних потоків і визначення маршрутів для них;
- повідомлення про знайдені маршрути вузлам мережі;
- просування даних у кожному вузлі – тобто розпізнавання потоків на входах, демультимплексування і переключення їх на відповідні виходи, мультимплексування потоків на виходах.

*Інформаційним потоком* називають безупинну послідовність байтів (пакетів, кадрів), об'єднаних набором загальних ознак, що виділяють його із загального мережного трафіка. Як ознаки можуть виступати адреси одержувача і/чи відправника, мітки потоку й інші параметри, що впливають на вибір маршруту.

Під час прокладання маршруту можуть враховуватися різні фактори: пропускна спроможність; завантаженість каналів зв'язку; затримання, внесені каналами; кількість транзитних вузлів; надійність каналів транзитних вузлів тощо.

Маршрути може визначати “вручну” адміністратор мережі, але у великих мережах частіше це робиться автоматично. Для цього вузли й інші пристрої мережі оснащують спеціальними програмними засобами, що дозволяють кожному вузлу скласти своє уявлення щодо топології і стану мережі.

Записи про маршрути заносяться до таблиць комутації (маршрутизації) пристроїв мережі. У кожному запису ознаці (ознакам) потоку (наприклад, мітці чи номеру вхідного інтерфейсу адреси призначення) ставиться у відповідність номер вихідного інтерфейсу, на який має бути переданий потік з такою ознакою.

У мережах для з'єднання абонентів використовується три методи комутації: каналів, повідомлень і пакетів. Перший метод ефективний під час пересилання рівномірного голосового трафіка; другий – коли не очікують негайної реакції, наприклад, під час пересилання файлів; третій – під час пересилання пульсуючого трафіка (комп'ютерних даних), його використовують для інтеграції в одній мережі усіх видів зв'язку при коротких пакетах у сполученні з пріоритезацією.

Мережі з комутацією пакетів можуть працювати в *дейтаграмному* режимі (коли всі пакети обробляються незалежно один від одного і можуть рухатися до пункту призначення різними шляхами, де вони за номерами знову збираються у повідомлення) чи в режимі *віртуальних каналів*. Цей режим враховує існування в мережі інформаційних потоків. Техніка віртуальних каналів полягає в розділенні операцій маршрутизації і комутації пакетів. Віртуальний канал з визначеним номером прокладає перший пакет, що містить детальну адресу викликуваного абонента. Інші пакети рухаються за прокладеним віртуальним каналом на підставі його номера, що є локальною адресою. Це заощаджує час і обсяг адресної частини пакетів, але призводить до

неможливості розпаралелювання потоку даних і неефективності під час пересилання даних коротких потоків (повідомлень).

Для фізичного з'єднання елементів мережі використовують повторювач (*repeater*) і концентратор (*hub*); для логічного з'єднання і розподілу – міст (*bridge*), комутатор (*switch*), маршрутизатор (*router*) і шлюз (*gateway*). Їх функції можуть виконувати спеціалізовані пристрої чи універсальні комп'ютери з відповідними вбудованими програмними механізмами.

Маршрутизатори інтелектуальніші, ніж комутатори, і часто використовуються для з'єднання неоднорідних мереж у складену мережу (Internet). Internet посідає особливе місце серед технологій глобальних мереж і відіграє роль технології об'єднання мереж будь-яких типів, у тому числі і мереж всіх інших глобальних технологій.

Завданням маршрутизатора є: побудова таблиці маршрутизації, визначення на її основі маршруту, буферизація, фрагментація, фільтрація пакетів, що надходять, підтримання мережних інтерфейсів.

*Маршрут* – це послідовність маршрутизаторів, які мають пройти пакет від відправника до одержувача.

Маршрутизація пакета спрощено зводиться до такого:

- з кадру, що надійшов на вхідний інтерфейс маршрутизатора, витягають IP-пакет і аналізують IP-адресу його призначення;

- за цією адресою, використовуючи таблицю маршрутизації, визначають IP-адресу наступного маршрутизатора і перетворюють її у локальну адресу даної підмережі;

- потім вихідний IP-пакет упаковують у кадр технології, яка реалізована в даній підмережі, і відправляють (через послідовність комутаторів даної підмережі) на наступний маршрутизатор;

- так відбувається до того часу, коли пакет не потрапить до підмережі і пункту призначення.

Згідно з протоколами маршрутизації для кожного маршрутизатора генеруються погоджені таблиці маршрутизації, тобто таблиці, що дають можливість забезпечити доставляння пакета раціональним шляхом від вихідної підмережі до підмережі призначення за кінцевою кількістю кроків. Задля цього маршрутизатори обмінюються спеціальною службовою інформацією про стан елементів і топології складеної мережі.

Протоколи маршрутизації можуть бути розподіленими (кожен маршрутизатор будує відповідну таблицю маршрутизації) і централізованими (центральный маршрутизатор будує таблиці маршрутизації для всіх маршрутизаторів).

Розрізняють маршрутизатори магістральні, регіональні, вилучених мереж і локальних мереж.

Для збалансованого максимально можливого завантаження мережі застосовуються *методи інжинірингу трафіка*, які спираються на розширені

протоколи маршрутизації, що передбачають збір інформації про стан зв'язків і поточної вільної пропускної спроможності. На підставі цієї інформації маршрутизатори і комутатори мережі автоматично вирішують завдання інжинірингу трафіка, тобто збалансованого використання всіх ресурсів мережі на основі раціонального вибору шляхів проходження трафіка (усієї сукупності повідомлень) через мережу.

*Таким чином*, комп'ютеризація сучасних і перспективних ТКМ значно розширила їх можливості щодо забезпечення абонентів зв'язком високої якості та моніторингу мереж і управління ними.

Варто звернути увагу на тенденцію систем управління мережами і систем управління системами до інтеграції, а також на те, що в сучасних і в традиційних мережах зв'язку все ще дуже поширений розподіл систем управління за типами керованих об'єктів.

## 11. Технології побудови локальних мереж

Першими з'явилися локальні Тлф мережі. Локальні обчислювальні мережі (ЛОМ, LAN), які розглядаються у цій главі, почали створюватись в 70–80-ті роки ХХ ст. з появою порівняно недорогих комп'ютерів. ЛОМ об'єднує комп'ютери, що розташовані на невеликій відстані (десятки – сотні метрів – одиниці кілометрів) для ефективного використання їх роздільних ресурсів. Після селекції, проведеної на практиці, в арсеналі розробників і користувачів залишилося три базові технології: Ethernet, Token Ring і FDDI [5; 23; 26; 41; 44].

### 11.1. Технологія Ethernet

**Ethernet** (проста мережа) – це найпоширеніше у світі сімейство технологій ЛОМ, з яких самими відомими є Ethernet, Fast Ethernet і Gigabit Ethernet. Всі вони використовують метод випадкового доступу (ALOHA) до спільного середовища пересилання даних – шини (у вигляді витой пари, металевого кабелю чи ВОК).

Ethernet і її різновиди відповідають стандартам IEEE 802.1, 802.2, 802.3. У ній використовують метод колективного доступу до середовища пересилання даних з упізнаванням несучої і виявленням колізій (метод CSMA/CD).

*Структурна схема* трисегментної Ethernet зображена на *рис. 11.1*, де ПК – персональний комп'ютер (або просто комп'ютер), МА – мережний адаптер з ПрП, УН – узгоджене навантаження для створення в середовищі під час роботи режиму біжучих хвиль, П – повторювач для з'єднання сегментів мережі і відтворення сигналів. Таким чином, ЛОМ Ethernet набуває вигляду лінії, що закінчується з обох кінців УН. До лінії (шини) через МА підключаються ПК. УН поглинають енергію сигналів, що дійшли до УН. Це дуже важливо, тому що відбитий від кінця лінії сигнал, якби це сталося, склався б із сигналом, що несе квитанцію, й інформація була б втрачена. МА забезпечують зв'язок ПК зі спільною шиною і перетворення комп'ютерних сигналів у лінійні сигнали. У МА записана також індивідуальна адреса – код комп'ютера.

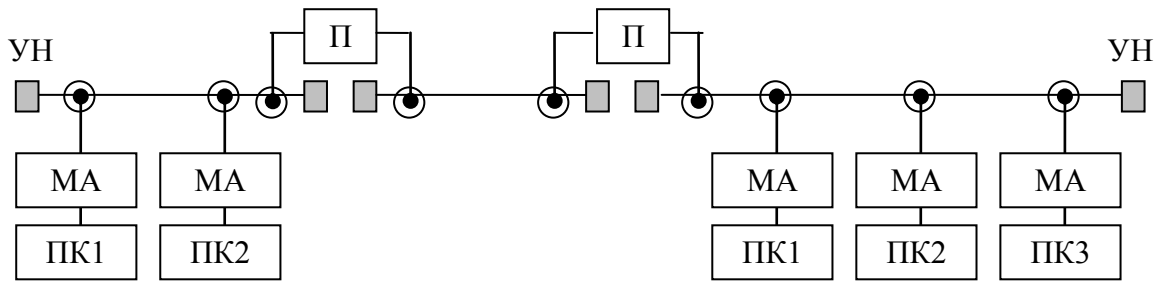


Рис. 11.1. Трисегментна ЛОМ Ethernet

Усі ПК мережі мають *доступ до спільного середовища*, тому воно може використовуватись для пересилання даних між будь-якими з них. Адреса призначення визначається 6-байтовою адресою управління доступом до середовища (MAC-адресою), яка містить в собі адреси відправника і отримувачів. Адреса отримувачів залежно від значення першого біту може бути індивідуальною або груповою. Значення другого біту адреси несе інформацію щодо способу її призначення: комітетом IEEE чи адміністратором ЛОМ. Кожен МА має щонайменше одну адресу. За такої умови і розглянемо алгоритм доступу до спільного середовища пересилання даних, наприклад, ПК правого сегменту мережі:

- перш за все, ПК1-відправник має переконатись, що середовище не зайняте. Ознакою цього є відсутність в ньому коливань несучої частоти 5–10 МГц. Якщо середовище вільне, то ПК1-відправник починає передачу з синхропреамбули;

- всі інші ПК розпізнають факт передавання й утримуються від пересилання своїх даних;

- ПК3, якому адресовані дані, сприймає їх, обробляє і готує відповідь;

- ПК2, якому теж треба передавати дані, вичікує, коли ПК-1 закінчить передачу;

- після закінчення передачі кадру всі ПК зобов'язані витримати технологічну паузу 9,6 мкс, що є також міжкадровим інтервалом. Вона необхідна для приведення мережних адаптерів у вихідне становище і як протидія монопольному захопленню середовища одним з ПК;

- після закінчення паузи всі вузли мають право почати передачу, оскільки середовище звільнилось. Цим, зокрема, може скористатись ПК2 для передавання свого кадру, або ПК3 – для передавання відповіді тощо.

Але через розподілення мережі і затримання в поширенні сигналу у середовищі не всі ПК мають можливість одночасно зафіксувати факт закінчення передавання кадру. Тому можливі випадки, коли два чи декілька ПК вважають, що середовище вільне, і починають передачу своїх кадрів. Тоді виникає *колізія* (див. п. 5.4).

Щоб коректно опрацювати колізію, одночасно ведеться пересилання сигналів і спостереження за ними у середовищі. Якщо ці два сигнали відріз-

няються, то фіксується виникнення колізії, і передача переривається на випадковий інтервал часу  $\Delta t = 51,2z \text{ мкс}$ , де  $z$  – рівноймовірне випадкове число, вибране з інтервалу  $[0, 2^n]$ , де  $n$  – номер чергової спроби. Після 16-ї невдалої спроби кадр відкидається і його подальша доля вирішується на транспортному рівні.

Ймовірність виникнення колізій збільшується з ростом завантаженості мережі. При цьому корисна пропускна спроможність мережі зменшується, оскільки збільшується її частина, яка витрачається на обробку колізій. Для зменшення інтенсивності виникнення колізій треба зменшити кількість ПК у мережі, або побудувати мережу за більш швидкісною технологією. При коефіцієнті завантаження мережі, близькому до одиниці, метод доступу CSMA/CD не дає гарантії, що ПК взагалі отримає доступ до середовища. Це плата за простоту і найнижчу вартість технології Ethernet. Технології з маркерним доступом (FDDI і Token Ring) не мають цього недоліку.

Для надійного розпізнавання колізій час передавання кадру мінімальної довжини має перевищувати час подвійного обертання сигналу у середовищі, оскільки у найгіршому випадку – найвіддаленіших станцій – в один бік проходить неспотворений сигнал, а в протилежний – спотворений, за яким виявляється колізія. Тільки за цієї умови передавальна станція виявить колізію до закінчення передачі кадру. Але виконання умови залежить від тривалості мінімального кадру (57,5 мкс), пропускної спроможності мережі, довжини кабелю і швидкості поширення та згасання сигналу в ньому. Для компенсації згасання мережу створюють із сегментів (див. рис. 11.1), з'єднаних повторювачами сигналів, які вносять додаткову затримку у часі. З урахуванням цих чинників вибране співвідношення між мінімальною тривалістю кадру та максимально можливою відстанню між станціями в мережі, при якій надійно розпізнаються колізії. Зі збільшенням швидкості передавання довжина мережі пропорційно зменшується, якщо не вжити додаткових заходів щодо цього.

Під корисною пропускною спроможністю розуміють швидкість передачі користувальних даних, які переносяться полем даних кадру. Вона менша за номінальну бітову швидкість за рахунок передачі службової інформації, міжкадрових інтервалів, очікування доступу до середовища, часу обробки колізій. При передаванні кадрів мінімальної довжини (46 байт) вона становить 5,46 Мбіт/с, середньої (512 байт) довжини – 9,28 Мбіт/с, максимальної (1500 байт) довжини – 9,76 Мбіт/с.

## 11.2. Різновиди Ethernet

Різновидами Ethernet є: 10 Base-5, 10 Base-2, 10 Base-T, 10 Base-F. У них число 10 вказує на бітову швидкість пересилання даних в Мбіт/с, слово

“Base” означає пересилання даних саме на цій базовій частоті, останній символ залежить від типу спільного середовища передачі.

В **Ethernet 10 Base-5** як спільне середовище передачі застосовується “товстий” кабель із зовнішнім діаметром 10 мм, діаметром центрального мідного проводу 2,17 мм і хвильовим опором 50 Ом. ПК підключається до цього кабелю за допомогою інтерфейсного кабелю (з 4-ох витих пар довжиною до 50 м) і ПрП, який встановлюється на кабелі і з’єднується з ним безконтактним способом або способом проколювання. Раціональні точки позначені на кабелі з інтервалом 2,5 м. До функції ПрП як частини МА входить: приймання і пересилання даних з кабелю на кабель; визначення колізій на кабелі; електрична розв’язка між кабелем і рештою МА; захист кабелю від некоректної роботи МА. Решта характеристик наведена в табл. 11.1.

Таблиця 11.1

#### Характеристики різновидів Ethernet

Найменування	10 Base-5	10 Base-2	10 Base-T	10 Base-F
Кабель	Товстий коаксіальний	Тонкий коаксіальний	Неекранована вита пара 3, 4, 5 категорії	Багатомодовий ВОК
Максимальна довжина сегменту, м	500	185	100	2000
Максимальна відстань між ПК, м	2500	925	500	2500
Максимальна кількість ПК у сегменті	100	30	1024	1024

Сегменти мережі з’єднуються між собою за допомогою ПрП і повторувачів.

Достоїнства: надійна заводо захищеність кабелю; порівняно велика відстань між ПрП; можливість переміщення ПК в межах довжини інтерфейсного кабелю.

Недоліки: висока вартість кабелю; складність прокладання через його жорсткість; необхідність спеціального інструменту для обробки кабелю.

В **Ethernet 10 Base-2** як спільне середовище передачі застосовується “тонкий” кабель із зовнішнім діаметром 5 мм, діаметром центрального мідного проводу 0,89 мм і хвильовим опором 50 Ом. Цей кабель дешевший і зручніший в роботі, але має гірші заводо захищеність та міцність і вужчу смугу пропускання.

ПК з МА і ПрП підключаються до кабелю за допомогою високочастотного трійника (Т-конектора). Відстань між точками підключення становить 1 м. Кабель з трійником висить на ПрП (який об’єднаний з МА), що обмежує переміщення ПК.

В **Ethernet 10 Base-T** передбачене використання як середовища передачі двох неекраниваних витих пар 3-ї категорії. Для з'єднання підключених до них ПК з МА в мережу використовують концентратори, тобто багатопортові повторювачі, які створюють логічну спільну шину. Повторювач, виявивши колізію на виході будь-якого Прм, надсилає сигнал про це на всі Прд. Концентратори можна з'єднувати один з одним через ті самі порти. Петлювате з'єднання забороняється, а якщо й робиться для резервування, то переводиться в неактивний стан. Важливою перевагою є поділ загальної мережі за допомогою концентраторів на окремі частини. Це полегшує контроль за справністю та автоматичне відключення несправних. У разі використання мостів замість концентраторів мережа буде структурованою, і у разі виникнення колізії в одній частині мережі на іншу вона не пошириться. Це дає змогу істотно підвищити корисну пропускну спроможність мережі.

В **Ethernet 10 Base-F** використовують такі самі, за призначенням, елементи: МА, ПП, концентратори, мости, але кабель – ВОК.

Загальними обмеженнями розглянутих різновидів Ethernet є:

- номінальна пропускну спроможність – 10 Мбіт/с;
- максимальна кількість сегментів – 5, з них навантажені – крайні і середній;
- максимальна кількість повторювачів між будь-якими ПК мережі – 4.

### 11.3. Розвиток технології Ethernet

Упродовж 15 років технологія Ethernet цілком задовольняла користувачів і виробників, але на початку 90-х років ХХ ст. їх перестала задовольняти її пропускну спроможність. Через це у середині 90-х років була розроблена, а в 1995 році закріплена в стандарті 802.3u технологія Fast Ethernet (швидкий Ethernet).

**Fast Ethernet.** Відмінність Fast Ethernet від Ethernet полягає у збільшенні швидкості пересилання інформації та використанні трьох варіантів кабельних систем: 2-х волокон багатомодового ВОК (100 Base-FX), або 2-х витих пар 5 категорії (10 Base-FX), або 4 витих пар 3 категорії (10 Base-T4). Деякі характеристики цих мереж наведені в табл. 11.2.

Таблиця 11.2

**Характеристики мереж Fast Ethernet**

Тип кабелів	Максимальна довжина сегменту, м	Максимальний діаметр мережі, м
Вита пара (ТХ)	100	200



Оптоволокно, (FX)	136	272
Декілька сегментів на TX і один – на FX	100 (TX) 160 (FX)	260
Декілька сегментів на TX і декілька – на FX	100 (TX) 136 (FR)	272

Мережа Fast Ethernet завжди має ієрархічну деревоподібну структуру з діаметром, що не перевищує 200 м, але у разі спільного застосування з комутаторами можлива побудова великих мереж і дуплексний режим роботи. Обмеження залишаються лише на довжину сегменту. Технологія розрахована на швидкість пересилання інформації 100 Мбіт/с. Незмінними залишилися формати кадрів, їх довжина і міжкадровий інтервал, але у часовому вимірюванні вони скоротились. Збільшення швидкості передачі досягнуто використанням ефективніших кодів і паралельного пересилання даних двома або трьома витими парами (четверта пара використовується для виявлення колізій).

Під час використання мостів замість концентраторів мережа стає структурованою, і у разі виникнення колізії в одній частині мережі на іншу її частину вона не поширюється. Це дає змогу підвищити корисну пропускну спроможність мережі.

**Gigabit Ethernet.** Усвідомивши, що через зростаючі можливості комп'ютерів швидкості 100 Мбіт/с, досягнутої у Fast Ethernet, недостатньо, комітет зі стандартизації почав розробляти стандарт на ЛОМ зі швидкістю пересилання інформації 1 Гбіт/с (формат кадру Ethernet, метод доступу, напівдуплексний і дуплексний режим і обмеження на вартість ЛОМ залишилися тими самими). Для ВОК і коаксіального кабелю стандарт 802.3z був прийнятий у 1998 році, а для витної пари 5 категорії – 802.3ав – у 1999 році. Вирішити це завдання для витної пари було складно, оскільки її гарантована смуга пропускання не перевищує 100 МГц. Для пересилання нею даних зі швидкістю 1000 Мбіт/с було прийнято рішення організувати паралельну передачу 4-ма витими парами і, крім того, застосувати 32-позиційний код QAM32 з тактовою частотою 125 МГц. Основна область застосування Gigabit Ethernet – магістралі локальних (LAN) і міських (MAN) мереж. Роботи з розвитку сімейства Ethernet не припинялися: у 2002 році комітет IEEE 802 прийняв стандарт 10GE, тобто на Ethernet зі швидкістю 10 Гбіт/с.

## 11.4. Технологія Token Ring

У мережах Token Ring використовують *маркерний метод доступу*, який гарантує кожній станції упродовж періоду обертання маркера (Token) доступ до спільного середовища – кільця (Ring), через що метод доступу називають *детермінованим*. У методі доступу використовується 8 пріоритетів. Комп'ю-

тер визначає пріоритет поточного кадру і може захопити кільце тільки тоді, коли в кільці немає пріоритетніших кадрів.

Мережі Token Ring працюють на двох швидкостях 4 і 16 Мбіт/с на екранованій чи неекранованій витій парі або ВОК. Швидкість 4 Мбіт/с забезпечується тоді, коли кільцем рухається кадр одного комп'ютера, 16 Мбіт/с – коли кільцем одночасно і послідовно рухаються кадри декількох комп'ютерів. Максимальна довжина кільця – 4 км. Максимальна кількість комп'ютерів у кільці – 260. Максимальний розмір поля даних у кадрі становить 5 кбайт при швидкості 4 Мбіт/с і 20 кбайт при швидкості 16 Мбіт/с. Мінімальний розмір кадру може дорівнювати нулю.

Комп'ютери об'єднують у кільце за допомогою концентраторів (К) MSAU (рис. 11.2), з'єднаних між собою кабелями довжиною до 100 м (для кабелю типу STR) і до 45 м (для кабелю типу UTR). У разі використання активних MSAU ці відстані збільшуються відповідно до 730 і 365 м.

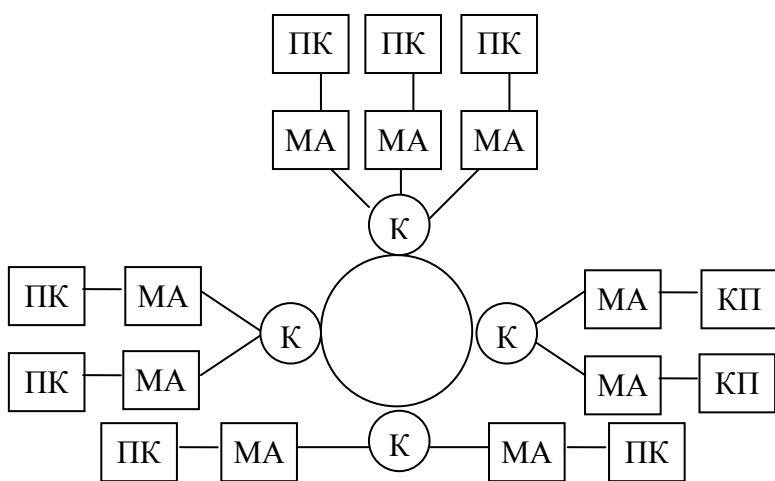


Рис. 11.2. Локальна мережа Token Ring

Пасивний MSAU виконує функцію кросової панелі, яка з'єднує вихід попереднього комп'ютера зі входом наступного комп'ютера. Максимальна відстань від комп'ютера до MSAU становить 100 м для STR і 45 м для UTR; максимальна кількість комп'ютерів теж залежить від типу використаного кабелю і становить відповідно 260 і 72. Кожен комп'ютер функціонує як

повторювач, а один з них – активний монітор – крім того, ресинхронізує сигнали, що передаються кільцем. Якщо кільце побудоване на основі активного MSAU, то він теж функціонує як повторювач. Для підвищення відмовостійкості активний монітор контролює наявність маркера і період обертання маркера і кадру даних. У разі некоректної роботи кільця запускається процедура повторної ініціалізації і локалізації несправної ділянки кільця.

Для підвищення надійності роботи ЛОМ можна з'єднати лінією зв'язку комп'ютери, що розташовані на протилежних кінцях діагоналі кільця [6], але це потребує змін у програмному забезпеченні.

Мережа Token Ring може будуватись на основі декількох кілець, з'єднаних мостами, які спрямовують кадри “від джерела”. Для цього в кадрі є поле з маршрутом проходження кілець.

Технологія Token Ring для ЛОМ розвивалася паралельно з Ethernet. Стандарт 802.5 на Token Ring прийнято з ініціативи компанії IBM у 1985 ро-

ці, однак останнім часом навіть у продукції компанії IBM домінують представники сімейства Ethernet.

## 11.5. Технологія FDDI

FDDI (*Fiber Distributed Data Interface* – оптоволоконний інтерфейс розподілу даних) – це перша технологія LAN на ВОК ( $\lambda = 1,33 \text{ мкм}$ ). Стандарт FDDI зі швидкістю пересилання даних  $100 \text{ Мбіт/с}$  розроблено у 1986–1988 роках. У ньому розвиваються ідеї, що започатковані в технології Token Ring.

Мережа FDDI будується на основі подвійного оптоволоконного кільця, тобто двох оптоволоконних кілець (робочого і резервного, *рис. 11.3*), які у разі виходу з ладу будь-якої ділянки реконфігуруються в одне кільце, зберігаючи працездатність мережі.

Метод доступу – маркерний, але замість 8 пріоритетів розрізняють 2, з яких перевага в обслуговуванні надається синхронному трафіку над асинхронним. Для підвищення швидкості застосовують алгоритм раннього звільнення маркера так само, як і в технології Token Ring зі швидкістю  $16 \text{ Мбіт/с}$ .

Алгоритм управління кільцями істотно відрізняється, оскільки їх два і потрібен контроль за їх станом для здійснення реконфігурації.

У цей час технологія FDDI орієнтується на використання як середовища передавання, крім ВОК, ще й неекранованої виті пари 5 категорії. Цей варіант розроблено пізніше оптичного.

Максимальний діаметр подвійного кільця –  $200 \text{ км}$  (по  $100 \text{ км}$  на кільце). Максимальна кількість станцій подвійного підключення –  $500$ . Максимальна відстань між сусідніми вузлами: для виті пари –  $100 \text{ м}$ , для багатомодового ВОК –  $2 \text{ км}$ , для одномодового ВОК –  $10\text{--}40 \text{ км}$  залежно від якості оптоволокна.

Технологія FDDI виявилась якісною і більш відмовостійкою, але надто дорогою для підключення клієнтських комп'ютерів і навіть невеликих серверів. Основною областю її застосування стали магістралі мереж групи будівель, а також міські мережі (MAN). Тому подальші пошуки нових технологій і привели до створення Fast Ethernet і Gigabit Ethernet.

На закінчення відзначимо, що для створення ЛОМ (LAN) необхідне мережне обладнання: кабелі, з'єднувачі, розгалужувачі, узгоджувальні навантаження, мережні адаптери, ПрП, концентратори, мости, комутатори, маршрутизатори, шлюзи.



*Рис. 11.3.* Реконфігурація кілець FDDI у разі відмови

Достоїнства сімейства Ethernet: простота побудови та обслуговування, надійність, порівняно невисока вартість, і гнучкість (добавляються нові вузли, забезпечується взаємодія з Internet, на декілька порядків підвищена швидкість пересилання без змінювання програмного забезпечення).

Технологія Ethernet найчутливіша до перевантаження спільного середовища передачі. Допустимий коефіцієнт використання пропускної спроможності Ethernet – 30–50%, Token Ring – 50–60%, FDDI 60–70%. У разі перевищення цих рівнів мережа починає захлинатись від колізій.

Цього явища можна уникнути або послабити, поділивши мережу на сегменти і з'єднавши їх мостами, комутаторами або маршрутизаторами, які не випускають внутрішній трафік сегмента за його межі. Це так звана *логічна структуризація мережі* (див. п. 5.4).

Міст і комутатор – це функціональні близнюки, у яких реалізуються однакові алгоритми. Але у моста один мікропроцесор, а тому він просуває кадри від порту до порту послідовно, тобто повільно (3–5 тис. кадрів/с). У комутатора – на кожен порт припадає мікропроцесор, тому вони просувають кадри паралельно, що на кілька порядків підвищує пропускну спроможність. Сьогодні мости вже не виробляють, але ще використовують.

Сучасна тенденція в області ЛОМ полягає: у частковій чи повній відмові від розділюваного середовища і заміні його індивідуальними зв'язками; у широкому використанні комутованих зв'язків і мікросегментації; у використанні дуплексного режиму практично в усіх технологіях.

Найпопулярнішими стають безпроводові локальні мережі. При цьому домінує стандарт 802.11, яким визначені для використання інфрачервоні сигнали, різні методи розширення спектру і багатоканальна система частотного ущільнення. Робота у кожному стільнику може вестись як за наявності БС, так і без неї.

З'являються безпроводові регіональні мережі, у яких використовуються широкосмугові системи, що розв'язали проблему “останньої милі” в телефонії через застосування радіозв'язку.

Bluetooth (“Синій зуб”) – безпроводова система, яка найчастіше застосовується для безпроводового з'єднання комп'ютера або мобільного телефону з периферійними пристроями. Bluetooth працює в діапазоні 2,4 і 5 ГГц, де має 79 каналів з ППРЧ в межах 1 МГц, має радіус дії – 10 м, сумарна швидкість пересилання інформації – 1 Мбіт/с. Оскільки робота ведеться в середовищі із завадами, то для Bluetooth дуже прискіпливо розроблялись алгоритми виявлення і виправлення помилок.

## 12. Технологія побудови мереж з інтегруванням видів зв'язку

Інтегрування може здійснюватись на технічному рівні, об'єднуючи в одному пристрої, наприклад, функції ущільнення і комутації, або на рівні сервісів (служб, видів зв'язку: Тлф, Тлг, пересилання даних тощо). Розглянемо другий варіант, реалізація якого надає великі переваги, оскільки для кожного виду послуг необхідні окремі комутатори, особливі системи управління, спеціальний персонал.

ISDN – це аббревіатура, утворена від словосполучення *Integrated Services Digital Network*, що означає “цифрові мережі з інтегруванням послуг” і, насамперед, з інтеграцією видів зв'язку [5; 23; 26; 41; 44].

ISDN – це універсальна цифрова мережа, у якій одними і тими самими фізичними каналами передається як голосова (мовна) інформація, так і цифрові дані. ISDN – це цифрова мережна технологія, що дозволяє об'єднати передавання мови і неголосові види зв'язку, організовані за допомогою набору інтерфейсів “користувач – мережа”. Вона сумісна з комутацією каналів і комутацією пакетів, сприяє розширенню можливостей сигналізації.

### 12.1. Загальна характеристика технології і мереж ISDN

Уперше термін “інтегрована” з'явився в 1959 році й означав об'єднання цифрової обробки і цифрового передавання мови. Згодом у нього стали вкладати ширший зміст, а саме, здійснення однією мережею різних видів зв'язку: Тлф, Тлг, факсимільного, пересилання комп'ютерних даних, даних сигналізації тощо. Передумови для створення такого роду мереж склалися в середині 70-х років ХХ ст. До того часу вже широко застосовувалися цифрові канали Т1 між АТС, компанією Western Electric у 1976 році був випущений перший могутній цифровий комутатор Тлф каналів 4ESS.

Розробленню ISDN значною мірою сприяв прогрес у розвитку технології цифрового Тлф зв'язку, що надавало такі переваги:

- зв'язок став якіснішим, тому що замість підсилення АС і шуму в мережних пристроях здійснювалася регенерація амплітуди і форми імпульсів ЦС з одночасним придушенням шуму;
- вартість цифрових пристроїв нижча за аналогових.

У 1980 році був сформульований перший стандарт G705, у якому викладалися загальні ідеї інтегрування різних видів зв'язку, але він був ще неповним і недосконалим. Устаткування, що було розроблене на його основі, часто виявлялося несумісним, через що стандарт неодноразово (1984, 1988, 1992, 1993 рр.) переглядався і доповнювався. Через те, що цей процес триває донині, і через необхідність великих капітальних вкладень, інкубаційний період затягнувся.

Раніше інших (наприкінці 80-х років XX ст.) мережі ISDN запрацювали у Німеччині і Франції, однак, при цьому частка їх абонентів не перевищувала 5% загальної кількості абонентів. Тільки в середині 90-х років технологія ISDN набула поширення в США, що зіграло важливу роль, тому що саме там зосереджені компанії-лідери у виробництві мережного устаткування. Ними був створений маршрутизатор, що підтримує технологію ISDN.

Як продукт еволюції, технологія ISDN передбачає, по змозі, використання існуючих ресурсів. Зв'язок між абонентами здійснюється через існуючі абонентські лінії і канали T1 і E1. Основний будівельний блок (канал 64 кбіт/с) як і система сигналізації сумісні з існуючими ресурсами Тлф компаній.

Існують два методи доступу до мережі ISDN: початковий (базовий) доступ (BRI) і основний доступ (PRI). За пропускнуою спроможністю перший розрахований на потреби невеликих офісів (підрозділів), другий – на потреби бізнес-сфери (великих підрозділів).

Слід відзначити, що в середині 80-х років XX ст. технологія ISDN передбачала цифровий зв'язок лише між АТС, а на лінії “абонент – АТС” мали здійснюватися аналого-цифрові і цифро-аналогові перетворення. Надалі технологією ISDN були охоплені і ці ділянки, завдяки чому абонент, перейшовши на таку технологію, здійснював різні види зв'язку (рис. 12.1) однією абонентською лінією (без прокладання додаткових кабелів) й одержував додаткові послуги (доступ до Internet, електронна пошта, робота зі сканованими зображеннями, зчитування показань деяких приладів тощо).

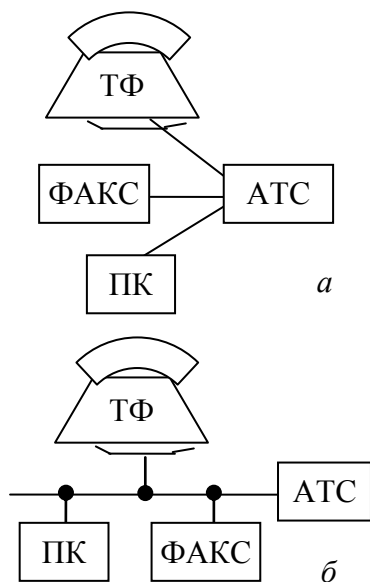


Рис. 12.1. Доступ до АТС: а – традиційний, б – початковий ISDN

Нині ISDN є мережею, що працює і взаємодіє відповідно до рекомендацій комісії зі стандартизації Міжнародного телекомунікаційного союзу (ITU-T), з якими також погоджені специфікації Американського національного інституту стандартів (ANSI) і Європейського інституту стандартів з телекомунікації (ETSI). Унаслідок цього проблеми несумісності залишилися в минулому.

Як приклад, наведемо зміст деяких специфікацій:

– з питань сигналізації було дане визначення атрибутів (складових частин), адресації, нумерації, двох різних фізичних інтерфейсів ISDN, процедур доступу до каналу інтерфейсу “користувач – мережа”, процедури управління викликами рівня 3 моделі OSI інтерфейсу “користувач – мережа”, деталей реалізації повідомлень типу Q.931;

– з питань Тлф мережі в ISDN дане визначення схем адресації і нумерації ISDN, забезпечення якості сервісу і мережного управління.

У ISDN визначені два методи доступу до цифрової лінії: *початковий* і *основний*, які реалізують часовий розподіл каналів.

## 12.2. Методи доступу до мережі ISDN

**Початковий метод доступу** до Тлф станції здійснюється витою парою (див. рис. 12.1). При цьому створюється 2 *B*-канали – носіїв сигналів і один керуючий *D*-канал (рис. 12.2).

Кожен *B*-канал забезпечує передавання оцифрованої мовної інформації чи інформації потоку даних зі швидкістю 64 *кбіт/с*. Частота дискретизації мовного сигналу – 8 *кГц*, довжина кодової комбінації – 8 *біт* на відлік.

Канал *B* може бути розділений на підканали з меншою швидкістю передавання, але це має робити устаткування користувачів. Мережа ISDN завжди комутує цілі канали типу *B*.

Канали типу *B* за допомогою комутації можуть з'єднувати користувачів один з одним, утворювати напівпостійні з'єднання типу виділених службових каналів, підключати користувача до комутатора мережі X.25.

<i>F</i>	Канал <i>B1</i>	<i>D</i>	Канал <i>B2</i>
----------	-----------------	----------	-----------------

Рис. 12.2. Структура каналу ISDN за початкового доступу

Швидкість функціонування будь-якого устаткування користувача, що використовує *B*-канали ISDN, має бути близькою до 64 *кбіт/с*. На інший випадок його швидкість має бути адаптованою до швидкості 64 *кбіт/с*. При цьому обидва закінчення Тлф з'єднання повинні використовувати одну і ту саму схему адаптації швидкості з двох відомих схем V.110, V.120. У США популярнішою є схема V.120.

*D*-канал є ключовим елементом забезпечення функціонування мережі ISDN. Користувач і мережа використовують цей канал для пересилання один одному інформації, що має ставлення до запитів послуг. У *D*-каналі підтримується лише пакетний режим у форматах X.25. Сигнали управління передаються зі швидкістю 16 *кбіт/с*.

Загальна швидкість передачі 144 *кбіт/с*, а з урахуванням кодування і синхронізації *F* – 192 *кбіт/с*. Дані передаються кадрами по 48 *біт*. З них 16 *біт* на кожен з *B*-каналів, 4 біти – каналу *D*. Крім того, у кадр входять біти

синхронізації і забезпечення нульової значення постійної складової електричного сигналу. Передавання кадрів здійснюється з частотою 4000 разів у секунду. Інтерфейс BRI може підтримувати також схему каналів  $B + D$  чи тільки  $D$ .

Загалом, використовуючи цей метод, до однієї стандартної Тлф лінії можна підключити до 8 різних пристроїв (телефонів, факсів, комп'ютерів). Однак одночасний доступ до Тлф станції можуть отримати тільки 3 пристрої (див. рис. 12.1). Це регулюється каналом  $D$ , який також використовується для встановлення і завершення з'єднання між абонентами, а у вільний від цього час – для передавання пакетів даних (від комп'ютера, системи сигналізації, показань приладів тощо) з низькою швидкістю.

Достоїнства цього методу: замість 3–8 ліній до Тлф станції прокладається одна.

**Основний метод доступу** до Тлф станції (інтерфейс PRI) реалізується однією високошвидкісною лінією зв'язку, до якої підключаються абоненти з початковим доступом, установчі АТС, інші високошвидкісні мережні пристрої, наприклад, мультипроцесорні ущільнювачі.

Стандарти основного доступу в Європі і Північній Америці різні через розходження в методах ущільнення мовної інформації. У Північній Америці і Японії використовують систему і лінію передачі T1, що розрахована на швидкість передавання  $1,544 \text{ Мбіт/с}$ , включаючи 23  $B$ -канали та один  $D$ -канал (рис. 12.3) по  $64 \text{ кбіт/с}$  з додаванням до кожного кадру бітів синхронізації  $F$ . Кадри передаються з частотою синхронізації 8000 кадрів на секунду.

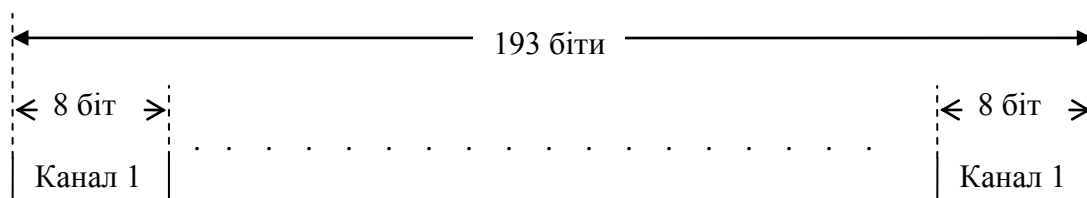


Рис. 12.3. Структура кадру стандарту T1 ISDN при основному доступі

У Європі використовують систему і лінію передачі E1, розраховану на сумарну швидкість передавання  $2,048 \text{ Мбіт/с}$ , включаючи 30  $B$ -каналів і один  $D$ -канал, а також біти синхронізації. У кожному з кадрів, переданих з частотою 8000 разів на секунду, розташовується 31 канал по  $8 \text{ біт}$  і  $8 \text{ біт}$  синхронізації. Це зумовлює швидкість передавання  $2,048 \text{ Мбіт/с}$ .

Можливі варіанти інтерфейсу з меншою кількістю  $B$ -каналів, наприклад,  $20B + D$ . У разі установки у користувача декількох інтерфейсів PRI їх може обслуговувати один  $D$ -канал. При цьому кількість  $B$ -каналів в інших інтерфейсах (що не містять  $D$ -канал) збільшується на одиницю.

Основний метод (і інтерфейс PRI) може бути заснований на використанні широкосмугових каналів типу  $H$ , а саме:



$H_0 = 6B$  зі швидкістю передавання 384 кбіт/с;

$H_{10} = 23B$  зі швидкістю передавання 1472 кбіт/с;

$H_{11} = 24B$  зі швидкістю передавання 1536 кбіт/с;

$H_{12} = 30B$  зі швидкістю передавання 1920 кбіт/с.

Прикладами можуть бути американські варіанти  $3H_0 + D$  чи  $H_{11} + D$ , а також європейські варіанти  $5H_0 + D$  чи  $H_{12} + D$ , але на будь-який випадок загальна швидкість передавання не може перевищувати відповідно 1544 кбіт/с і 2048 кбіт/с.

$H$ -канали застосовуються там, де необхідна велика пропускна спроможність (Internet, відеоконференції). Для цих каналів не існує стандартів, прийнятих союзом ІТУ-Т, хоча  $H_{10}$  і  $N64$  визначені організацією ANSI. Тому кожен виробник устаткування для користувачів використовує для адаптації швидкості свій власний спосіб, а розв'язання проблеми сумісності покладається на користувача.

Великий інтерес викликає канал  $N64$ , де  $N$  може приймати будь-яке значення від 2 до 24. Абонент мережі ISDN задає розмір каналу  $N$  під час ініціалізації виклику. Телефонна станція виділяє під канал  $N64$  відповідну кількість слотів (часових вікон) для обміну інформацією між сторонами зв'язку.

Існують також широкосмугові термінальні адаптери із заданою пропускною спроможністю. Ці пристрої можуть запитувати визначену кількість  $N64$  пропускної спроможності. На стороні, що викликає, подібний пристрій відповідає за мультиплексування вхідних часових слотів у високошвидкісний потік даних. На викликуваній стороні він демультиплексує високошвидкісний потік даних у часові слоти каналу  $N64$ . Ці пристрої у сполученні з каналами  $N64$  пропонують форму надання послуг за вимогою користувачів, що обмінюються даними.

### 12.3. Функціональні групи користувацького обладнання

Підключаючи до Тлф станції користувацьке обладнання, слід враховувати, до якої з двох функціональних груп (TE1 чи TE2) воно належить.

До функціональної групи TE1 (*Terminal Equipment 1*) належать пристрої з інтерфейсом BRI чи PRI, тобто сумісні безпосередньо з ISDN. Таким устаткуванням може бути телефон чи факс-апарат.

До функціональної групи TE2 належать пристрої, інтерфейси яких відрізняються від BRI і PRI, тобто несумісні безпосередньо з ISDN. Таким пристроєм може бути комп'ютер, маршрутизатор з послідовним інтерфейсом, що не належить до ISDN, наприклад RS-232C, X.21, V.35. Для підключення такого пристрою до мережі ISDN необхідно використовувати термінальний адаптер (Terminal Adaptor, TA). Для комп'ютерів термінальні адаптери випускаються у вигляді карти, що вставляється в нього.

## 12.4. Структурні схеми підключення користувацького обладнання до мережі ISDN

Користувацьке обладнання груп TE1 і TE2 підключається до мережі ISDN відповідно до схеми, розробленої комітетом CCITT (рис. 12.4).

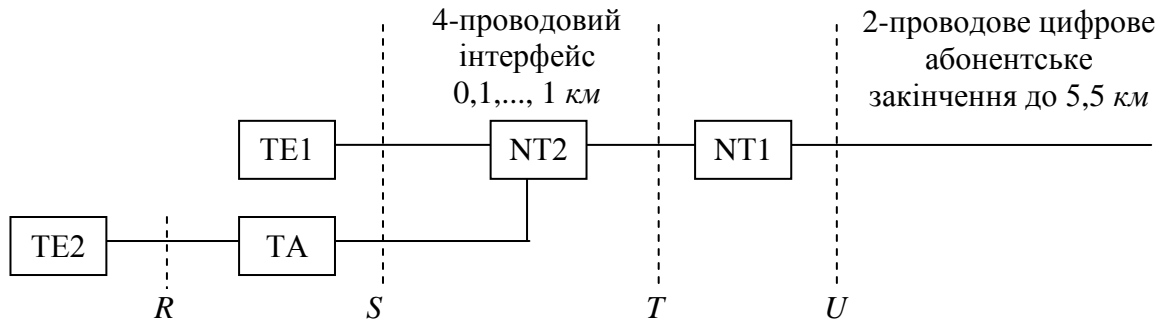


Рис. 12.4. Підключення користувацького обладнання

Пристрої функціональної групи NT2 (Network Termination 2) – це пристрої, що виконують функції комутації, концентрації й управління потоками даних. Це може бути: установка АТС (PBX), що комутує декілька *B*-каналів; маршрутизатор, що працює в режимі комутації пакетів по каналу *D*; простий мультиплексор TDMA (ЧсРК), що поєднує декілька менш швидкісних каналів в один канал *B*. Інакше кажучи, NT2 – це пристрій, функції якого відповідають першим трьом рівням моделі взаємодії відкритих систем OSI.

У разі підключення користувацького обладнання групи TE1 пристрій NT2 може бути відсутнім (рис. 12.5).

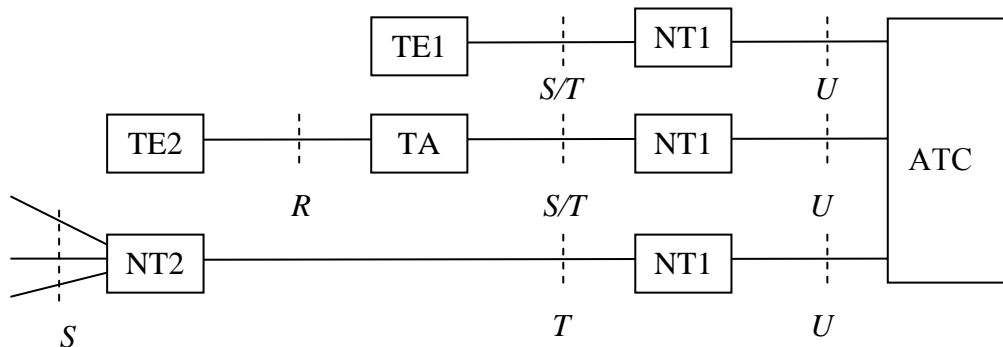


Рис. 12.5. Способи підключення користувацького обладнання до АТС

Пристрій функціональної групи NT1 формує цифрове абонентське закінчення (Digital Subscriber Line, DSL) на кабелі, що з'єднує користувацьке обладнання з мережею ISDN. Він забезпечує фізичне й електричне узгодження кіл, управління лінією зв'язку і синхронізацію даних, тобто виконує функції, що відповідають першому рівню взаємодії відкритих систем OSI.

В Європі NT1 прийнято вважати частиною обладнання мережі, тому користувацьке обладнання, наприклад маршрутизатор з інтерфейсом ISDN, виробляється без вбудованого пристрою NT1. Функції NT1 і NT2 часто виконуються одним пристроєм, названим NT12.

У Північній Америці NT1 прийнято вважати частиною користувацького обладнання, тому воно часто випускається з вбудованим пристроєм NT1. Зокрема, у США обладнання NT1 поставляється користувачем, встановлюється в приміщенні користувача, і він же зобов'язаний забезпечувати його живленням. Це варто враховувати, закупаючи обладнання.

**Контрольні (опорні) точки  $R$ ,  $S$ ,  $T$ ,  $U$**  іноді називають *інтерфейсами* (див. рис. 12.4). Інтерфейси в точках  $S$  і  $T$  стандартизовані міжнародними стандартами ISDN. Інтерфейс у точці  $U$  описаний організаціями ANSI і ETSI відповідно для США і Європи. Вимоги до інтерфейсу в точці  $R$  визначені виробниками устаткування TE2. При цьому адаптер TA конвертує протоколи не ISDN у протоколи мережі ISDN, тому інтерфейс має спеціально розробитися для визначеного устаткування. Це дозволяє входити до мережі ISDN величезній кількості такого устаткування.

Опорні точки  $S$  і  $T$  визначають границю між користувацьким і мережним обладнанням і, по суті, є точками доступу до послуг мережі ISDN. В опорній точці  $S$  визначений інтерфейс між користувацьким обладнанням (TE1, TA) і обладнанням типу NT2, а в опорній точці  $T$  – між обладнанням NT2 і NT1. По суті це шина, яка надана користувачу мережним терміналом NT1.

За відсутності необхідності в устаткуванні NT2 інтерфейс між устаткуванням NT1 і TE1, TA визначається в об'єднаній точці  $S/T$ .

Опорна точка  $U$  є з'єднанням між центральною Тлф станцією й обладнанням лінійного закінчення NT1 у приміщенні користувача (див. рис. 12.5).

Важливо, що набір стандартизованих мережних інтерфейсів дає змогу використовувати мережу ISDN усім терміналам, підключаючи несумісні термінали через термінальний адаптер.

На рис. 12.5 показані різні способи підключення користувацького обладнання до Тлф станції.

На рис. 12.6 показані різні варіанти багатоточкового підключення терміналів до мережного закінчення. Фізична довжина інтерфейсу PRI коливається від 100 до 1000 м залежно від схеми підключення пристроїв. Справа в тому, що за невеликої кількості терміналів (TE1 чи TE2 + TA) дозволяється не використовувати місцеву АТС, а підключати до 8 пристроїв до одного пристрою типу NT1 (чи NT2 без комутаційних можливостей) за схемою монтажного “або”.

У разі підключення одного пристрою TE (через термінальні резистори  $R$ , що узгоджують з параметрами лінії) до мережного закінчення NT довжина кабелю сягає 1000 м (рис. 12.6, а). У разі підключення декількох пристроїв до пасивного кабелю максимальна довжина кабелю скорочується до 100–200 м

(рис. 12.6, б). Якщо ці пристрої зосереджені на далекому кінці кабелю і відстань між ними не перевищує 25–50 м, то довжина кабелю може бути збільшена до 500 м (рис. 12.6, в). Існують спеціальні багатопортові пристрої NT1, що забезпечують зіркоподібне підключення до 8 пристроїв. Довжина кабелю при цьому збільшується до 1000 м (рис. 12.6, г).

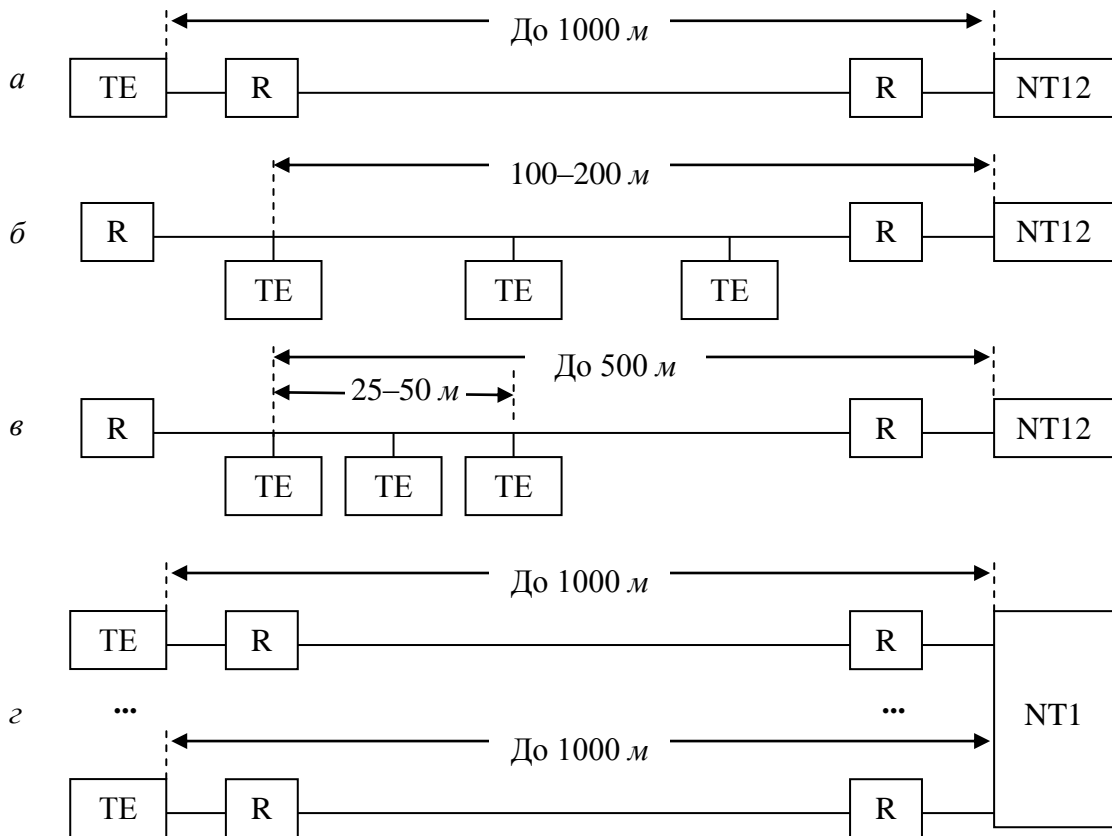


Рис. 12.6. Варіанти підключення терміналів до мережного закінчення

## 12.5. Методи кодування і схеми адресування

**Методи кодування.** Оскільки кабель між пристроями TE1 чи ТА і мережним закінченням NT1 зазвичай має невелику довжину (100–1000 м), то розробники стандартів ISDN вирішили не ускладнювати обладнання і зробити його 4-проводовим, тому що організувати дуплексний режим на такому кабелі набагато легше, ніж на 2-проводовому.

Для початкового доступу як метод кодування обраний біполярний код АМІ. При цьому логічна одиниця кодується нульовим потенціалом, а логічні нулі – чергуванням ненульових потенціалів протилежної полярності. На рис. 12.7 показаний інверсний код АМІ.

Для основного доступу використовуються коди В8ZS і HDB3, що самосинхронізуються. Вони застосовувалися також відповідно в лініях T1 і E1. У них вжиті заходи проти довгої послідовності нулів.

У довідковій (опорній) точці  $U$  для зв'язку з Тлф станцією використовують мідну виту пару довжиною до 5,5 км при початковому доступі BRI і 4-проводове з'єднання довжиною до 1,8 км при основному доступі PRI.

Дані при цьому передаються в спеціальному стиснутому форматі 2B1Q. Це 4-позиційний код (рис. 12.8), яким у кожен момент часу пересилаються 2 біти інформації. При цьому рівням сигналу  $-3$ ;  $-1$ ;  $+1$ ;  $+3$  відповідають значення закодованих бітів даних  $-00$ ;  $01$ ;  $10$ ;  $11$ . За рахунок цього при початковому доступі можна збільшити швидкість пересилання даних, що дозволяє застосувати пари звичайних мідних проводів, прокладених від пристрою NT1 до Тлф станції, для обміну інформацією в технології ISDN.

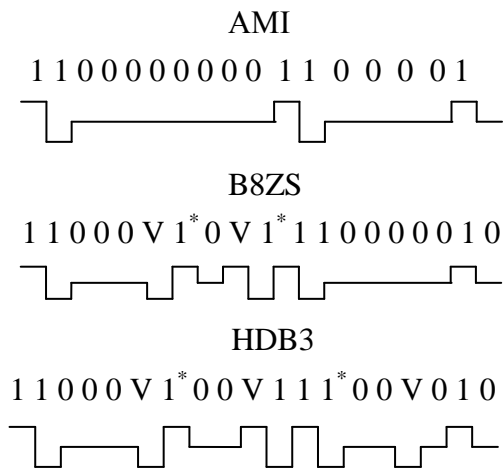


Рис. 12.7. Коди AMI, B8ZS, HDB3

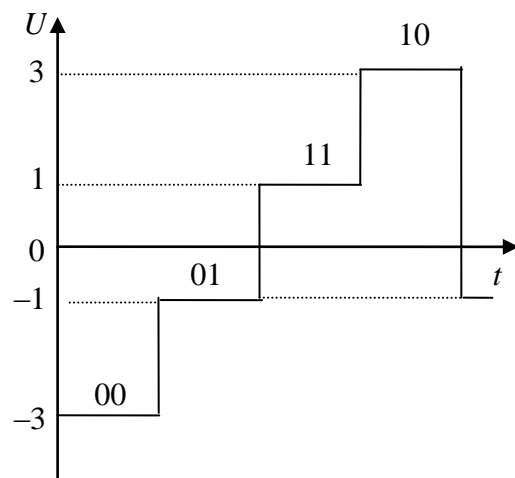


Рис. 12.8. Код 2B1Q

**Схеми адресування.** Технологія ISDN розроблялася як основа все-світньої ТКМ, що дало змогу з'єднувати Тлф абонентів і абонентів інших глобальних мереж – комп'ютерних, факсимільних та ін. Тому у процесі розроблення схеми адресування вузлів ISDN було необхідно зробити схему адресування:

- досить ємною для всесвітньої адресації;
- сумісною зі схемами адресації інших мереж. (На відміну від ISDN розробники TCP/IP пішли шляхом уведення власної системи адресації, незалежної від системи адресації поєднуваних мереж).

Основне призначення ISDN – передавання Тлф інформаційного потоку. Тому як основа адреси ISDN був прийнятий формат міжнародного Тлф плану номерів, описаний у стандарті ITU-T E.163. Формат розширили для обслуговування великої кількості абонентів і для використання в ньому адрес інших мереж, наприклад X.25. Стандарт адресації в мережах ISDN набув номеру E.164.

Якщо адрес формату E.163 налічував 12 десяткових цифр, що містили код країни, код міста і номер абонента, то в адресі E.164 передбачено 15 десяткових цифр, до яких додано ще 40 цифр підреси для нумерації термі-

нальних пристроїв за користувацьким інтерфейсом, тобто підключених до опорної точки *S* (див. рис. 12.4, 12.5).

Під час виклику абонента з мережі, що не належить до ISDN, його адреса може цілком міститися в полі адреси ISDN, але тоді йому має передувати префікс із зазначенням стандарту формування цієї сторонньої адреси. Наприклад, адреса абонента мережі X.25, яка використовує систему адресації за стандартом X.121, може бути цілком розміщена у полі адреси ISDN, але для вказання належності адреси до стандарту X.121, йому має передувати поле префікса, у якому міститься код стандарту адресації, на даний випадок код стандарту X.121. Комутатори мережі ISDN можуть обробити цю адресу коректно і встановити зв'язок з потрібним абонентом мережі X.25 через мережу ISDN, або комутуючи канал типу *B* з комутатором X.25, або пересилаючи дані в режимі комутації пакетів. Префікс описаний стандартом ISO 7498.

Ще одним способом виклику абонентів з інших мереж є вказання в адресі ISDN двох адрес: адреси ISDN прикордонного пристрою, наприклад того, що з'єднує мережу ISDN з мережею X.25, і адреси вузла мережі X.25. Адреси мають розділятися спеціальним роздільником. Дві адреси використовуються в два етапи. Спочатку мережа ISDN устанавлює з'єднання каналу, що комутується, із прикордонним пристроєм, приєднаним до мережі ISDN, а потім передає йому другу частину адреси для з'єднання цього пристрою з необхідним абонентом.

## 12.6. Стек протоколів і структура мережі ISDN

Мережа ISDN складається з каналів типу *B* і *D* (рис. 12.9).

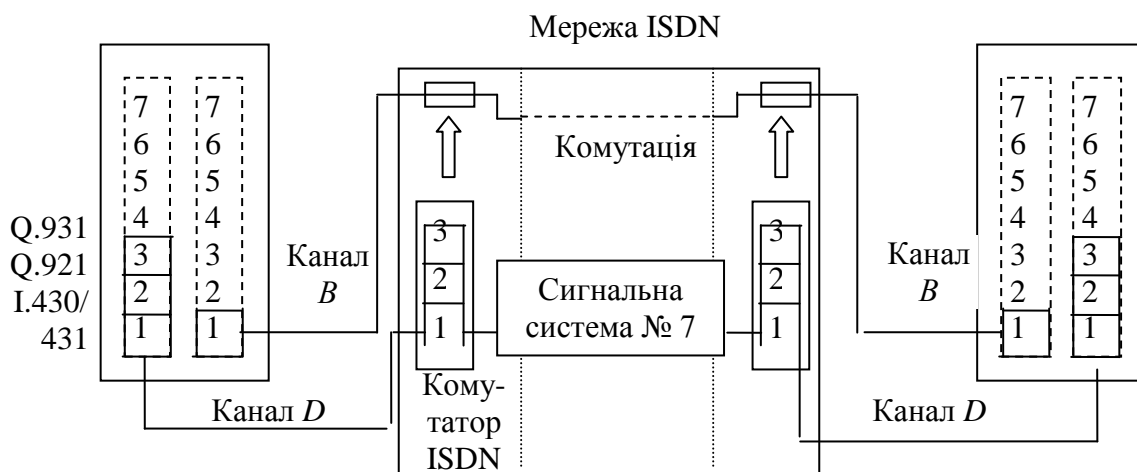


Рис. 12.9. Структура мережі ISDN

Канали типу *D* призначені для управління і створюють мережу з комутацією пакетів.

Для мережі каналів *D* визначені три рівні протоколів:

- протокол мережного рівня Q.931 – це визначений ІТУ-Т набір (стек, група) пакетів сигналізації “користувач – мережа”, що використовується для створення, управління і припинення запитів послуг ISDN;
- протокол каналного рівня Q.921, що забезпечує для мережного рівня сервіс доставки, вільний від помилок. Для каналу сигналізації (управління) це дуже важливе;
- протокол фізичного рівня I.430/431, що визначає електричні і механічні характеристики інтерфейсу і каналів сигналізації мережі ISDN.

Використовувані в цих протоколах сигнальні пакети визначають:

- тип запитуваного сервісу (канал, пакет, кадр);
- канали, використовувані для передавання;
- характеристики сервісу (як і для чого він призначений);
- статус з’єднання.

Сигнальна (керуюча) інформація передається мережею, що цілком відділена від мереж передачі користувацьких даних. Вона дозволяє швидко встановлювати і завершувати з’єднання, не використовуючи для цього смугу пропускання користувацького каналу зв’язку. Іншою особливістю є те, що каналом *D* пересилається інформація, пов’язана з додатковими послугами, до яких належать:

- сигналізація “абонент – абонент” у ході виклику і з’єднання;
- формування замкнених абонентських груп;
- визначення лінії, з якої робиться виклик;
- інформування станції призначення про кількість цифр і спосіб їх відправлення;
- переадресація виклику.

Мережа каналів типу *D* усередині мережі ISDN служить транспортною мережею з комутацією пакетів для системи сигналізації № 7 (SS7), розробленої для моніторингу й управління комутаторами Тлф мережі загального користування. SS7 належать до прикладного рівня моделі OSI.

Канали типу *B* створюють мережу з комутацією цифрових каналів. Для них визначений тільки протокол фізичного рівня (протокол I.430/431). Комутація *B*-каналів відбувається за вказівками, отриманими *D*-каналом. Коли пакети, що надходять *D*-каналом, проходять через комутатор, то відбувається одночасна комутація чергової частини складеного каналу (див. рис. 12.9) від вихідного абонента до кінцевого.

## 12.7. Розвиток ISDN і використання її служб

Наприкінці 80-х років XX ст. у США і деяких інших країнах було введено кілька пробних мереж ISDN. Випробування підтвердили перспективність

проекту, але до середини 90 років мережі ISDN складали в США лише кілька відсотків від кількості всіх Тлф мереж. Це було пов'язано з високою вартістю і складністю технології, відставанням у розробленні стандартів, великою кількістю їх версій. Однак у 2001 році мережі ISDN покривали вже 90% території США.

Згодом стала позначатися обмеженість швидкості пересилання інформації величинами:

- 128 кбіт/с при використанні 2-х В-каналів методом початкового доступу;

- 1472 кбіт/с при використанні всіх 23-х В-каналів методом основного доступу.

Нині мережі ISDN застосовуються:

- як цифрові Тлф мережі;

- для об'єднання декількох локальних мереж за допомогою служби комутації каналів;

- як транзитна мережа, що зв'язує абонента мережі X.25 за допомогою D-каналу з основною мережею X.25 (рис. 12.10);

- для організації відеоконференції, що вимагають швидкості пересилання даних 512 кбіт/с;

- для перегляду практично без затримок сторінок Internet, передавання цифрової звукової інформації, відеокліпів, графіків і текстів, для чого необхідна швидкість передавання 128 кбіт/с.

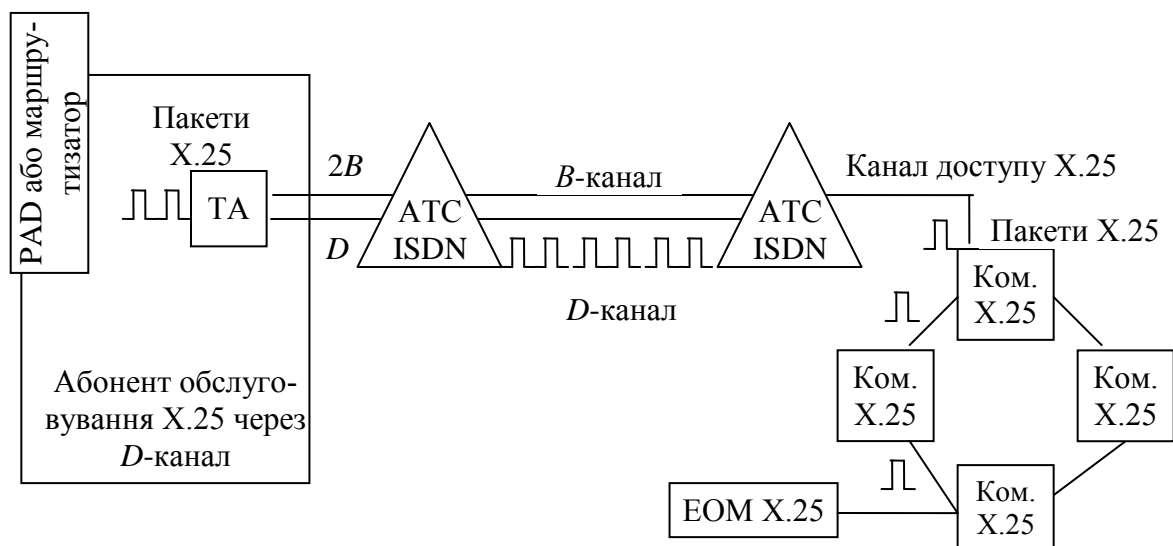


Рис. 12.10. Доступ до мережі X.25 через канал типу D мережі ISDN

Однак ISDN зв'язок не став популярним у індивідуальних користувачів. За перспективністю він помітно поступається абонентським цифровим лініям (DSL) і кабельним модемам. Але ISDN мережі стали ширше застосовувати



урядові, академічні і комерційні структури для проведення відеоконференцій.

Розробники мереж ISDN не розглядають їх як гарний засіб для створення магістралі через відсутність швидкісної служби комутації пакетів і невисоку швидкість пересилання інформації в каналах, наданих кінцевим користувачам. Нині користувачі зацікавлені у новітніх технологіях.

*Отже*, ISDN виявилася революційною концепцією для інтеграції передавання різних видів зв'язку одним інтерфейсом. На момент її розроблення технологія ISDN була кращою з доступних, але нині вона вже не є найсучаснішою, а сьогоденні новітні технології (цифрові абонентські лінії xDSL і кабельні модеми) серйозно конкурують з нею.

У конкурентній боротьбі її позиції послабляло:

- відставання в створенні погоджених стандартів ISDN від практичних потреб, що не сприяло швидкому і широкому впровадженню технології;
- більш дорогий порівняно з xDSL технологією доступ до Internet;
- низька, за сучасним уявленням, пропускна спроможність, обмежена каналом 64 кбіт/с чи комбінацією таких каналів;
- складність технології.

Однак, незважаючи на появу перспективніших технологій, технологія ISDN залишається значущою і все ще використовуваною технологією. Концепція інтеграції видів зв'язку – невмируща і з успіхом реалізується новітніми технологіями.

## 13. Технології побудови глобальних мереж з комутацією пакетів

Потреба в обміні даними між мережами, що існували впродовж десятиліть як несумісні чи географічно віддалені, привела до необхідності глобальної стандартизації архітектур мереж пересилання даних. Однією з таких мереж є мережа з комутацією пакетів [5; 23; 26; 41; 44].

### 13.1. Пакетні мережі

Комутація пакетів є новою технологією, яку запропонував Поль Барен у 1962 році. На відміну від технології комутації каналів, заснованої пересиланні даних у реальному часі по виділених каналах, комутація пакетів є технологією спільного використання каналу пересилання даних різними абонентами. При цьому довгі повідомлення розбиваються на стандартні короткі (до 4 *кбайт*) пакети, кожен з яких забезпечується заголовком з адресою пункту призначення, і, можливо, маршрутом. На це затрачується до 10% ємності пакета.

Комутатори повинні виконувати маршрутизацію пакета. Під час комутації пакетів виявляються й усуваються помилки шляхом повторної передачі на вимогу наступного комутатора або кінцевого вузла.

Комутатори повинні мати внутрішню пам'ять. Вона дає можливість зберігати пакет, поки не звільниться порт, необхідний для подальшого відправлення пакета, і не буде отримана квитанція про його нормальну доставку. На це витрачається додатковий час, але в цілому досягається краща завантаженість мережі зв'язку, ніж під час комутації каналів.

Комутація пакетів має деяку подібність і відмінність від комутації повідомлень. Під час комутації повідомлень зменшуються відносні витрати на адресацію, тому що повідомлення мають велику довжину. Через це для їх буферного зберігання в комутаторах має існувати велика за обсягом буферна пам'ять. Це призводить до збільшення затримок у часі і до неможливості використання комутації повідомлень (на відміну від комутації пакетів) в інтерактивних технологіях. Для передачі пакета до пункту призначення необхідні частки секунди, тому комутація пакетів і придатна для використання в інтерактивних технологіях.

## 13.2. Дейтаграмна передача і віртуальні канали

**Пакетна мережа** – особливий вид ТКМ: у ній містяться інтелектуальні вузли комутації. Мережі з комутацією пакетів реалізують одну з двох технологій: технологію дейтаграмної передачі або технологію з установленням віртуального каналу.

У мережі з передаванням дейтаграм (стілників, пакетів, кадрів, сегментів даних) процедура встановлення з'єднання не потрібна. Маршрутизація здійснюється на пакетній основі. Множина пакетів, що належать одному повідомленню, можуть пересуватись мережею за різними маршрутами і досягати пункту призначення непослідовно. Для здійснення незалежної маршрутизації кожен пакет повинний містити у своєму заголовку повну адресу пункту призначення і свій порядковий номер для збирання повідомлення у пункті призначення. Факт отримання пакетів проміжними комутаторами, як правило, не підтверджується, унаслідок чого деякі з них можуть бути загублені. Уся відповідальність за цілісність повідомлення покладається на протоколи транспортного рівня.

*Віртуальний (логічний) канал* – це канал, який користувач вважає реальним і таким, що надається тільки в його підпорядкування, хоча в дійсності фізичний канал, в якому прокладено цей віртуальний канал, розподілений між багатьма користувачами.

У пакетній мережі з установленням віртуального каналу спочатку передається пакет або спеціальна група пакетів з повною адресою пункту призначення, що забезпечує комутацію зв'язків для встановлення з'єднання між пунктами відправлення і призначення. Після прокладання маршруту через мережу (тобто після створення віртуального каналу) наступні пакети передаються ним по черзі один за одним, допоки не буде передане все повідомлення чи поки канал не буде роз'єднаний. Замість повної адреси в наступних пакетах використовується короткий ідентифікатор, який називають номером віртуального каналу, щоб указувати на попередньо встановлений маршрут. На випадок втрати даних черговий вузол сигналізує про це попередньому вузлу спеціальним пакетом, і той повторює передачу загубленого пакета, а одержавши квитанцію, стирає його з буферної пам'яті.

Коли один із користувачів від'єднується (вішає трубку), з'являється спеціальний пакет запиту роз'єднання, що забезпечує демонтаж віртуального каналу.

Слід зазначити, що жодна з цих двох технологій за будь-яких обставин не має абсолютних переваг. Залежно від типу переважаючого трафіка і висунутих вимог: доступності, вартості, безпеки, простоти використання тощо переважатиме використання однієї з двох технологій. Так дейтаграмна технологія може використовуватись під час організації високошвидкісних гло-

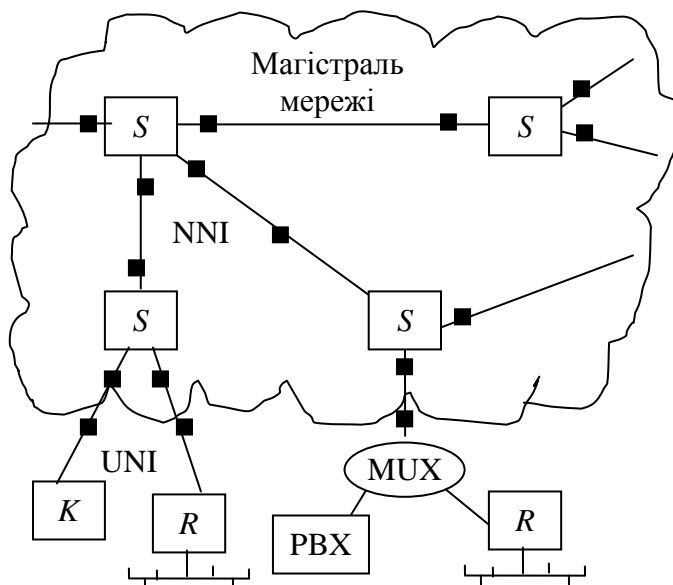
бальних обчислювальних мереж (ATM). Можливе і сполучення цих технологій (доступ у ARPANET, Internet).

### 13.3. Архітектура і термінологія

Сучасна глобальна мережа з комутацією пакетів повинна передавати трафік будь-якого типу: мова, відеозображення, комп'ютерні дані тощо.

**Архітектура** глобальної мережі в найзагальнішому вигляді наведена на *рис. 13.1*, де *S* (switch) – комутатор, *K* – комп'ютер, *R* (router) – маршрутизатор, *MUX* (multiplexor) – мультиплексор, *UNI* (User-to-Network Interface) – інтерфейс користувач – мережа, *NNI* (Network-to-Network Interface) – інтерфейс мережа – мережа, установка АТС позначена аббревіатурою *PBX*, а маленькими чорними квадратами – апаратура пересилання даних (модеми, пристрої узгодження інтерфейсів, термінальні адаптери).

Мережа будується на основі виділених каналів зв'язку, що з'єднані між собою комутаторами.



*Рис. 13.1.* Архітектура глобальної мережі з комутацією пакетів

Розглянемо більш детально деякі засоби цієї мережі.

**Комутатори** є центрами комутації пакетів. На випадок обробки трафіка протоколів мережного рівня їх заміняють *маршрутизатори*. Комутатори встановлюють в тих географічних пунктах, де потрібно зробити відгалуження або злиття потоків даних. Крім того, враховують наявність кваліфікованого персоналу, виділених і резервних каналів.

Зазвичай абоненти підключаються до комутаторів за допомогою виділених каналів з меншою пропускнуною спроможністю.

Можливе підключення і за допомогою каналів, що комутуються, тобто каналів Тлф мереж, але при цьому якість транспортних послуг зазвичай знижується (затримки, розриви, відмовлення, вище рівень шумів). Канали зв'язку глобальних мереж організують з частотним або часовим поділом за технологією PDH чи SDH. Мультиплексори і комутатори цих мереж з'єднують кабельними (мідна вита пара, коаксіал, ВОК) чи безпроводовими лініями зв'язку.

Переваги комутації каналів найбільшою мірою виявляються за наявності великої кількості абонентів з невисоким середнім рівнем трафіка, тому що сумарний потік тоді буде рівномірним, а коефіцієнт навантаження мережі –

високим. Якщо ж абонентів мало і кожен з них створює трафік великої інтенсивності, то рівномірний розподіл пульсацій стає малоймовірним, і для якісного обслуговування абонентів приходится використовувати мережі з низьким коефіцієнтом навантаження.

Глобальні мережі відрізняються від локальних великою різноманітністю кінцевої апаратури пересилання даних DTE (Data Terminal Equipment). Наприклад, для глобальної мережі пристроєм DTE є маршрутизатор, що з'єднує локальну мережу з глобальною, де він виконує роль шлюзу, що трансформує увесь набір пакетів ЛОМ в набір пакетів глобальної мережі. Якщо пакет треба переправити наступному маршрутизатору глобальною мережею, наприклад маршрутизатору мережі Frame Relay, то перший маршрутизатор упаковує його в кадр цієї мережі, наділяє адресою наступного маршрутизатора і відправляє у глобальну мережу.

**Мультиплексори** “голос – дані” призначені для сполучення в одній глобальній мережі комп'ютерного і голосового трафіків. Оскільки розглянута глобальна мережа пересилає дані у вигляді пакетів, то ці мультиплексори упаковують голосову інформацію в кадри чи пакети глобальної мережі і передають їх найближчому комутатору, так само, як це робить маршрутизатор.

Якщо глобальна мережа забезпечує пріоритетне обслуговування, то кадрам голосового трафіка мультиплексор привласнює найвищий пріоритет, щоб комутатори обробляли і просували їх у першу чергу. На іншому кінці глобальної мережі аналогічний мультиплексор відокремлює виміри голосу від комп'ютерних даних. Голосові виміри він направляє на АТС, а комп'ютерні дані надходять через маршрутизатор у локальну комп'ютерну мережу.

**АПД.** Оскільки каналом глобальної мережі мають пересилатися дані визначеного стандарту, то кожен термінальний пристрій (DTE) доповнюється апаратурою пересилання даних (DCE – Data Circuit Terminating Equipment), що забезпечує виконання протоколу фізичного рівня даного каналу. Це можуть бути:

- модеми – під час роботи з аналоговими каналами;
- пристрої обслуговування даних і каналу (DSU/CSU), що формують кадри і забезпечують синхронізацію, – під час роботи з часовим поділом каналів за технологією PDH чи SDH;
- термінальні адаптери – під час роботи з цифровими каналами ISDN.

Зазвичай інтерфейс “користувач – мережа” строго описаний і стандартизований, що позбавляє користувача від проблем у разі підключення його до мережі за допомогою устаткування будь-якого виробника.

Внутрішні протоколи глобальної мережі й інтерфейс “мережа – мережа” не завжди стандартизовані. Це дає змогу творцям глобальної мережі самим вирішувати питання взаємодії внутрішніх вузлів глобальної мережі і територіальних мереж різних операторів. Якщо ж стандарт NNI приймається, то відповідно до нього організується робота всіх комутаторів мережі, а не тільки прикордонних.

Таким чином:

1. Через велику вартість інфраструктури глобальної мережі існує гостра потреба в завантаженні її передачею усіх видів трафіка. Вирішення цього завдання забезпечує технологія комутації пакетів.

2. Через це технології пересилання даних адаптуються для передавання голосу і зображення. Для цього розробляються пристрої, що забезпечують таким видам трафіка пріоритетне обслуговування.

3. Інтерфейс “користувач – мережа” завжди глибоко деталізований і стандартизований, що дає змогу використовувати його для підключення устаткування будь-якого виробника. Інтерфейс “мережа – мережа” деталізується не так ретельно, що надає творчу свободу користувачам глобальних мереж.

### 13.4. Комплекси, що реалізують технологію X.25

Глобальні мережі, що побудовані з використанням каналів низької якості, потребують складних процедур контролю і відновлення даних. Типовим прикладом таких мереж є мережі X.25, розроблені на початку 70-х років ХХ ст., коли для з'єднання комп'ютерів з комутаторами глобальних мереж використовувалися переважно низькошвидкісні канали, орендовані у Тлф компаній.

У глобальних мережах, що рідко мають регулярну топологію, каналний рівень часто забезпечує обмін повідомленнями тільки між двома сусідніми комутаторами, з'єднаними індивідуальною лінією зв'язку. А для доставки повідомлень між кінцевими вузлами через усю мережу використовують засоби мережного рівня. Саме так організовані мережі X.25.

**Призначення і загальна характеристика.** Мережі X.25 є першими застосовуваними на практиці пакетними мережами. Тривалий час вони разом з Internet були єдиними доступними мережами з комутацією пакетів. Важливою перевагою цих мереж є їх нормальна робота на ненадійних лініях зв'язку, завдяки протоколам із установленням з'єднань і корекцією помилок на двох рівнях – каналному і мережному. Стандарт X.25 був розроблений комітетом ССІТТ у 1974 році, ратифікований у 1976 році і кілька разів переглядався. Він якнайкраще підходить для передавання трафіка низької інтенсивності, характерного для терміналів, і меншою мірою відповідає вищим вимогам трафіка локальних мереж.

За основами стандартів рекомендації X.25 вирішені найповніше. Стандарт X.25 не описує внутрішнього устрою мережі X.25, а лише визначає користувачський інтерфейс із мережею. Тобто стандарт X.25 описує протоколи фізичного, каналного і мережного рівнів інтерфейсу DTE – DCE під час передавання через шлюз мережі з комутацією пакетів. На *рис. 13.2* це проілюстровано за аналогією з Тлф мережею.

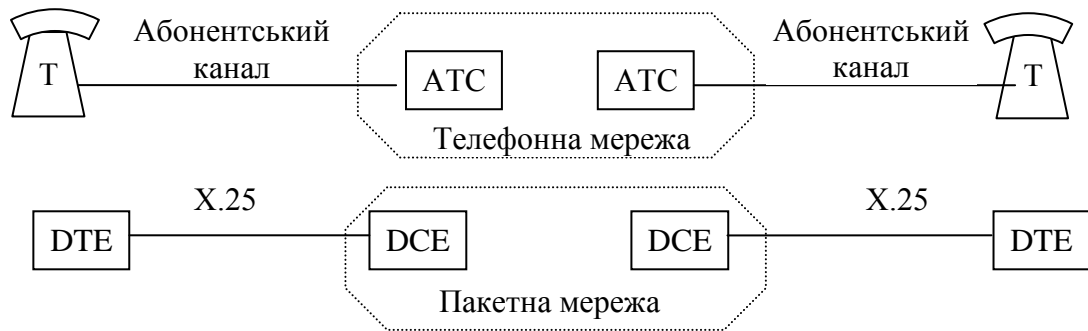


Рис. 13.2. Аналогія між X.25 і загальними стандартами абонентських каналів

На фізичному рівні стандарту X.25 застосовується протокол X.21 (або X.21bis), у якому описаний 15-контактний синхронний інтерфейс, дуплексний режим і швидкості від 300 *біт/с* до 1,544 *Мбіт/с*.

На каналному рівні використовується протокол управління каналом (Link Access Procedure Balanced – LAPB) (рис. 13.3), у якому передбачені механізми встановлення послідовності пакетів, управління потоком даних, контроль за помилками тощо.

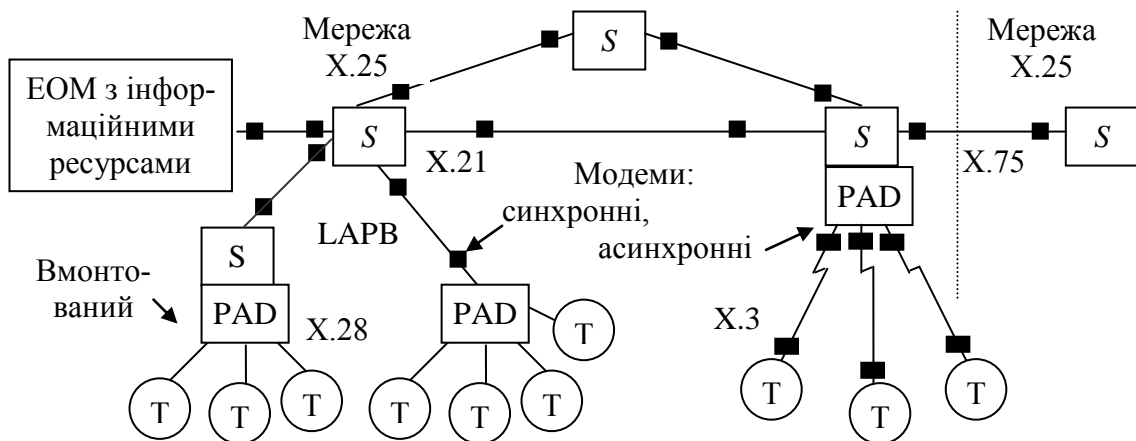


Рис. 13.3. Структура мережі X.25

На мережному рівні також використовується протокол збалансованої процедури доступу до каналу LAPB, у якому визначені структура пакета, його типи: інформаційний, управління, індикації стану, діагностики. Структура пакета: заголовок не менш ніж 3 *байта*, користувацькі дані, максимальна кількість яких визначається постачальником, але, як правило, вона становить 128 *байт*.

Стандарт X.25 надає користувачу можливість запити нестандартного розміру пакета чи нестандартного розміру вікна під час з'єднання. Мета – підвищення швидкості пересилання інформації в окремо взятому віртуальному з'єднанні.

Технологія X.25 має кілька істотних відмітних ознак щодо інших технологій, а саме:

- наявність у структурі спеціального пристрою PAD (Packet Assembler – Disassembler), призначеного для збирання декількох низькошвидкісних старто-стопних потоків байтів від аналого-цифрових терміналів у пакети, що передаються мережами і направляються комп'ютерам для оброблення. Цей пристрій має україномовну назву *збирач-розбирач пакетів*;

- наявність трирівневого стека (набору) протоколів з використанням на каналному і мережному рівнях протоколів, що забезпечують установаження з'єднання, керують потоками даних і виправляють помилки;

- орієнтація на однорідні стеки транспортних протоколів у всіх вузлах мережі. Мережний рівень розрахований на роботу тільки з одним протоколом каналного рівня і не може, на відміну від протоколу IP, поєднувати різно-рідні мережі.

Взаємодію двох мереж X.25 визначає стандарт X.75.

**Структура комплексу.** Мережа X.25 складається з комутаторів (S, Switches), розташованих у різних географічних точках і з'єднаних порівняно високошвидкісними аналоговими чи цифровими виділеними каналами (див. рис. 13.3).

Асинхронні старто-стопні термінали підключаються до мережі через збирач-розбирач пакетів PAD, який може бути вмонтованим у комутатор або відокремленим і віддаленим від нього. Термінали T отримують доступ до PAD Тлф мережею за допомогою модемів з синхронним чи асинхронним інтерфейсом. Один збирач-розбирач пакетів обслуговує 8, 16 чи 24 асинхронних термінали.

**Принцип дії комплексу.** До основних функцій збирача-розбирача пакетів належать:

- збирання символів, отриманих від асинхронних терміналів, у пакети;
- розбирання полів даних пакетів і виведення їх на асинхронні термінали;
- управління процедурами встановлення з'єднання і роз'єднання в мережі;
- пересилання даних, за вимогою асинхронного терміналу, для перевірки на парність;
- просування пакетів у міру їх заповнення, закінчення часу очікування та ін.

Термінали не мають кінцевих адрес мережі X.25. Адреси призначаються порту збирача-розбирача пакетів, що підключений до комутатора, і порту, до якого підключений термінал.

Стандарт X.28 визначає параметри терміналу і протокол його взаємодії зі збирачем-розбирачем пакетів.



**Режими роботи.** Під час роботи користувача на терміналі реалізуються два режими: управління і пересилання даних. У режимі управління здійснюється адресація, заноситься мітка пріоритету, здійснюється контроль за символами, що набираються, після повернення луна-сигналів зі збирача. Після натискання клавіш Ctrl + P збирач-розбирач сприймає усі наступні символи як дані, що необхідно передати в пакеті X.25 вузлу призначення, тобто відбувається перехід до режиму пересилання даних.

По суті в режимі управління встановлюється з'єднання збирача-розбирача з потрібним комп'ютером, а в режимі пересилання даних ведеться діалог з його операційною системою: запускаються потрібні програми, проглядаються результати їх роботи на терміналі користувача.

Комп'ютери і локальні мережі зазвичай підключаються до мережі X.25 через адаптер чи маршрутизатор X.25. Для управління в мережі збирачем-розбирачем пакетів існує протокол X.29, за допомогою якого комп'ютер може дистанційно керувати і змінювати його конфігурацію.

Комп'ютери, які підключені безпосередньо до мережі, за потреби пересилання даних не користуються послугами збирача-розбирача пакетів, а самі встановлюють віртуальні канали і передають ними дані в пакетах X.25.

Мережа може бути включена до складеної мережі незалежно від того, якою кількістю рівнів описується її технологія. Так, наприклад, хоча переміщення даних у мережі X.25 забезпечує реалізація протоколів фізичного, каналного і мережного рівнів, стек (набір) протоколів TCP/IP розглядає мережу X.25 поряд з іншими типами мереж як засіб транспортування пакетів IP між двома прикордонними маршрутизаторами (шлюзами). Рівень мережних інтерфейсів для цієї технології є способом перетворення пакета IP у пакет X.25, а також засобом перетворення мережних адрес IP в адреси X.25.

Стандарт X.25 описує дві обов'язкові послуги: віртуального виклику і постійного віртуального каналу.

**При віртуальному виклику** встановлюється віртуальне з'єднання між логічним каналом, що йде від терміналу, який викликає, і логічним каналом, що йде до викликуваного терміналу, після чого можуть пересилатися пакети. Функціонально це виглядає аналогічно замовленню розмови по телефону. Установка і розрив віртуального з'єднання здійснюється за допомогою спеціальних пакетів, що зазвичай не містять даних.

З'єднання, що забезпечує такий сервіс, називається *віртуальним*, оскільки в мережі не існує фіксованого маршруту. Мережна логіка передає зазначений номер логічного каналу одного DTE логічному каналу іншого DTE (в одному інтерфейсі DTE одночасно може бути багато активних логічних каналів). Після установки віртуального з'єднання, наприклад, між логічним каналом 319 одного DTE і логічним каналом 14 іншого DTE у заголовках пакетів досить посилатися тільки на номери цих каналів. Інтелектуальна мере-

жа підтримує зв'язок між DTE, завдяки чому вони можуть обмінюватися пакетами даних.

Відмітною особливістю **постійного віртуального каналу** є його встановлення за письмовим запитом до постачальника послуг і робота до моменту скасування також за письмовим повідомленням.

У DTE з інтерфейсом X.25 одночасно може існувати багато активних логічних каналів. Одні з них можуть використовуватися як постійні віртуальні канали, інші – для забезпечення віртуальних викликів за потреби. Але в будь-якому варіанті пакети мають доставлятися у заданому порядку, навіть якщо фізичний маршрут змінюється внаслідок завантаженості чи збою каналу. Для цього у разі одержання пакета “Одержувач не готовий” (RNR) Прд мають зупинити пересилання даних і тільки після одержання наступного пакета “Одержувач готовий” (RR) Прд може відновити передачу.

Від обов'язкового сервісу не залежать контроль за помилками і діагностика.

**Адресація в мережах X.25.** Якщо мережа X.25 не пов'язана з іншими мережами X.25, то вона може використовувати адресу будь-якої довжини в межах формату поля адреси 16 *байт* і надавати адресам довільних значень. Для виконання місцевого виклику зазвичай використовують меншу кількість цифр.

Якщо мережа призначена для обміну даними з іншими мережами X.25, то в ній потрібно дотримуватись адресації стандарту X.121.

Адреси X.121 є міжнародними, мають різну довжину, що може сягати 14 десяткових знаків. Перші 4 цифри є кодом – ідентифікатором мережі, у тому числі перші 3 цифри визначають країну, а четверта – номер мережі в цій країні. Якщо в країні більш як 10 мереж X.25, то їй виділяють ще один код – ідентифікатор мережі. Інші 10 цифр адреси визначають номер національного терміналу DTE. Код області призначає організація усередині країни, уповноважена на це, а іншу частину адреси призначає адміністратор мережі.

Міжнародні мережі X.25 можуть також використовувати міжнародний стандарт нумерації абонентів ISO 7498, в якому для нумерації мереж X.25 до адреси у форматі X.121 додається спереду ще один байт, і префікс несе код:

- 36 – у разі використання в адресі тільки десяткових цифр;
- 37 – у разі використання в адресі довільних двійкових комбінацій.

Цей код дозволяє універсальним комутаторам, наприклад комутаторам мережі ISDN, що підтримують також і комутацію пакетів X.25, автоматично розпізнати тип адреси і правильно виконати маршрутизацію запиту на з'єднання.

Таким чином, технологія X.25 є однієї з найстаріших і відпрацьованих технологій глобальних пакетних мереж. Трирівневий стек протоколів мереж X.25 добре працює на ненадійних зашумлених каналах зв'язку, виправляючи помилки і керуючи потоком даних на каналному і мережному рівнях.

Мережі X.25 підтримують групове підключення до них простих алфавітно-цифрових терміналів за рахунок включення до мережі збирачів-розбирачів пакетів, кожен з яких є особливим видом термінального сервера.

На надійних волоконно-оптичних каналах технологія X.25 стає надлишковою і неефективною, тому що значна частина роботи її протоколів здійснюється даремно.

Останнім часом у деяких географічних областях (Північна Америка) технологію X.25 замінив Internet. Проте мережа X.25 поки ще залишається однією з трьох (поряд з мережами Internet і PSTN) найбільш поширених мереж земної кулі.

Найважливішою є роль, яку відіграв стандарт X.25 як прототип розроблення подальших сучасних стандартів і протоколів. Ретрансляція кадрів (Frame Relay) є прямим наслідком технології X.25, а технологія АТМ, у свою чергу, має корені в технології ретрансляції кадрів.

### **13.5. Комплекси, що реалізують технологію ретрансляції кадрів (Frame Relay)**

**Призначення і загальна характеристика.** Мережі за стандартом X.25 набули значного поширення, однак у 90-і роки ХХ сторіччя методи контролю й управління, закладені у цей стандарт, стали гальмувати розвиток комплексів пересилання даних на базі ВОК.

Застосування ВОК привело до зменшення імовірності помилки в пересиланні біта з  $10^{-5}$  до  $10^{-9}$ , що зробило зайвими:

- численні перевірки кожного пакета у кожному комутаторі на наявність помилок;
- низку процедур управління потоком даних (запитів на повторну передачу, на призупинення передачі, на поновлення передачі).

Але ж ці перевірки і процедури заважали розвинути високу швидкість пересилання даних у ВОК.

Усунення зазначених перевірок і зайвих процедур управління привело до створення у 90-і роки ХХ ст. сучаснішої технології і різновиду мережі зі швидкою комутацією пакетів, названою *мережею з ретрансляцією кадрів* (Frame Relay чи FR). У такій мережі максимальна швидкість пересилання даних у мережі доступу зросла до 45 Мбіт/с, що істотно перевищило можливості мережі X.25, у якої швидкість пересилання даних становить 64 кбіт/с.

Зараз технологія і мережі FR найбільш поширені завдяки їх економічній ефективності. За наявності якісних ліній зв'язку для перетворення мережі X.25 у мережу FR достатньо замінити програмне забезпечення маршрутизаторів і модернізувати програмно-апаратне забезпечення системи комутації кадрів. Потреби у створенні зовсім нової інфраструктури немає.

**Основна відмінність між мережами FR і X.25** стосується областей функціонування протоколів контролю за помилками, ігнорування даних і управління потоком даних.

Завдяки оптимізації протоколів комутації, кожен комутатор FR тільки читає адреси і передає кадри на відповідні порти, не виконуючи перевірок на наявність помилок, як це робилося в мережі X.25. Це істотно зменшує час проходження пакета через комутатор. Крім того, якщо на комутатор подається занадто інтенсивний потік даних, то частину кадрів він може проігнорувати через перевантаження. У мережі X.25 це викликало б зворотний потік керуючих даних з вимогою знизити швидкість передачі.

Завдяки різкому зменшенню часу проходження кадру в мережі FR стало можливим передавання оцифрованих мовних сигналів і факсів, що дало змогу знизити вартість передавання мовної інформації приблизно до одного цента за хвилину. Вартість устаткування для передавання мовних сигналів окупається впродовж трьох років. Крім того, на відміну від технології X.25 в технології FR:

- використовується окремий канал для створення і розриву всіх віртуальних каналів інтерфейсу;
- швидкість пересилання інформації в мережах доступу можна змінювати від 16 *кбіт/с* до 45 *Мбіт/с*;
- можна використовувати кадри різної довжини до 1024 *байт*, а в деяких мережах до 4 і 8 *кбайт*.

Експлуатація мереж FR почалася наприкінці 90-х років XX ст.

**Структура і принцип дії комплексу.** Типова схема підключення комп'ютерів локальної обчислювальної мережі (ЛОМ) до мережі FR зображена на *рис. 13.4*. Будь-який її пристрій (буферний процесор, мультиплексор, маршрутизатор) може бути встановлений у приміщенні користувача. Розглянемо ці пристрої більш детально.

*Маршрутизатор і FRAD.* Для перетворення даних, що пересилаються з терміналів, які не відповідають вимогам мережі FR, у кадри, що придатні для передавання цією мережею, використовується *маршрутизатор* або *пристрій доступу до мережі FRAD* (Frame Relay Access Device). FRAD аналогічний збирачу-розбирачу пакетів PAD у мережі X.25. Основна його відмінність від маршрутизатора полягає в такому:

- FRAD розроблений для виконання таких спеціальних завдань, як об'єднання даних від менш швидкісних джерел і оцифрованих мовних сигналів у кадри мережі FR;
- маршрутизатор є могутнішим пристроєм, що виконує, зокрема, функції, для виконання яких призначений FRAD.



Рис. 13.4. Складові мережі Frame Relay

*Модуль обслуговування каналу і даних CSU/DSU (Channel Service Unit/Data Service Unit) перетворює уніполярні ЦС у біполярний формат для передавання локальною цифровою мережею доступу.*

*Місцева лінія доступу* проводиться до Тлф станції, де вона приєднується до устаткування провайдера FR – постачальника послуг далекого зв'язку.

*Транспортна мережа.* Основне призначення транспортної мережі FR полягає у виконанні функції зв'язкової ланки між кінцевими вузлами відомчої або корпоративної мережі. При цьому можливі три варіанти її організації:

1. Власна мережа на основі виділених ліній: організація орендує лінії зв'язку, купує необхідне обладнання (мультиплектори, комутатори, маршрутизатори тощо). У цьому варіанті мережа є її власністю і перебуває під її повним контролем і управлінням.

2. Віртуальна власна мережа: організація купує послуги у провайдерів, створює на їх основі відомчу чи корпоративну мережу і здійснює над нею повний контроль та адміністративне управління.

3. Укладання угоди між організацією і провайдером про створення та управління мережею в інтересах цієї організації. На такій основі у світі працює 30% корпоративних мереж. Причиною цього є нездатність цих організацій самостійно керувати складною в експлуатації корпоративною мережею.

Подібно пакетній мережі X.25, мережа FR дає змогу пересилати дані у різні пункти призначення по одній виділеній лінії. Щоб краще зрозуміти цю концепцію, розглянемо мережу FR з чотирма кінцевими вузлами (рис. 13.5, а). У цьому прикладі організація, що має чотири географічно віддалені ЛОМ, установила чотири корокіх ліній доступу до мережі FR, кожна з яких зв'язує місцеву ЛОМ із постачальником послуг далекого зв'язку мережею FR.

За потреби обміну даними між ЛОМ мережу FR, що надана постачальником послуг далекого зв'язку, використовують для забезпечення віртуальних каналів між будь-якими ЛОМ. Варто зазначити, що для обміну даними між ЛОМ необхідно мати 4 виділених ліній доступу і 4 маршрутизатори з двома портами кожен для обслуговування відповідної ЛОМ.



**Контроль за навантаженням.** У 90-і роки ХХ ст. була розроблена технологія ретрансляції кадрів FR, на основі якої була побудована мережа без прискіпливого контролю за помилками і доставкою. Оскільки FR була зорієнтована на встановлення з'єднання, то кадри доставлялись у правильному порядку (якщо доставлялись взагалі). Ці три властивості, а саме: відсутність прискіпливого контролю за помилками, відсутність контролю за доставкою і доставка кадрів нормальним порядком зробили мережу з ретрансляцією кадрів аналогічною глобальній за охопленою територією і локальною за принципом дії. Вона широко застосовується для з'єднання локальних мереж.

*Три біти* в заголовку кадру визначають стан можливого перевантаження.

Біт можливості ігнорування мережа встановлює автоматично, коли швидкість пересилання даних перевищує так звану погоджену середню швидкість пересилання даних CIR за час осереднення  $T$  (рис. 13.7, на якому  $V_c$  – погоджений об'єм інформації, що може бути передана за час  $T$ ,  $V_e$  – припустиме перевищення об'єму  $V_c$  за час  $T$ ). Якщо фактичний об'єм інформації, що надійшла за час  $T$ , перевищує  $V_c$  менше, ніж на  $V_e$ , то останні кадри тільки помічаються бітами можливості ігнорування, інакше відкидаються. Кадри, що помічені бітами можливості ігнорування, можуть бути проігноровані будь-яким наступним комутатором, що потерпає перевантаження.

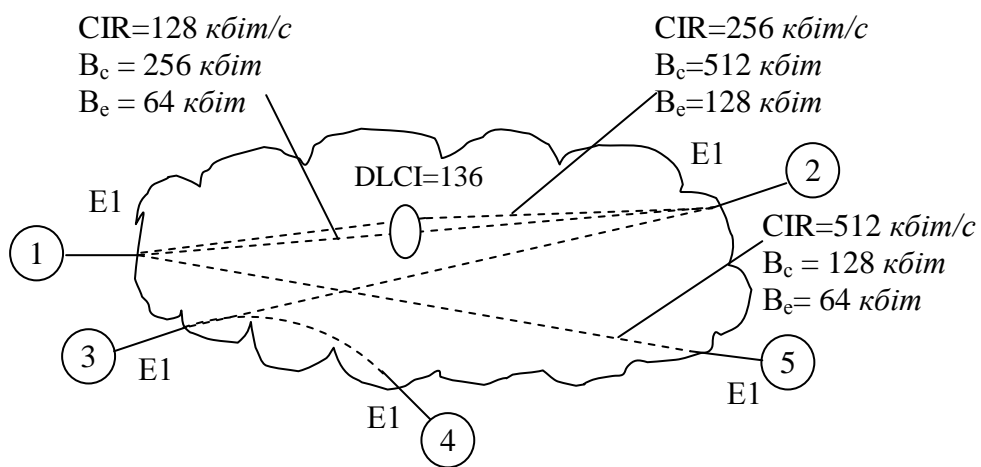


Рис. 13.7. Приклад використання мережі Frame Relay

Біти повідомлення про перевантаження вказують на необхідність зменшення швидкості пересилання даних до мережі FR, що дає змогу зменшити навантаження заздалегідь, не вдаючись до ігнорування кадрів.

**Використання мереж FR.** Пропускна (корисна) спроможність залежить від якості каналів зв'язку і методів відновлення кадрів.

Якщо канали якісні, то кадри рідко губитимуться і спотворюватимуться, а швидкість їх відновлення на транспортному рівні виявиться цілком прийнятною.

Якщо кадри часто губитимуться і спотворюватимуться, то корисна пропускна спроможність у мережі FR може зменшитися в десятки разів, як це і відбувається в мережах Ethernet при незадовільному стані кабельної системи. Тому технологію FR варто застосовувати тільки за наявності на магістральних каналах ВОК високої якості. Канали доступу можуть бути на витій парі, але апаратура пересилання даних має забезпечувати низький рівень спотворень – не гірше ніж  $10^{-6}$ .

Основною причиною стримування застосування для передачі голосу мережі FR є відсутність гарантій на величину затримок під час передавання голосових повідомлень, коли затримки більші за 0,25 с – неприпустимі.

Передача відеозображень гальмується недостатньою швидкістю доступу – (це інша відмінність мереж FR від мереж АТМ).

Найперспективнішими напрямками застосування технології FR є такі:

- передавання графічної інформації високої якості;
- пересилання файлів великого розміру;
- мультиплексування низькошвидкісних потоків у високошвидкісний;
- передавання інтерактивного трафіка з використанням коротких кадрів

для зменшення часу затримання.

На відміну від технології Х.25, у технології FR відсутність помилок контролюється без вимоги повторної передачі. Це істотно скорочує час на оброблення кадрів у вузлах мережі. Ще одним спрощенням є скасування процедур маршрутизації: всередині мережі задається адреса не кінцевого абонента, а тільки найближчого вузла.

У FR визначені два типи інтерфейсів:

- UNI (user – to – network – interfase) для взаємодії користувача з мережею;
- NNI (network – to – network – interfase) для взаємодії мереж (рис. 13.8).

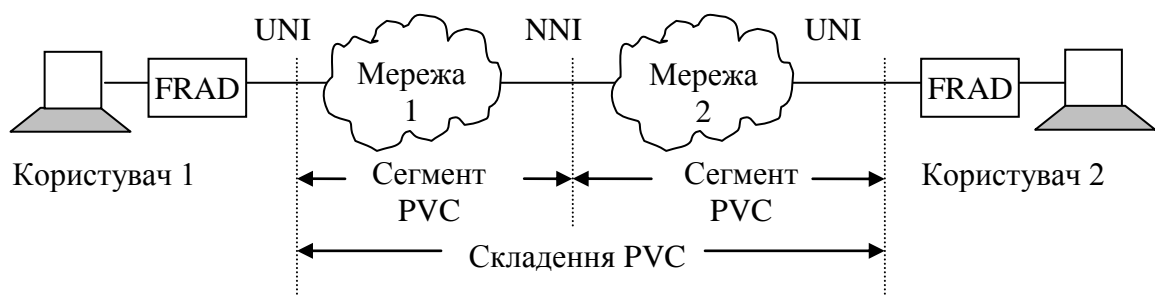


Рис. 13.8. Приклад з'єднання мереж Frame Relay

Для доступу користувача до мережі FR використовують пристрій FRAD. У мережі використовують віртуальні з'єднання двох типів: постійне PVC і комутоване SVC. Дані користувача передаються за номером ідентифікатора віртуального каналу DLSI (Data Link Connection Identifier), який присвоєно каналу внаслідок встановлення з'єднання на підставі повної адреси, записаної в заголовку першого кадру. Фізично підключення до мережі FR здійсню-



ється через синхронний порт зі швидкістю від 9,6 до 64 *кбіт/с* і вище. Користувач може одночасно використовувати декілька віртуальних (логічних) каналів, позначених різними фіксованими DLSI, що теж спрощує оброблення у вузлах комутації. DLSI передавання і прийняття теж можуть бути різними (рис. 13.9).

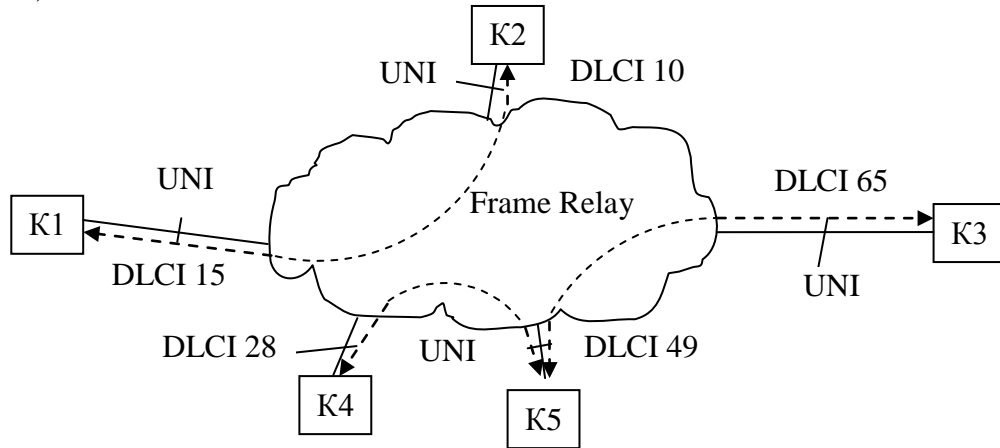


Рис. 13.9. Схема використання ідентифікатора каналу передачі даних DLCI у мережі Frame Relay

Важливою перевагою технології FR є наявність функції управління потоком даних, що дає змогу обмежувати прийняття даних відправника та уникати перевантажень мережі та втрат кадрів. Перевантаження – це дуже серйозна проблема, тому в технології FR на крайній випадок передбачений механізм стирання менш важливої частини трафіка. Приймаючи таке рішення, враховують значення бітів пріоритетності, що є серед службових бітів заголовка кадру.

Кожен ідентифікатор віртуального каналу DLSI забезпечує логічне з'єднання з визначеним об'єктом. DLSI розділяють загальний фізичний канал і конфігуруються таким чином, щоб забезпечити високий рівень продуктивності та якості обслуговування.

До додаткових можливостей мережі FR належать:

- групове передавання, що дає змогу відправити кадр кільком абонентам. Цей режим істотно розвантажує мережу, завдяки виключенню кадрів-дублікатів;

- багатопроTOCOLьна інкапсуляція, завдяки якій одним віртуальним каналом можна передавати різні види трафіка (вставляти в кадри FR пакети X.25, Internet та ін.). Інкапсуляцію можна здійснювати у будь-яких вузлах;

- симплексне мовлення по односпрямованому постійному віртуальному з'єднанню (PVC), при якому можлива організація несиметричної роботи, наприклад, передавання запитів низькошвидкісним каналом і отримування відповідей високошвидкісним каналом під час роботи з Web-site (Internet).

**Новітні розробки в технології Frame Relay.** Нині намітилися такі шляхи розв'язання питань, що виникають у процесі передавання голосу:

– використання технологій стискання звуку з малою витратою бітів на вибірку;

– присвоєння кадрам, що переносять дані вимірів голосу, вищого рівня пріоритету, унаслідок чого магістральні комутатори мають обробляти їх у першу чергу;

– недовантаження мережі, що передає дані звукових вимірів, завдяки чому в комутаторах не виникатимуть черги;

– передавання звукових вимірів в кадрах невеликих розмірів. Інакше на якість передавання голосу впливатимуть, так звані, затримки пакетування.

Для стандартизації механізмів якісного передавання голосу була випущена специфікація FRF.11. Однак вона не вирішила усіх проблем, тому робота зі стандартизації продовжується.

Уводяться пріоритети щодо кадрів пересилання даних. Наприклад, постачальник послуг може ввести три рівні пріоритету з різною затримкою кадрів у часі і з різною оплатою. Для передавання мови абонент може вибрати вищий пріоритет, для пересилання файлів – найнижчий.

У мережі FR за допомогою мостів можна вдало об'єднати ЛОМ (див. рис. 13.8), але частіше доступ до мереж реалізують не мости чи маршрутизатори, а простіші пристрої доступу FRAD.

До недавнього часу основним призначенням мереж FR було об'єднання ЛОМ та їх ефективне використання. Природа застосовності ЛОМ вимагає пропускну спроможності більшої, ніж може забезпечити інтерфейс X.25, а технологія FR є відмінним компромісом, тому що має високу пропускну спроможність за розумною ціною.

Пересилання факсимільних повідомлень стало можливим після заміни ліній доступу 9,6 кбіт/с на 56 кбіт/с.

Невирішеними проблемами поки що залишаються:

– управління мережею ретрансляції кадрів;

– вартість і гарантії сервісів, що пропонують постачальники послуг.

Таким чином:

1. У 90-і роки ХХ ст. методи контролю й управління, що закладені стандартом X.25, почали гальмувати розвиток нових комплексів зв'язку, якими стали волоконно-оптичні системи передачі.

2. У зв'язку з надзвичайно низькою імовірністю помилок у пересиланні біта інформації ( $10^{-9}$ ) у таких комплексах відпала необхідність жорсткого контролю за правильністю передавання каналом зв'язку кожного пакета.

3. Це дало можливість у новому типі мереж FR усунути перевірки, спростити управління й істотно збільшити швидкість пересилання інформації.

4. Тим самим поліпшилися умови для передавання факсів і оцифрованої мовної інформації, які не припускають затримок.

5. Мережі ретрансляції кадрів (FR) є різновидом мереж з комутацією пакетів. Порівняно з технологією X.25 FR працюють за дуже спрощеною технологією. Кадри передаються тільки за протоколами канального рівня LAP-F, відповідно до якого контроль за помилками та управлінням потоком зведені до мінімуму. Кадри під час передавання через комутатор не піддаються перетворенням, через що технологія й одержала свою назву.

6. Важливою особливістю технології FR є концепція резервування пропускної спроможності під час прокладання в мережі віртуального каналу. Мережі FR створювалися спеціально для передавання пульсуючого комп'ютерного трафіка. Тому для забезпечення їх нормального функціонування під час резервування пропускної спроможності вказують погоджену середню швидкість пересилання даних CIR і погоджену величину пульсацій (див. рис. 13.7).

7. Мережа FR гарантує витримування замовлених параметрів якості обслуговування за рахунок попереднього розрахунку можливостей кожного комутатора, а також відкидання кадрів, що порушують угоду про трафік, тобто посилаються в мережу занадто інтенсивно.

8. Більшість перших мереж FR підтримували тільки службу постійних віртуальних каналів, а служба віртуальних каналів, що комутуються, стала застосовуватися на практиці нещодавно.

9. Останнім часом намітилися також такі шляхи розв'язання завдання щодо передавання мережами FR голосової інформації: за рахунок стиску голосу, пріоритетного його передавання, передавання недовантаженими каналами і кадрами невеликих розмірів.

10. Ретрансляція кадрів (FR) переживає період стрімкого росту в індустрії телекомунікацій. Вона є однією з провідних глобальних мереж для з'єднання ЛОМ і організації доступу до Internet.

### **13.6. Комплекси, що орієнтовані на використання асинхронного режиму передачі (АТМ)**

Мережна технологія асинхронного режиму передачі (Asynchronous Transfer Mode – АТМ) швидко розвивається. Вона дає змогу передавати дані, оцифровану відеоінформацію, голосову та іншу інформацію. Використовуючи єдиний формат, абоненти на обох кінцях з'єднання можуть за допомогою АТМ обмінюватися інформацією будь-якого типу.

**“Асинхронна” сутність технології АТМ.** Перш, ніж приступити до розгляду технології АТМ, варто звернути увагу на її “асинхронну” сутність.

На фізичному рівні в технології АТМ передбачено використання бітової синхронізації відповідно до протоколів SONET/SDH, а на канальному – також кадрової синхронізації. В умовах простою порта АТМ (відсутності ко-

ристувацького трафіка) в деяких режимах генерується синхронізований потік порожніх кадрів. Так чому ж АТМ – асинхронна?

Вказівка на асинхронність технології належить до зв'язку між часовими “вікнами” і їх користувачами. Ніякого часового зв'язку між визначеним часовим “вікном” і абонентом, що ним користується в певний момент, не існує. “Вікна” в технології АТМ заповнюються пакетами даних користувачів на статистичній основі на відміну від систем з часовим розподілом каналів, у яких визначеному абоненту на час з'єднання призначається визначене часове “вікно”. Отже, замість терміна “асинхронна” краще було б застосувати термін “статистична”.

Існують також кадр-асинхронні системи передачі. Наприклад, у технології FR, якщо користувач не передає даних, кадри не генеруються і на фізичному рівні присутнє лише джерело бітової синхронізації.

**Призначення.** Неоднорідність – невід'ємна властивість будь-якої великої мережі зв'язку, яка змушує витратити багато часу на узгодження різнорідних компонентів. Тому важливим є будь-який засіб, спрямований на зменшення неоднорідності.

До появи технології АТМ вибір типу мережі визначався специфікою переданої інформації. Для передавання голосової і відеоінформації, затримки в передаванні яких небажані, кращими були мережі з комутацією каналів. Для пересилання даних, менш чутливих до затримок, кращими стали мережі з комутацією пакетів: X.25, FR. Через це більшість зацікавлених організацій змушені були створювати мережі обох типів. Це призводило до зниження ефективності застосування і до збільшення вартості мереж, що обслуговуються.

Технологія АТМ розроблена як єдина універсальна технологія для нового покоління мереж з інтеграцією видів зв'язку, що називаються широкопосмуговими (Broadband) мережами з інтеграцією видів зв'язку, тобто B-ISDN.

#### **Можливості технології АТМ:**

- пересилання даних, голосової інформації, відеоінформації й інших видів трафіка в межах однієї транспортної системи із забезпеченням відповідної кожному виду якості обслуговування;
- ієрархія швидкостей пересилання даних від одиниць *Mbit/c* до десятків *Gbit/c* з гарантованою швидкістю;
- спільні транспортні протоколи для локальних і глобальних мереж;
- збереження інфраструктури наявних фізичних каналів;
- взаємодія з укладкованими протоколами локальних і глобальних мереж.

**Основні ідеї.** Головна ідея АТМ була висловлена в 1968 році у період панування технології часового поділу каналів (ЧсРК, чи TDM) із синхронними методами комутації, заснованими на значущості порядкових номерів часових вікон в об'єднаному кадрі. Головним недоліком цих методів є неможливість перерозподілу пропускної спроможності об'єднаного каналу між під-

каналами. Якщо підканалом не пересилаються користувацькі дані, то об'єднаний канал все одно передає байти цього підканалу, заповнені нулями.

У проміжній технології STDM (Statistical TDM) дані стали оформляти в пакети з адресою. Наявність адреси дала змогу передавати такий пакет асинхронно, вставляючи його в будь-яке вільне часове "вікно", що істотно збільшило швидкість передачі. Важливу роль при цьому відіграло і створення нових компонентів мережі на основі досягнень мікроелектроніки.

Технологія АТМ є результатом розвитку ідей, закладених у STDM. Вона поєднує в собі дві технології – комутації пакетів і комутації каналів. Від першої вона запозичила пересилання даних у вигляді заадресованих пакетів, від другої – техніку віртуальних каналів. У технології АТМ використовують пакети невеликої фіксованої довжини (рис. 13.10), щоб зменшити затримки пакетування і передачі. Обсяг пакета становить всього 53 байта, з яких 5 – призначені для пересилання службової інформації.

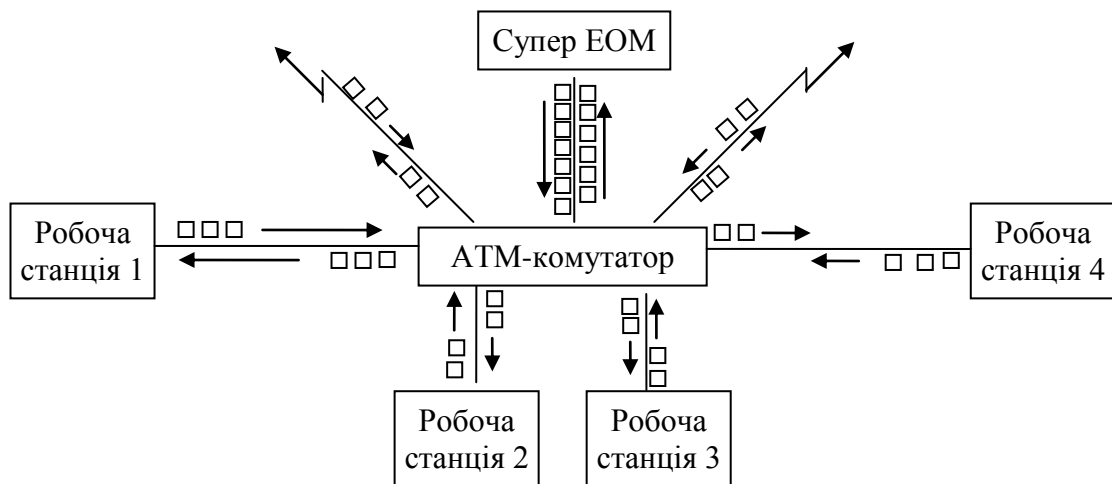


Рис. 13.10. Передавання 53-байтових АТМ-пакетів

**Перспективи застосування.** Основне ядро стандартів АТМ прийнято в 1993 році. Робота зі стандартизації продовжується. У ній беруть участь близько 100 колективів, які представляють практично усіх виробників телекомунікаційного устаткування, що є гарантією успішного розвитку і впровадження технології АТМ. До періоду її широкого застосування пройде ще декілька років. Це пов'язано не тільки з відсутністю повного набору стандартів, а й з неможливістю швидкої заміни дорогого устаткування, яке поки ще виконує своє функціональне призначення.

**Структура і принцип дії комплексу (мережі).** Мережа АТМ має класичну структуру великої територіальної мережі (рис. 13.11): кінцеві засоби чи станції з'єднуються індивідуальними каналами з комутаторами нижнього рівня, які, у свою чергу, з'єднуються з комутаторами вищих рівнів. Комутатори АТМ користаються 20-байтними адресами кінцевих вузлів, що переда-

ються полем даних першого пакету, для маршрутизації трафіка на основі техніки віртуальних каналів. Таблиці маршрутизації будуються відповідно до протоколу PNNI.

Передача пакетів відбувається на основі ідентифікатора віртуального каналу, що призначається з'єднанню під час його встановлення і знищується у випадку розриву з'єднання. Адреса кінцевого вузла АТМ, на основі якої прокладається віртуальний канал, відповідає стандарту E.164, має ієрархічну структуру, подібну до номера Тлф мережі, і використовує префікси, що відповідають кодам країн, міст, мережам постачальників послуг тощо, що спрощує маршрутизацію запитів і з'єднання.

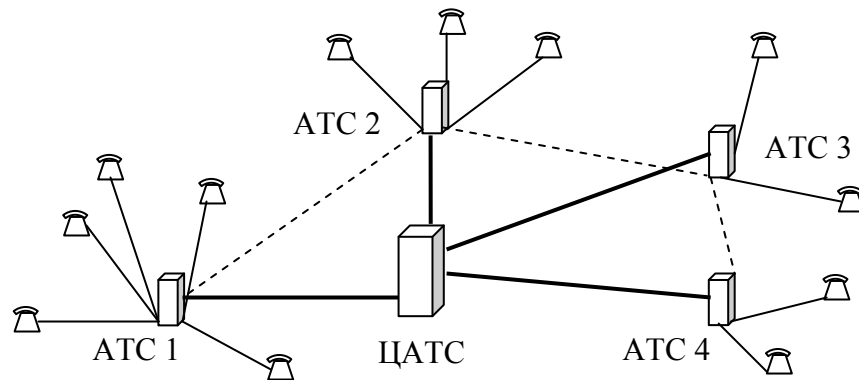


Рис. 13.11. Класична структура великої територіальної мережі

**Віртуальний шлях.** Віртуальні з'єднання можуть бути постійними і комутуємими. Для прискорення комутації у великих мережах реалізується поняття віртуального шляху, що поєднує віртуальні канали, які мають у мережі АТМ спільний маршрут між вихідним і кінцевим вузлами чи спільну частину маршруту між деякими двома комутаторами мережі. Ідентифікатор віртуального шляху є старшою частиною локальної адреси і являє собою спільний префікс для деякої кількості (до 65 536) різних віртуальних каналів.

**Принцип дії.** Ідея агрегації адрес у технології АТМ застосована на двох рівнях – на рівні адрес кінцевих вузлів, що працюють на стадії установаження віртуального каналу, і на рівні номерів віртуальних шляхів і каналів, що працюють під час пересилання даних установаженим віртуальним каналом.

З'єднання кінцевої станції АТМ з комутатором нижнього рівня визначається стандартом “інтерфейс користувач – мережа”. У ньому визначені: структура пакета, адресація станцій, обмін керуючою інформацією, рівні протоколу АТМ, способи установаження віртуального каналу і способи управління трафіком.

Стандарт АТМ не вводить свої специфікації на реалізацію фізичного рівня. Він ґрунтується на технології SDH/SONET, приймаючи її ієрархію швидкостей: в мережах доступу 1.5, 25, 34, 44, 51, 100, 139 і 155 Мбіт/с, у магістралях 622 Мбіт/с, 2.4, 4.8 і 10 Гбіт/с. На швидкості до 155 Мбіт/с

можна використовувати неекрановану виту пару 5 категорії. На швидкості 622 Мбіт/с і вище допустимий тільки ВОК: у глобальних мережах – тільки одномодовий; у локальних мережах – будь-який, але залежно від відстані і швидкості передавання інформації. Є й інші фізичні інтерфейси.

**Особливості технології.** *Види трафіків і їх особливості.* Особливості технології АТМ містяться в області якісного обслуговування різноманітного трафіка.

Трафік даних обчислювальних мереж має асинхронний і пульсуючий характер. Коефіцієнт пульсації сягає 200. Чутливість цього трафіка до втрат дуже висока. Утрачені дані необхідно відновлювати шляхом повторної передачі.

Трафік, що передає голос і зображення, характеризується низькими коефіцієнтами пульсації, але високою чутливістю до затримок пересилання даних.

*Сполучення трафіків.* Складність сполучення трафіків з діаметрально протилежними характеристиками очевидна. Підхід, реалізований у технології АТМ, полягає в передаванні будь-якого виду трафіка пакетами фіксованої і дуже малої довжини, лише в 53 байта, з яких поле даних займає 48 байт, заголовок – 5 байт (рис. 13.12).

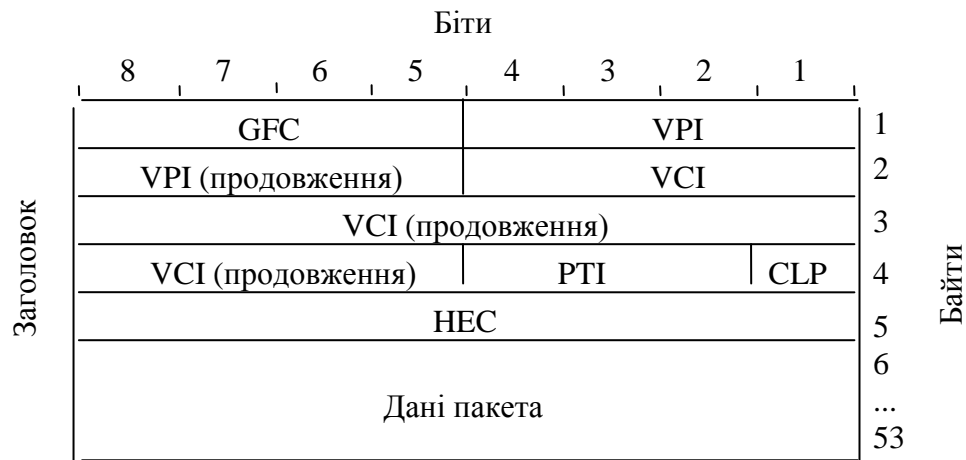


Рис. 13.12. Формат і структура пакета АТМ

Заголовок пакета, що складається з 40 біт, містить поля:

- GFC – 4 біти під команду управління потоком між користувачем і АТМ мережею;
- VPI – 8 біт під ідентифікатор віртуального шляху;
- VCI – 16 біт під ідентифікатор віртуального каналу;
- PTI – 3 біти під ідентифікатор типу корисного навантаження;
- CLP – 1 біт під ознаку можливості відкидання пакета через перевантаження;
- HEC – 8 біт під контроль за наявністю помилок у заголовку.

Для того щоб пакети містили адресу вузла призначення і заголовки не перевищував істотно 0,1 від ємності пакета, у технології АТМ використовується стандартний для глобальних обчислювальних мереж прийом, а саме: передача ведеться за номером віртуального каналу. Довжина цього номера вміщається в 3 байти (поля VPI + VCI) і його достатньо для глобальної і навіть для всесвітньої мережі АТМ.

При такому малому розмірі пакета вдалося скоротити затримку пакетування до 6 мс (48 вимірів голосу  $\times$  125 мкс) і вона вже не впливає на якість передавання голосу.

Для забезпечення якісної передачі різнорідних трафіків виділено 5 основних класів трафіків, для кожного з яких визначено набір параметрів якості, що мають бути задані на рівні застосувань (7-й, прикладний рівень).

*Зміст трафік-контракту.* Угода між застосуванням (користувачем) і мережею АТМ називається трафік-контрактом. У ньому залежно від класу трафіка можуть вказуватися:

- гарантована швидкість передавання (максимальна і середня);
- припустима величина пульсацій трафіка;
- припустима затримка пакетів;
- значення параметра надійності доставки пакетів.

Для порівняння: у мережі FR розглядається один клас трафіка, і для нього задана одна вимога – швидкість.

Для виконання трафік-контракту в мережі АТМ працює кілька протоколів і служб із забезпечення необхідної якості обслуговування.

**Способи підключення до мережі.** В АТМ передбачено два типи інтерфейсів: “користувач – мережа” (UNI) і “мережа – мережа” (NNI). Специфікації інтерфейсів, призначених для застосування у приватних та відомчих мережах і в мережах загального користування, відрізняються між собою.

Інтерфейс “користувач – мережа” для загальних мереж визначає спосіб підключення користувача до комутатора постачальника послуг АТМ.

Інтерфейс “користувач – мережа” для приватних мереж визначає спосіб підключення користувача до приватного АТМ-комутатора.

Обидва варіанти підключення користувачів до мережі АТМ показані на *рис. 13.13*.

**Маршрутизація.** Існують ще дві особливості АТМ-технології, на які варто звернути увагу: це робота в *асинхронному режимі* й *орієнтація на з'єднання*.

У процесі обміну даними пакети, передані за одними адресами, у разі ущільнення потоку змішуються з пакетами, переданими за іншими адресами. Однак у деяких режимах мультиплексування пакетів під час асинхронного передавання здійснюється лише за умови, що пакет містить корисну інформацію. Під час звичайного мультиплексування з ЧсРК байт синхронізації передається навіть у разі відсутності корисної інформації.



Орієнтація технології АТМ на з'єднання визначається тим, що зв'язок між станціями встановлюється до моменту пересилання даних. У процесі його устанавлення визначається маршрут обміну інформацією між кінцевими станціями крізь мережу АТМ. Для цього використовується заголовок і поле даних першого пакета АТМ, у якому відповідні інструкції передаються мережею АТМ у потрібне місце.

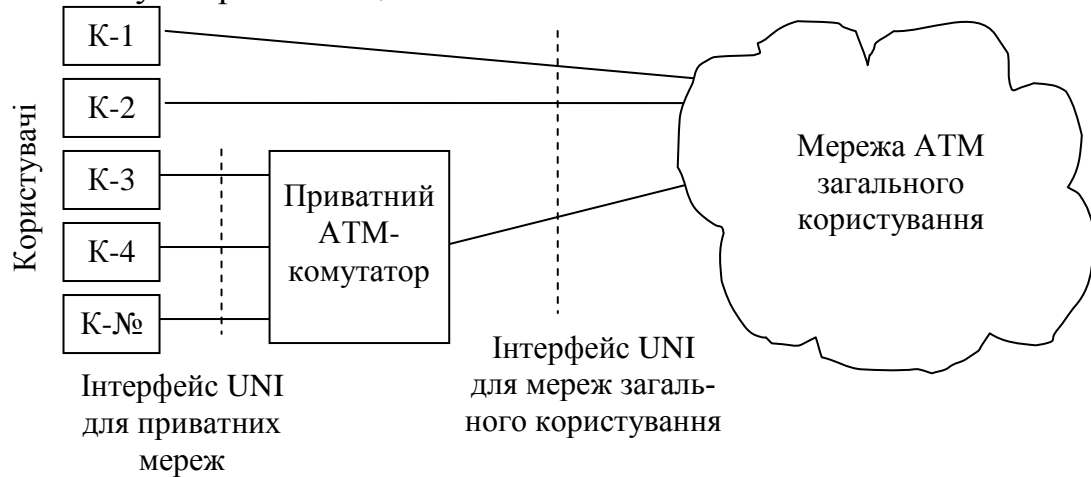


Рис. 13.13. Застосування інтерфейсів UNI

Поточна *маршрутизація пакетів* АТМ залежить від типу з'єднання. Тип з'єднання, при якому зв'язок організується до пересилання даних, називається постійним віртуальним каналом. Якщо ж зв'язок заздалегідь не встановлюється, то з'єднання називається комутуємим віртуальним каналом.

Для побудови ієрархії віртуальних каналів в АТМ застосований *дворівневий ідентифікатор з'єднання VPI + VCI*. Визначення віртуального шляху здійснюється за допомогою записів у таблиці маршрутів (рис. 13.14), що виробляються під час проходження першого пакета – пакета встановлення з'єднання – через кожен комутатор, розташований між кінцевими пунктами. При цьому в таблиці фіксуються адреси вхідного і вихідного фізичних портів і значення полів VPI, якими зазначені номери відповідних віртуальних шляхів.

**Приклади.** З рис. 13.14 видно, що віртуальний шлях прокладається з'єднанням 6 і 10 віртуальних шляхів через фізичні порти 1 і 8.

На рис. 13.15 показано, як виробляється маршрутизація пакетів АТМ у мережі, що містить два комутатори. З'єднання віртуального каналу є послідовністю зв'язків віртуальних каналів між кінцевими пунктами.

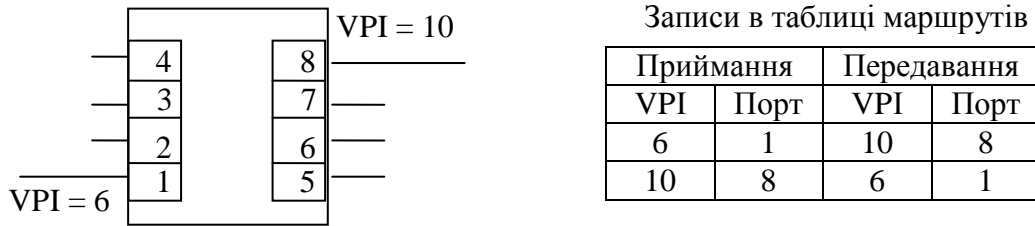


Рис. 13.14. Записи в таблиці маршрутів при комутації

Перше з'єднання отримане в результаті зв'язування віртуальних каналів, відповідно позначених ідентифікаторами VCI = 1, VCI = 3, VCI = 5, що разом формують віртуальний канал між робочими станціями в кінцевих пунктах.

Друге з'єднання визначається значеннями ідентифікаторів віртуальних каналів VCI = 2, VCI = 4, VCI = 6. Воно може бути використане для пересилання інших даних між тими самими кінцевими пунктами.

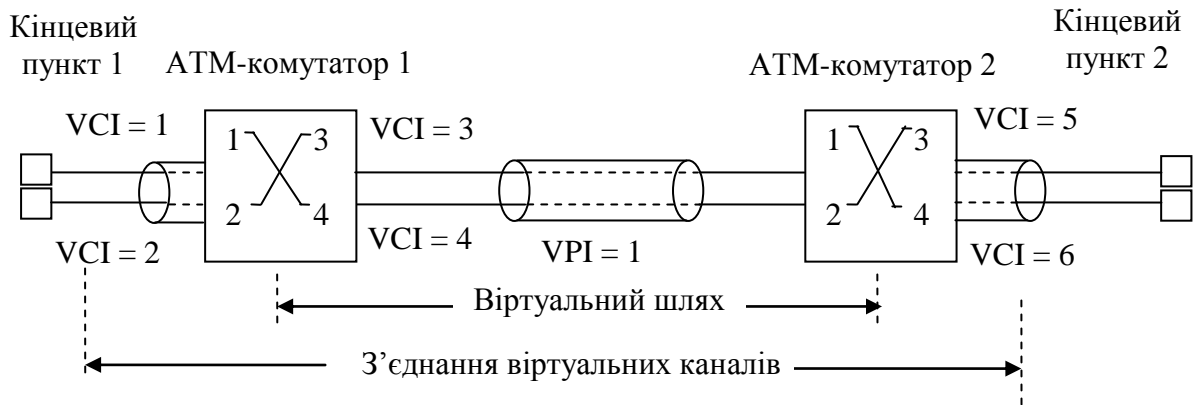


Рис. 13.15. З'єднання в мережі АТМ

Як видно з рис. 13.15, кожен віртуальний канал містить одне чи кілька фізичних з'єднань. Віртуальні канали створюють комутатори в процесі встановлення з'єднань. При цьому використовуються існуючі для фізичного рівня стандарти технологій SDH/SONET чи PDH. На інтервалі між комутаторами віртуальні канали VCI = 3 і VCI = 4 об'єднані у віртуальний шлях VPI = 1 і передавання інформації при цьому здійснюється за ідентифікатором цього VPI.

Таким чином:

1. АТМ – це технологія, що розвивається. Вона розрахована на пересилання даних, голосової інформації, відеозображень тощо з використанням загального формату пакетів довжиною в 53 байта як у локальних, так і в глобальних мережах.

2. Технологія АТМ розрахована на передавання трафіка як з постійною бітовою швидкістю (мова, зображення), так і зі змінною (комп'ютерні дані, компресовані голос і зображення).

3. Швидкість пересилання даних за цією технологією перебуває в межах від 25 *Мбіт/с* у локальних мережах, до 10 *Гбіт/с* у глобальних волоконно-оптичних лініях передачі за технологією SDH/SONET.

4. Для кожного типу трафіка користувач може замовити в мережі значення декількох параметрів якості обслуговування: максимальну і середню бітові швидкості, припустиму величину пульсацій, припустиму затримку пакетів для трафіка, чутливого до неї, значення параметра надійності доставки.

5. Спосіб підключення визначається специфікацією інтерфейсу “користувач – мережа”, а спосіб взаємодії мереж – специфікацією інтерфейсу “мережа – мережа”.

6. Множинне з’єднання за одним маршрутом дає змогу організувати дворівневий ідентифікатор віртуального шляху і віртуального каналу.

7. Віртуальний шлях чи їх з’єднання укладається між комутаторами, а віртуальний канал чи їх з’єднання – між кінцевими станціями.

8. Технологія АТМ не визначає нових стандартів для фізичного рівня, а користується існуючими, переважно з технологій SDH/SONET чи PDH.

9. Як недоліки технології відзначаються [58] необхідність великого обсягу додаткового програмного забезпечення для просування *IP*-пакетів крізь мережу АТМ і деяка неузгодженість її пакетів ємністю 53 *байта* з пакетами ємністю 4 *кбайта*, що генеруються відповідно до протоколу TCP/IP.

## 14. Internet-технологія і її місце серед інших технологій побудови глобальних мереж

### 14.1. Технології TDM, STDM, ISDN

**TDM** – технологія часового поділу каналів – набула поширення під час цифровізації традиційних Тлф мереж. Адреса джерела інформації визначається часовим положенням займаного ним логічного каналу щодо опорного каналу [24].

Достоїнства: мінімальна часова затримка (125 мкс), нечутливість до типу трафіка.

Недоліки: одним каналом, під який залежно від пріоритету може бути відведене одне чи кілька часових “вікон”, можна передавати тільки один вид трафіка. При цьому загальна пропускна спроможність каналу витрачається нераціонально, тому що через відсутність трафіка в будь-якому каналі він заповнюється нулями замість того, щоб надати його пропускну спроможність іншим каналам. Приклади застосування: ІКМ-30, -120, -480, а з безпроводових систем – JTIDS, MIDS, ОСНОД.

**STDM** – технологія статистичного часового поділу каналів – раціональніша ніж TDM, тому що вона допускає динамічний перерозподіл загальної пропускної спроможності фізичного каналу між логічними каналами, а належність конкретного кадру інформації визначається за його адресою або номером логічного каналу. Наявність адреси в кожному кадрі дає змогу передавати його асинхронно, тому що його місце розташування щодо даних інших логічних каналів уже не є його адресою. Механізм STDM дає змогу зайняти необхідну частину або всю пропускну спроможність фізичного каналу одним логічним (віртуальним) каналом. Асинхронні кадри одного логічного каналу вставляються у вільні часові “вікна”, але не змішуються з даними інших логічних каналів, тому що мають власну адресу. Це проміжна технологія. Її недолік: алгоритм реалізації STDM складніший, ніж алгоритм реалізації TDM.

**ISDN** – технологія побудови універсальної цифрової мережі з інтеграцією видів зв'язку (послуг). Вона є деякою кількістю TDM-мереж, що надають користувачам визначену кількість *B*-каналів з пропускною спроможністю 64 кбіт/с. Загалом вона сумісна з комутацією каналів і з комутацією пакетів,

має досконалішу систему телеконтролю і сигналізації. Для кінця 80-х і першої половини 90-х років ХХ ст. це була революційна технологія, краща з доступних, але зараз вона вже не є найсучаснішою. Послуги, що вона надає, не є гнучкими, хоча окремо голос і дані передаються якісно. Пропускна спроможність  $64 \text{ кбіт/с}$  на канал інколи є недостатньою, технологія складна, доступ до Internet дорожчий, ніж по xDSL-технології. Але, незважаючи на появу нових перспективніших технологій, ISDN залишається важливою й усе ще застосовуваною технологією. Її переваги виявляються під час передавання на великі відстані. Ідея інтеграції різних видів зв'язку (послуг) – це невмируща ідея, яку підхопили і з успіхом втілюють у життя сучасніші технології.

## 14.2. Технології X.25, FR, ATM

**X.25** – одна з найстаріших (1962) і відпрацьованих технологій побудови глобальних мереж з комутацією пакетів. Мережі, побудовані за цією технологією, добре працюють на ненадійних зашумлених каналах зв'язку, виправляючи помилки і керуючи потоком даних на каналному і мережному рівнях. У них передбачені дейтаграмне передавання і передавання пакетів віртуальними каналами. Можлива побудова в одному фізичному каналі декількох віртуальних (логічних). На жаль, не передбачений механізм керування пропускнуою спроможністю віртуального каналу, але в надлишку є механізми, що забезпечують надійну доставку даних каналами невисокої якості. Через це швидкість передавання пакетів мала ( $56$  або  $64 \text{ кбіт/с}$  на канал), а реакція на різке зростання обсягу трафіка, що передається, повільна. Змінна довжина пакета і велика кількість керуючих пакетів утрудняють роботу комутаторів і обмежують швидкість передавання, збільшують затримки.

Мережі X.25 використовуються донині, але переважно для пересилання даних мережами низької якості, залишаючись, поряд з Internet і PSTN, однією з трьох дійсно повсюдних мереж.

На надійних ВОК технологія X.25 стає надлишковою і неефективною, тому що значна частина її протоколів працюють вхолосту.

Важливою є роль, яку зіграв стандарт X.25 як прототип розроблення подальших сучасних стандартів і протоколів FR і ATM.

**Frame Relay (FR)** – технологія ретрансляції кадрів була розроблена в 90-і роки ХХ ст. і є різновидом технології комутації пакетів. Призначена для пересилання даних надійними каналами ВОК. Увібрала в себе позитивні якості технології X.25, наприклад, механізм віртуальних каналів, і відкинула її недоліки – надмірність процедур контролю і відновлення даних в умовах роботи з ВОК. Тим самим забезпечила підвищення швидкості пересилання даних у мережах доступу до  $2\text{--}45 \text{ Мбіт/с}$ . Має позитивні властивості перерозподілу пропускнуої спроможності фізичного каналу між прокладеними в ньому віртуальними каналами і гарантії замовленої ними пропускнуої спроможності.

На жаль, через велику тривалість кадрів (до 8192 байта) технологія FR не може гарантувати малої затримки кадрів, що утрудняє передавання голосової інформації. Однак намітилися можливості розв'язання цієї проблеми шляхом стиску і пріоритетного передавання голосової інформації недовантаженими каналами у кадрах невеликих розмірів.

Ще один недолік полягає в тому, що інтерфейси FR мають пропускну спроможність, не більш ніж 2 Мбіт/с, і обмежують пропускну спроможність мережі FR. Через це працювати у високошвидкісній магістралі (передавання відео- і телезображень) ця технологія не може.

Завдання мережі FR – збирання мультимедійного трафіка від масового споживача і його трансляція на рівень з вищою пропускну спроможністю. Але загалом це комп'ютерні дані. FR – є однієї з головних глобальних мереж для з'єднання ЛОМ і організації доступу в Internet. Вона відрізняється однієї із самих стрімких характеристик росту в індустрії телекомунікацій.

**АТМ** – технологія асинхронного режиму передавання – це технологія, яка перебуває у стадії розвитку. Вона розрахована на передавання будь-якого виду трафіка (даних, голосової інформації, відеозображень тощо) з використанням загального формату коротких пакетів довжиною в 53 байта як у локальних, так і в глобальних мережах. При такій довжині пакету затримка упакування стає невеликою (6 мс), прогнозованою і цілком припустимою для передавання голосового трафіка. Істотно розвинуті представлені у FR ідеї керування трафіком. Швидкість передавання за цією технологією може бути від 1,5 до 155 Мбіт/с у локальних мережах і від 622 Мбіт/с до 10 Гбіт/с у глобальних волоконно-оптичних системах передачі.

Для кожного типу трафіка користувач може замовити в мережі значення декількох параметрів якості обслуговування: максимальну і середню швидкість, припустиму величину пульсацій, припустиму затримку пакетів, значення параметра надійності доставки. При множинній передачі за одним маршрутом технологія дає змогу організувати дворівневий ідентифікатор: віртуального шляху і віртуального каналу, що істотно спрощує керування.

Через мережі, що побудовані за технологією АТМ, передається інформація від мереж ISDN, FR, АТМ, TCP/IP (рис. 14.1), якими проходить до 75% трафіка Internet.



Рис. 14.1. Місце мережі АТМ у мережній інфраструктурі

### 14.3. Internet–технологія

**Internet** – це технологія мережного і вищих рівнів [5; 23; 26; 41; 44; 73]. З її допомогою вирішується завдання пересилання даних через неоднорідні складені мережі, що об'єднані довільними зв'язками і побудовані на основі різних локальних і глобальних технологій (рис. 14.2).

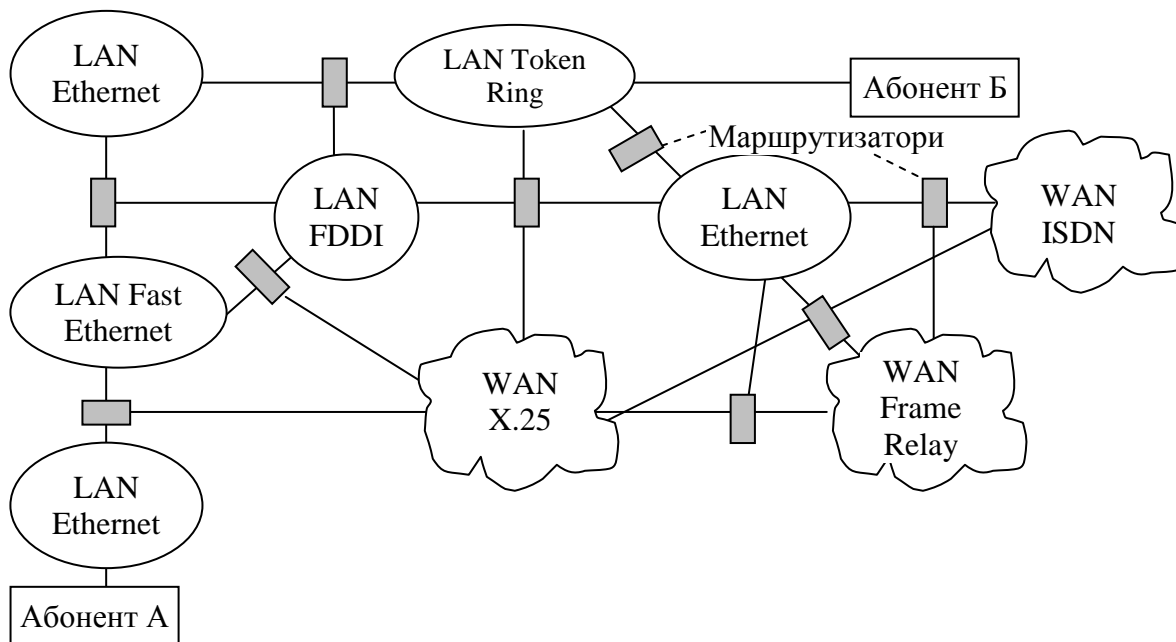


Рис. 14.2. Архітектура складеної мережі

Протоколи мережного рівня реалізуються, як правило, у вигляді програмних модулів і виконуються в кінцевих пунктах комутаторами, а в проміжних вузлах – маршрутизаторами.

Складену мережу можна створити також за допомогою засобів фізичного і канального рівнів, а саме, за допомогою деяких типів мостів і комутаторів.

Однак при цьому виникнуть деякі обмеження і недоліки а саме:

- топологія такої мережі не повинна мати резервних зв'язків, так необхідних для кращого розподілу навантаження і підвищення надійності мережі;
- логічні елементи такої мережі слабо захищені від, так званих, широкомовних штормів;
- складно вирішується завдання керування трафіком на основі даних, що містяться в пакеті;
- у них застосовується недостатньо гнучка, однорівнева система адресації;
- у мостах і комутаторах обмежені можливості з трансляції протоколів.

Усе вищезазначене привело до залучення засобів вищого, мережного рівня.

Основна ідея побудови складеної мережі така. Складена мережа (інтер-мережа, Internet) розглядається як сукупність декількох мереж (підмереж,

Subnet), що можуть бути локальними і глобальними. Усі вузли однієї підмережі взаємодіють між собою, використовуючи єдину для них технологію, що може відрізнитися від технологій, реалізованих у сусідніх підмережах (див. рис. 14.2). Тому для організації взаємодії між підмережами потрібні засоби мережного рівня – маршрутизатори, що координують роботу підмереж під час просування по них пакета. А для переміщення даних у межах підмережі мережний рівень звертається до використовуваної в ній технології.

Для виконання цього завдання використовують унікальну нумерацію усіх підмереж складеної мережі і нумерацію усіх вузлів у межах кожної підмережі. На основі такої нумерації створюють дворівневу адресу (на різних етапах розвитку).

Заголовок пакета мережного рівня має уніфіковану форму і містить, поряд з іншою службовою інформацією, інформацію про адресу підмережі призначення. Мережний рівень визначає маршрут і просуває пакет між підмережами.

Пакет, рухаючись заданим маршрутом, надходить з однієї підмережі до іншої. Надійшовши в чергову підмережу, він витягається з кадру попередньої підмережі (тобто звільняється від канального заголовка тієї підмережі) й упаковується в кадр (тобто забезпечується канальним заголовком) чергової підмережі з вказанням в ньому адреси наступного маршрутизатора.

Явна нумерація підмереж дає змогу протоколам мережного рівня скласти точну карту зв'язків підмереж і вибрати раціональний маршрут за будь-якої технології, у тому числі альтернативні маршрути, чого не вміють робити мости і комутатори.

Заголовок мережного рівня містить й іншу інформацію, необхідну для успішного переходу з підмережі одного типу у підмережу іншого типу, а саме:

- номер фрагмента пакета, використовуваний під час розбирання – збирання в підмережах з іншим розміром пакетів;
- час подорожі пакета, використовуваний при ухваленні рішення щодо знищення заблудлих пакетів;
- якість послуги, наприклад, вибір маршруту, що забезпечує підвищення надійності за рахунок збільшення часу доставки.

Вирішення проблеми об'єднання підмереж, створених і працюючих за різними технологіями, має величезне значення як для Internet, так і для поєднаних підмереж.

**Стек протоколів TCP/IP.** Для реалізації Internet-технології у США агентством DARPA (Defense Advanced Research Projects Agency) був створений стек протоколів TCP/IP, що став одним з найпопулярніших протоколів мережної взаємодії і стандартом *de facto* світового масштабу. Стек TCP/IP підтримує всі популярні стандарти фізичного і канального рівнів. Для локальних мереж – це Ethernet, Token Ring, FDDI; для глобальних ISDN, X.25, Frame Relay та ін.



Основними протоколами стека, що дали йому назву, є протоколи IP і TCP. Ці протоколи в термінології OSI належать до мережного і транспортного рівнів відповідно. IP забезпечує просування пакета складеною мережею, а TCP гарантує надійність доставляння.

За довгі роки використання в мережах різних країн і організацій стек TCP/IP увібрав у себе велику кількість популярних протоколів (табл. 14.1).

Таблиця 14.1

**Багаторівневі структури**

Рівні OSI	Рівні стека TCP/IP	Назва протоколів
Прикладний	Прикладний	FTP, Telnet, SNMP, SMTP, HTTP, TFTP
Представницький		
Сеансовий		
Транспортний	Транспортний	TCP, UDP
Мережний	Рівень межмережної взаємодії	IP, RIP, OSPF, ICMP
Канальний	Рівень мережних інтерфейсів	Протоколи упакування і перетворення пакетів
Фізичний		

Протоколи стека TCP/IP використовуються не тільки в Internet, а й у ряді інших, не пов'язаних з ним, мереж.

Важливим достоїнством стека TCP/IP, що дає йому переваги перед іншими стеками під час побудови великих складених неоднорідних мереж, є:

- здатність до динамічної фрагментації пакетів, яка використовується у разі переходу пакета до мережі з меншою довжиною пакетів;
- гнучка система адресації, що сприяє нарощуванню складеної мережі;
- ощадливе використання широкомовних розсилянь, важливе під час роботи на повільних каналах зв'язку територіальних мереж.

Недоліками стека TCP/IP можна вважати високі вимоги щодо обчислювальних ресурсів.

Оскільки стек TCP/IP був розроблений до появи моделі взаємодії відкритих систем ISO/OSI, то його багаторівнева структура не цілком відповідає структурі ISO/OSI (див. табл. 14.1).

**Прикладний (application) рівень** стека TCP/IP увібрав у себе протокол копіювання файлів FTP (File Transfer Protocol), протокол моделювання (емуляції) терміналу Telnet, простий протокол пересилання електронної пошти SMTP (Simple Mail Transfer Protocol), протокол пересилання гіпертекстової інформації HTTP (Hypertext Transfer Protocol), простий протокол керування мережею SNMP (Simple Network Management Protocol) тощо.

Протоколи прикладного рівня реалізуються програмними засобами, побудованими в архітектурі “клієнт – сервер”, і встановлюються в серверах кінцевих пунктів. Вони відпрацьовують логіку застосувань (додатків), а до протоколів нижніх рівнів звертаються як до деякого набору інструментів. Так,

для обміну повідомленнями із сервером клієнтська частина має звернутися з запитом до розташованого нижче транспортного рівня.

**Транспортний (transport) рівень** увібрав у себе два протоколи:

– протокол керування передачею TCP (Transmission Control Protocol), що забезпечує гарантовану доставку пакетів за призначенням;

– протокол користувацьких дейтаграм UDP (User Datagram Protocol), що забезпечує доставку “по змозі”, тобто без гарантії.

Для надійної доставки протокол TCP передбачає встановлення логічного з’єднання, поділяє потік байтів даних на кадри довжиною до 65 535 байт, нумерує їх, постачає їх заголовком 20 байт з адресами пунктів відправлення і призначення, підтверджує їх прийняття квитанціями, на випадок втрати організує повторну передачу, розпізнає і знищує дублікати, доставляє прикладному рівню кадри в тому порядку, у якому вони були відправлені, попередньо зібравши їх у безперервний потік байтів даних, забезпечує обмін даними у дуплексному режимі.

UDP є найпростішим протоколом дейтаграмного типу. Працює без встановлення логічного з’єднання і без гарантії надійного доставляння даних. Функції забезпечення надійного доставляння мають бути вмонтовані в протоколи вищих рівнів.

Протоколи TCP і UDP встановлюються в серверах кінцевих пунктів.

У разі безпосереднього і частого обміну даними між клієнтом і сервером ефективнішим є протокол TCP. Якщо зв’язок між ними нечастий або передаються невеликі обсяги даних, то використовується переважно протокол UDP.

Протоколи TCP і UDP одержують завдання від протоколів прикладного рівня і рапортують йому про виконання завдання. При цьому TCP взаємодіє з FTP, Telnet, SMTP, а UDP – з SNMP. TCP і UDP ідентифікують застосування по 16-бітних адресах (номерах) портів. Сервери здебільшого мають добре відомі номери портів. Адреси портів перебувають у віданні організації IANA (Internet Assigned Numbers Authority). Клієнту застосування не цікава адреса свого порту, йому потрібна лише гарантія унікальності цієї адреси. Адреси портів клієнтів є короткостроковими, тому що, загалом, клієнти існують стільки часу, скільки працюючому на комп’ютері користувачу необхідний відповідний сервер.

До мережних протоколів протоколи TCP і UDP звертаються як до інструменту, не абсолютно надійному, але здатному просувати пакет складеною мережею і одержувати від них зведення про виконання завдання.

**Рівень міжмережної взаємодії** є стрижнем всієї архітектури TCP/IP. Саме він забезпечує просування пакетів між підмережами в межах усієї складеної мережі. Основним в ньому є міжмережний протокол IP (Internet Protocol), який встановлюється не тільки в серверах кінцевих пунктів, а й у всіх пограничних маршрутизаторах. IP забезпечує просування пакета складе-

ною. мережею від одного маршрутизатора до іншого, поки пакет не досягне пункту призначення. На випадок втрати пакета (наприклад, через переповнення буферної пам'яті) IP не намагається повторити передачу, але посилає повідомлення про це в пункт відправлення.

У виборі і прокладанні маршруту допомагають:

- протокол збирання маршрутної інформації RIP (Routing Internet Protocol);
- протокол визначення найкоротшого шляху OSPF (Open Shortest Path First);

First);

– протокол міжмережних керуючих повідомлень ICMP (Internet Control Message Protocol), який дає змогу маршрутизатору повідомити відправника за допомогою спецпакетів про неможливість доставки пакета, перевищення часу існування пакета, аномальні величини параметрів, зміну маршруту, стан системи тощо.

Просування пакета усередині кожної підмережі, що зустрічається на його шляху – це вже завдання реалізованої в цій підмережі технології. Для вирішення цього завдання IP звертається до нижче розташованого рівня – рівня мережних інтерфейсів.

**Рівень мережних інтерфейсів.** Нижні рівні моделі OSI (канальний і фізичний) навантажені такими функціями, як доставляння даних до середовища передачі, формування кадрів, узгодження рівнів електричних сигналів, кодування, синхронізація тощо.

У нижнього рівня стека TCP/IP завдання значно простіше. Він відповідає тільки за організацію інтерфейсу з технологіями побудови підмереж. Переміщення пакета IP можна розглядати як послідовність “стрибків” від одного прикордонного маршрутизатора до іншого. Щоразу у черговому прикордонному маршрутизаторі унаслідок роботи протоколів міжмережного рівня визначається міжмережна адреса чергового прикордонного маршрутизатора. Але щоб добратися до нього, пакет має перетнути деяку підмережу. Для цього протоколи TCP/IP звертаються до транспортних засобів цієї підмережі.

Спрощене завдання організації інтерфейсу між двома технологіями зводиться:

– до визначення способу упакування (інкапсуляції) пакета IP в одиницю передаваних даних цієї підсистеми;

– до визначення способу перетворення міжмережної адреси чергового прикордонного маршрутизатора в новий тип адреси, що прийнятий для адресації в технології даної підмережі.

Такий підхід робить складену мережу TCP/IP відкритою для включення до її складу підмережі, яка використовує будь-яку технологію. Для кожної технології мають бути розроблені власні інтерфейсні засоби. З цього випливає, що цей рівень не можна визначати назавжди.

**Система IP адресування АСУ.** Однією з головних переваг багаторівневої моделі взаємодії відкритих систем є те, що змінювання на будь-якому

рівні не зачіпають інших рівнів. Мережний рівень демонструє це особливо вражаюче: передача IP-пакетів можлива через мережі ISDN, FR, ATM, ADSL тощо. Протокол IP забезпечує дейтаграмне передавання, тобто передавання пакетів без встановлення з'єднання. Основне його завдання – маршрутизація пакетів крізь складену мережу. Пакети маршрутизуються один за одним від вузла до вузла. Для виконання цього завдання протокол IP визначає механізм фрагментації і збирання пакетів, ієрархічну структуру адресування, контроль за тривалістю існування пакетів у мережі, перевірку цілісності заголовка IP-пакетів. Кожен пакет маршрутизується індивідуально, а це означає, що пакети можуть направлятися в обхід ненадійних або перевантажених ділянок мережі. Вузлам нема потреби встановлювати логічне з'єднання перед обміном IP-пакетами. Для цього кожному вузлу (комп'ютеру, хосту), підімкненому до мережі на основі протоколів TCP/IP, має бути присвоєна унікальна адреса. Ця адреса передається в IP-пакетах для ідентифікації комп'ютера-відправника і комп'ютера-отримувача. Адреси є частиною заголовка пакета. В заголовку пакета міститься дві адреси: відправника і отримувача.

Згідно з IP-протоколом версії 4 (IPv4) для однієї адреси в пакеті відводиться 32 *біти* (4 *байти*), що дає змогу об'єднати в складеній мережі більш як 4 мільярди вузлів (комп'ютерів, хостів). IP-адреса зображується у десятковому форматі з розділовими точками між десятковими числами, закодованими в кожному окремому байті. Використовуючи 8 *бітів*, можна закодувати ними десяткові числа від 0 до 255, наприклад, 125.36.23.46.

Кожна IP-адреса складається з двох частин: ідентифікатора мережі NETID та ідентифікатора хоста (вузла, порта) HOSTID всередині даної мережі. Це важливо знати, тому що маршрутизатори використовують NETID і не враховують HOSTID.

Протокол IP забороняє складати NETID і HOSTID лише з одиниць або з лише з нулів. Лише з одиниць складається тільки ширококомвна адреса, наприклад, 115.13.255.255 означає, що підмережа 115.13 є ширококомвною, тобто інформація, що передається, адресована всім хостам цієї підмережі.

Але рівномірний поділ адресної частини пакету між NETID і HOSTID використовується не завжди. Це може призвести до неефективного використання адресної ємності, тому що 16-бітним HOSTID можна забезпечити формування 65 534 адреси, тоді як середньостатистична локальна обчислювальна підмережа містить не більш як 100 комп'ютерів.

Для підвищення ефективності використання адресної ємності введено 5 класів адрес: А, В, С, D, Е, які відрізняються розподілом 32 *бітів* між NETID і HOSTID (табл. 14.2).

Як видно з табл. 14.2, адреси класу А призначені для ідентифікації 126 дуже великих підмереж, адреси класу В – для ідентифікації 16 382 підмереж середньої величини, адреси класу С – для ідентифікації більш як 2 000 000 невеликих підмереж. Адреси класу D призначені для ідентифікації радіомов-

них, телевізійних і подібних підмереж. Адреси класу Е призначені для дослідницьких цілей.

Таблиця 14.2

**Класи адрес**

Клас адреси	Число у першому байті	Кількість біт у NETID	Кількість підмереж	Кількість біт у HOSTID	Ємність підмережі
A	1...126	8	126	24	16 000 000
B	128...191	16	16 382	16	65 534
C	192...223	24	2 000 000	8	254
D	224...239	Групові адреси			
E	240...255	Дослідницькі адреси			

За потреби можна розділити підмережу на низку дрібніших підмереж, що робиться за допомогою масок. В обчислювальній техніці *маска* – це електронний фільтр, який використовується для виділення визначеної частини блоку даних. У розглядуваному завданні вона використовується для виділення з адресної частини NETID. Для цього маска має таку саму загальну довжину, як і адреса, тобто 32 *біти*. Її біти, що відповідають за місцеположення бітів NETID мають значення 1 і визначають довжину маски, а решта бітів маски мають значення 0. Функція електронного фільтра виконується через побітне перемноження адреси і маски. Кількість одиничних бітів у масці (довжина маски) позначається після адреси і косої риски, наприклад, 135.115.113.1/16. Цей запис означає, що 16 бітів цієї адреси буде виділено як ідентифікатор NETID.

Маска дає змогу відступити від стандартних класів адрес А, В, С, виділити з адресної частини як NETID трохи більше розрядів і тим самим створити адреси для більшої кількості, але менших за величиною, підмереж. Наприклад, якщо отримати від Internet-провайдера одну адресу класу С, передати нею 2 *біти* з HOSTID у NETID і використати для виділення цього NETID маску довжиною 26 *бітів*, то можна сформувати на цій основі 4 адреси для підмереж не більш як на 64 вузли кожна замість однієї адреси для підмережі не більш як на 254 вузли. Якщо передати 3 *біти* з HOSTID у NETID, то отримаємо 8 адрес для 8 підмереж не більш як на 32 вузли кожна замість однієї адреси для підмережі не більш як на 254 вузли.

Таким чином, використовуючи адресу, виділену Internet-провайдером на одну класову підмережу, можна за рахунок масок задовольнити адресні потреби більш ніж однієї підмережі. При цьому, за потреби, ємності цих дрібніших підмереж можна зробити різними, наприклад, замість однієї підмережі не більш як на 254 вузли можна забезпечити адресами одну підмережу не більш як на 64 вузли і ще шість підмереж не більш як на 32 вузли. Маски VLSM змінної довжини добре розуміють нові протоколи маршрутизації (OSPF, IS-IS), меншою мірою – модернізований RIP-2 IP, а старі протоколи

маршрутизації (RIP, RIP-1 IP, ICRP) – не розуміють. Недоліком цього способу є збільшення довжини таблиць у маршрутизаторах, який можна деякою мірою компенсувати за рахунок розумного підходу до виділення адрес за територіальною ознакою (технологія CIDR). Це робить можливим об'єднання адрес у блоки таким чином, щоб один запис у таблиці маршрутизації міг указувати на декілька адрес.

Необхідно відзначити, що, крім унікальної мережної IP-адреси, у стеку TCP/IP використовується ще два типи адрес:

- локальні або апаратні адреси, які використовують для адресування вузлів у межах підмережі. Тому вона є адресою управління доступом до середовища (MAC-адресою);

- доменні імена – символні ідентифікатори вузлів, до яких часто звертаються користувачі. Символьні (доменні) імена будуються за ієрархічною ознакою. Їх складові розділяються точками і записуються у такому порядку: ім'я вузла; ім'я групи вузлів організації; ім'я супергрупи (піддомена) і так до імені домена самого високого рівня, який об'єднує організації, наприклад, за географічним принципом (RU – Росія, UK – Велика Британія, US – США). Приклад доменного імені: base2.sales.zil.ru.

Важливо відзначити, що, насправді, адреса призначається не вузлу (комп'ютеру чи маршрутизатору), а його мережному інтерфейсу. Загалом вузол (комп'ютер чи маршрутизатор) може входити до складу однієї або до кількох підмереж, а тому може мати одну або декілька локальних адрес, одну або декілька унікальних мережних адрес, одне або декілька доменних імен.

Між доменним іменем та унікальною мережною IP-адресою немає ніякої функціональної залежності, тому єдиним способом установлення відповідності є таблиця. У мережах TCP/IP є спеціальна служба розподілу доменних імен (DNS – Domain Name System), яка встановлює цю відповідність на базі створюваних адміністраторами мережі таблиць відповідності, тому доменні імена називають ще DNS-іменами.

У другій половині 80-х років XX ст. з'ясувалося, що адресна ємність 32-бітної унікальної мережної адреси версії IPv4 з часом буде вичерпана, тому була розроблена і з 1995 року почала застосовуватись (поряд з IPv4) версія IPv6. Основна її відмінна риса – істотне збільшення адресної ємності, оскільки в ній застосовується 128-бітна адресна схема, у якій до перших 3 *бітів* заноситься префікс, до наступних 5 бітів – ідентифікатор географічного реєстратора, потім до 56 *бітів* – ідентифікатор провайдера, до останніх 64 *бітів* – ідентифікатори підмережі і вузла (комп'ютера, порта). Ця схема зручна для інтеграції в мережу нових вузлів і підмереж, в ній не використовується маска підмережі, вона орієнтується на географічні границі під час виділення адрес, в ній можна отримати індивідуальний ідентифікатор клієнта.

128-бітна (16-байтна) IPv6-адреса записується у вигляді 8 груп по 4 шістнадцятирічних цифри, розділених двокрапками, наприклад, 8000:0000:0000:0000:0123:4567:89AB:CDEF.

Дозволяється застосовувати три способи скорочення:

- можна опускати нулі, що розташовані на початку групи, тобто писати 123 замість 0123;
- можна одну або декілька нульових груп замінити додатковою двокрапкою, тоді та сама адреса запишеться у вигляді 8000::123:4567:89AB:CDEF;
- можна адресу IPv4 включати до складу адреси IPv6, записавши її після пари двокрапок, наприклад, ::193.31.20.46.

Крім того, у заголовку пакета IPv6 зменшена (з 13 до 7) кількість полів, удосконалений спосіб зображення необов'язкових параметрів, відсутня контрольна сума заголовку, що дає змогу швидше обробляти пакети; більше уваги приділяється типам послуг; зроблено великий крок вперед у галузі безпеки.

Однак не має абсолютної впевненості в тому, що Internet повністю перейде на версію IPv6 і в які строки це відбудеться. Справа в тому, що це пов'язано з великими фінансовими затратами для тих, хто зараз використовує версію IPv4, а економічної вигоди не надасть. Тому найближчими роками версії IPv4 і IPv6 співіснуюватимуть паралельно і через це виникає необхідність у трансляції адрес.

Існує низка пристроїв (маршрутизаторів, шлюзів) і програмних продуктів NAT (Network Address Translation), які забезпечують пряму і зворотну трансляцію:

- 32-бітних унікальних мережних адрес версії IPv4 у 128-бітні адреси аналогічного призначення версії IPv6;
- унікальних мережних адрес версій IPv4 та IPv6 у локальні (апаратні) адреси.

Однак більшість таких пристроїв не транслюють групові IP-адреси і доменні імена. Роблять це тільки останні версії програмного забезпечення NAT. Крім того, виникають проблеми з трансляцією криптографічних контрольних сум, оскільки вони змінюються під час трансляції, і це призводить до порушення безпеки. У версії IPv6 ця проблема вирішується шляхом безпосереднього інтегрування параметрів забезпечення безпеки у заголовки пакету.

**Автономні системи.** Наприкінці відзначимо, що сучасний Internet складається не тільки з підмереж, а й з більших взаємозалежних об'єднань – автономних систем (рис. 14.3).

*Автономна система* – це сукупність підмереж з єдиним адміністративним керуванням, що забезпечує для всіх маршрутизаторів загальну політику маршрутизації.

Основна мета розподілу Internet на автономні системи – це забезпечення багаторівневого підходу до маршрутизації. З появою автономних систем

сформувався третій, верхній, рівень маршрутизації. Подібно до підмереж всі автономні системи централізовано нумеруються. Номер автономної системи складається з 16 розрядів. Маршрутизація стає трирівневою.

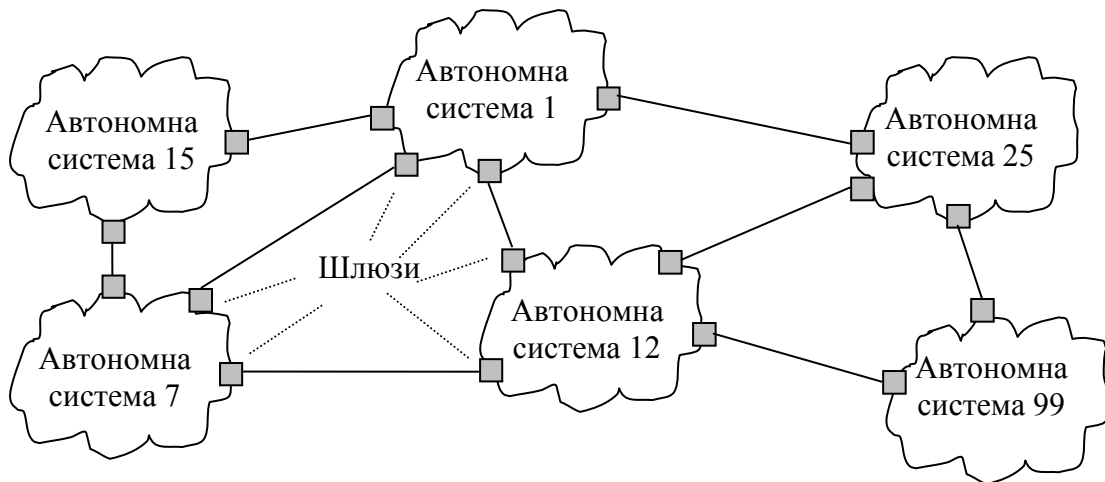


Рис. 14.3. Автономні системи Internet

Автономні системи з'єднуються зовнішніми маршрутизаторами, чи шлюзами (exterior gateway). Важливо, що між ними дозволяється використовувати тільки один, стандартний, протокол маршрутизації EGP (Exterior Gateway Protocol). У цей час ним є протокол BGP-4 (Border Gateway Protocol, version 4). Всі інші протоколи є внутрішніми IGP (Interior Gateway Protocol). Зовнішній протокол відповідає за вибір маршруту як послідовності автономних систем. Як адреса наступного маршрутизатора вказується адреса точки входу до сусідньої автономної системи. За маршрут усередині автономної системи відповідають внутрішні протоколи маршрутизації, які, на випадок транзитної автономної системи, визначають точну послідовність маршрутизаторів від точки входу в автономну систему до точки виходу з неї.

## 14.4. Технологія MPLS

Технологія багатопроTOCOLЬНОЇ комутації позначок MPLS – одна із самих перспективних транспортних технологій. Під час її застосування трафік просувається стійкими маршрутами, вибраними з урахуванням поточної топології і стану завантаженості елементів мережі. Цим самим різним класам трафіка забезпечується необхідна їм якість обслуговування.

З відомою долею наближення можна вважати [26], що під шаром протоколу IP в мережі IP/MPLS працює канална технологія MPLS (рівня 2,5), яка ґрунтується на техніці віртуальних шляхів, але на відміну, наприклад, від АТМ, тісно інтегрована з IP-технологією, використовує її можливості з класифікації трафіка, визначення поточної топології мережі і стану завантаженості її елементів. Більш того, функції MPLS можуть бути вмонтовані в



IP-маршрутизатори так, що фізично два шари комутаційних пристроїв зіляються в один, який забезпечить і маршрутизацію і просування трафіка та комутацію позначок [26].

Стандарт MPLS розроблений проблемною групою IETF і описаний в документі REC 3031 та деяких інших [41].

На відміну від традиційної маршрутизації з використанням віртуальних каналів, де неможливе групування каналів з різними кінцевими пунктами до одного віртуального шляху, тому що адресат не зможе їх розрізнити, в MPLS це можливо завдяки тому, що кожен пакет містить і позначку, і адресу призначення. Наприкінці позначеного шляху заголовок з позначкою може бути усунутий або проігнорований, а подальше просування трафіків відбуватиметься традиційним методом – з використанням адреси призначення мережного рівня.

Під час групування каналів до віртуального шляху враховується не тільки однаковість маршрутів до якогось маршрутизатора, а й однаковість класу обслуговування для забезпечення заданої якості. Груповому потоку надається одна загальна локальна позначка. За цією позначкою по таблиці MPLS-сумісного маршрутизатора визначається вихідна лінія і надається нова позначка, яка на цій лінії і для цього потоку є унікальною, тобто відрізняється від позначок інших потоків у цій лінії.

У традиційних мережах користувач посилає установочний пакет для прокладання віртуального каналу і створення відповідних записів у таблицях. У MPLS установочного пакету та установочної фази немає, тому що Internet, на який спирається MPLS, розрахований на дейтаграмне передавання, а не на віртуальний шлях, і введення установочного пакету призвело б до необхідності введення завеликих змін в програмне забезпечення Internet. Через це здійснюється маршрутизація по першому пакету, і вибраний маршрут закріплюється позначками до віртуального шляху.

Отже, для реалізації MPLS технологій треба додати до кожного IP-пакета MPLS-заголовок на рівні 2.5 (рис. 14.4).



Рис. 14.4. Передавання TCP-сегмента з використанням IP, MPLS, PPP

Заголовок MPLS містить, як правило, 4 поля: поле “позначка”, зміст якого використовується для вибору маршруту і просування трафіка; поле “якість обслуговування”, в якому вказується номер класу обслуговування; поле “S”,

що пов'язане зі стеком позначок в ієрархічних мережах (якщо в ньому значиться "0", то пакет ігнорується і завдяки цьому виключається зациклювання пакету); поле "час існування" пакету, що теж запобігає зацикленості.

Із заголовка видно, що MPLS є методом, не залежним ні від мережного (IP), ні від каналного (PPP) рівня. Це свідчить про можливість створення таких комутаторів і маршрутизаторів, які можуть просувати і IP-пакети і пакети ATM. Тому у назві технології значиться про "багатопротокольність".

Розглянемо функціонування MPLS технологій на прикладі мережі (рис. 14.5), що складається з підмережі MPLS, IP-клієнта і IP-сервера [23]. Маршрутизатори, що здатні до комутації позначок, позначені на рис. 14.5 як LSR, зокрема, граничні маршрутизатори позначені як LER.

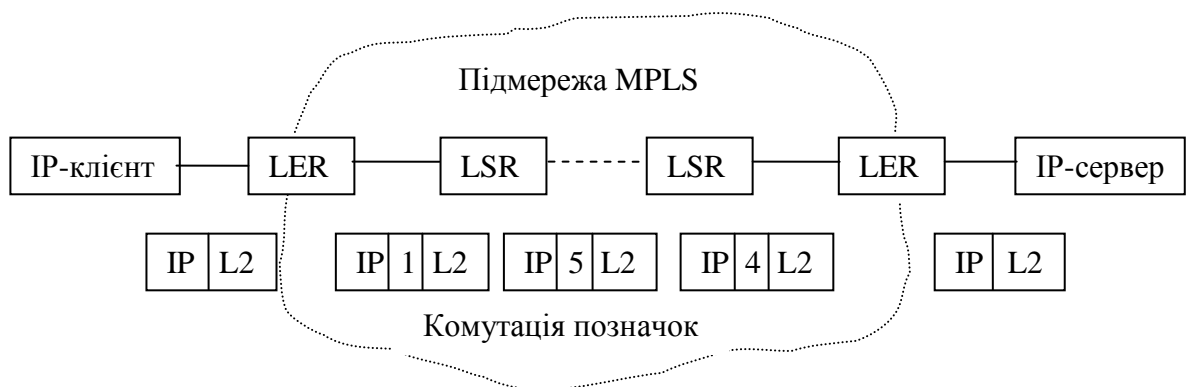


Рис. 14.5. IP-мережа з підмережею MPLS

Ні клієнт, ні сервер не підтримують MPLS. Вони є звичайними IP-пристроями. Отримавши від клієнта IP-пакет із заголовками 2-го і 3-го рівня, LER звіряє його з таблицею маршрутизації за заголовком першого пакету, визначає маршрут крізь підмережу MPLS і формує заголовок MPLS (2,5 рівня) між IP і PPP заголовками (див. рис. 14.4). Зміст заголовка MPLS може визначатись відповідно до кількох критеріїв, що включають, зокрема, і вимоги клієнта до рівня якості обслуговування QoS (глава 18). Після цього обробка IP- і PPP-заголовків припиняється, і весь блок даних передається крізь мережу MPLS. Під час передавання решти пакетів трафіка звернень до таблиць маршрутизації у внутрішніх LSR не відбувається. Замість цього комутація блока даних здійснюється на підставі змісту позначки, яка також змінюється (комутується) у кожному LSR.

На дальньому кінці підмережі MPLS граничний маршрутизатор LER усуває або ігнорує заголовок MPLS, маршрутизує і просуває пакет до сервера, використовуючи адресу призначення і справжні заголовки мережного (IP) і каналного (PPP) рівнів. MPLS підтримує диференційовану обробку множини класів трафіка, вибираючи найпридатніший маршрут крізь мережу MPLS. Такий вибір може ґрунтуватись на інформації, яка міститься у заго-

ловку IP-пакета (код у полі DS), або отримана внаслідок обміну повідомленнями між клієнтом і мережею (такими, як повідомлення протоколу резервування ресурсів RSVP).

*Таким чином*, технологія багатопротокольної комутації позначок MPLS – це одна з самих перспективних транспортних технологій.

Недолік технології MPLS полягає у збільшенні ємності заголовка пакета.

Достоїнства технології IP/ MPLS полягають у поєднанні високої швидкості просування пакетів мережею з диференційовано високою якістю обслуговування різних класів трафіків, поширення масштабуємості протоколу IP (поширення області його застосування без зменшення продуктивності мережі). Перспективи застосування MPLS-технологій пов'язують з майбутнім переходом на шосту версію протоколу IP, тобто на IPv6.

## 15. Новітні розроблення для транспортних мереж

Економія ресурсів завжди відігравала неабияку роль під час побудови мереж зв'язку. У той же час вартість ТКМ, її прокладання та експлуатація дуже високі. Тому не дивно, що розроблено декілька технологій ущільнення каналів для пересилання групового сигналу одним фізичним кабелем. Зупинимось на таких новітніх технологіях ущільнення [5; 23; 26; 41; 44], як технологія синхронної цифрової ієрархії (SDH), технології щільного та надщільного хвильового мультиплексування (DWDM, HDWDM) і технологія створення повністю оптичних мереж (AON).

### 15.1. Технологія плезіохронної цифрової ієрархії (PDH)

Прокладання високоякісних ліній зв'язку на великі відстані коштує дуже дорого. Тому в перших глобальних мережах часто використовували вже існуючі канали зв'язку, що раніше призначалися для іншої мети (наприклад, Тлф канали ТЧ, що призначалися для пересилання аналогових сигналів). Швидкість пересилання даних такими каналами дуже низка (десятки *кбіт/с*). Така швидкість у глобальних мережах може бути використана хіба що для передавання електронної пошти. Крім того, ці канали вносять великі спотворення в дискретний сигнал і вимагають складних процедур контролю і регенерації (що і виконує технологія X.25 з початку 70 років ХХ ст.).

Але наприкінці 60-х років у Тлф мережах з'явилися високошвидкісні канали, що з'єднували АТС і давали можливість передавати одночасно в цифровій формі десятки і сотні розмов. Була розроблена спеціальна технологія плезіохронної (майже синхронної) цифрової ієрархії (PDH, Plesiochronous Digital Hierarchy), що призначена для створення первинних, чи опорних мереж. Такі мережі не обслуговують безпосередньо користувачів, а є фундаментом для побудови цифрових каналів "точка – точка", що з'єднують устаткування так званої накладеної, чи вторинної мережі, яка працює вже безпосередньо на кінцевого користувача.

Спочатку технологія PDH, що забезпечувала швидкість передавання до 139 *Мбіт/с*, була внутрішньою технологією Тлф компаній. Згодом ці компа-

нії стали здавати частину своїх PDH-каналів в оренду підприємствам і відомствам, що використовували їх для створення власних Тлф і комп'ютерних мереж.

**Принцип побудови ЦСП PDH.** У первинних ЦСП (ІКМ-30) під час мультиплексування каналних цифрових потоків використовується їх побайтне об'єднання, тобто об'єднання з чергуванням байтів різних каналів. У вторинних ЦСП і ЦСП вищих рівнів здійснюється мультиплексування з чергуванням бітів різних каналів, а не байтів.

Вхідні швидкості чотирьох різних потоків можуть не збігатися. Тоді у потоки з меншими швидкостями додаються біти, що їх вирівнюють. З потоків з більшими швидкостями для вирівнювання швидкостей частина бітів вилучається. Інформація про місце розташування вставлених і вилучених бітів також передається, на що витрачається кілька відсотків пропускної спроможності лінії. На приймальній стороні для відновлення переданих кодових комбінацій біти, що вирівнювали швидкості, відповідно вилучаються чи вставляються. Такий процес передавання цифрових потоків дістав назву *плезіохронного* (майже синхронного), а ЦСП дістала назву системи передачі плезіохронної цифрової ієрархії.

Чому ж плезіохронні ЦСП не цілком відповідають сучасним вимогам? Таких причин декілька, а саме:

- складність операцій мультиплексування, демультиплексування і неможливість виділення будь-якої складової потоку без повного його демультиплексування. Вставка і вилучення бітів, що вирівнюють швидкості, дуже утруднюють визначення місця розташування бітів у цифровому потоці. Це, у свою чергу, утруднює виділення у проміжному пункті необхідного цифрового потоку, наприклад,  $64 \text{ кбіт/с}$  чи  $2048 \text{ кбіт/с}$  з потоку  $139,264 \text{ Мбіт/с}$ . Для цього в проміжному пункті необхідно цілком демультиплексувати прийнятий потік, вилучаючи і додаючи, де це необхідно, біти, що вирівнювали швидкості; виділити необхідний потік; зібрати залишки у новий потік, вилучаючи і додаючи біти, що вирівнюють швидкості. За наявності в мережі великої кількості проміжних пунктів апаратна реалізація такої ЦСП стає дуже складною, а її експлуатація в сучасних умовах стає економічно не вигідною;

- недостатня канална ємність для сучасних первинних і транспортних мереж, де потрібні не сотні і тисячі, а десятки тисяч і сотні тисяч каналів;

- відсутність розвинутих вмонтованих процедур автоматизованого контролю та управління мережею, без яких неможливо задовольнити сучасні вимоги до якості і надійності зв'язку.

Усі ці недоліки усунути в SDH-технології і в синхронних ЦСП.

## 15.2. Технологія синхронної цифрової ієрархії (SDH)

Наприкінці 80-х років ХХ ст. були розроблені технологія *синхронної цифрової ієрархії* (SDH, Synchronous Digital Hierarchy), що розширила діапазон швидкостей передавання до 10 Гбіт/с, і технологія *надщільного хвильового мультиплексування* (DWDM, Dense Wavelength Division Multiplexing), що розширила діапазон швидкостей передавання до сотень Гбіт/с – одиниць Тбіт/с.

Розроблено три ієрархії цифрових систем передачі (ЦСП): європейська, американська і японська.

Європейська ієрархія складається з такої послідовності швидкостей передавання: 2,048 (E1), 8,448 (E2), 34, 368 (E3), 139,264 (E4) і 564,992 (E5) Мбіт/с. Їм відповідає низка коефіцієнтів мультиплексування 32, 4, 4, 4, 4 і низка груп ОЦК, що містять в собі відповідно 30, 120, 480, 1920, 7680 інформаційних каналів. ОЦК – це канал зі швидкістю пересилання інформації  $V = 64$  кбіт/с. У первинній групі з 32 ОЦК 30 каналів – інформаційних і 2 – службових.

Американська ієрархія складається з такої послідовності швидкостей передавання: 1,554, 6,312, 44,736, 274,176 Мбіт/с і ряду коефіцієнтів мультиплексування: 24, 4, 7, 6. Їм відповідає кількість ОЦК у групі: 24, 96, 672, 4032.

Японська ієрархія складається з такої послідовності швидкостей передавання: 1,544, 6,312, 32,064, 97,728, 397,200 Мбіт/с. Їй відповідає низка коефіцієнтів мультиплексування: 24, 4, 5, 3, 4 і кількість ОЦК у групі: 24, 96, 480, 1440, 5760.

Логічнішою є європейська система.

**Принцип побудови ЦСП SDH.** Упровадження технології SDH привело до чергового етапу розвитку ЦСП. Мережі SDH належать до класу мереж з комутацією каналів. У них використовується принцип часового поділу каналів у сполученні з принципом “контейнерного” транспортування.

Контейнери формуються різної, але фіксованої величини в розрахунку на стандартну ієрархію швидкостей завантаження їх бітами. Границі контейнерів позначають певними кодovими комбінаціями імпульсів, що надходять синхронно і відзначаються дуже високою стабільністю частоти. Біти кожного відправника завантажуються в окремий контейнер (контейнери) і забезпечуються заголовком з адресною частиною. Початок завантаження не обов’язково збігається з початком контейнера, але про це теж є показчик у заголовку. За цим заголовком і показчиком програма мікропроцесора може розшифрувати будь-який контейнер. Це дає такі переваги: завжди є можливість упакувати і передати інформацію SDH чи PDH; повідомлення будь-якого відправника можна вихопити з контейнера “на льоту” без послідовного розпакування усього цифрового потоку, як це робиться у PDH-системах.

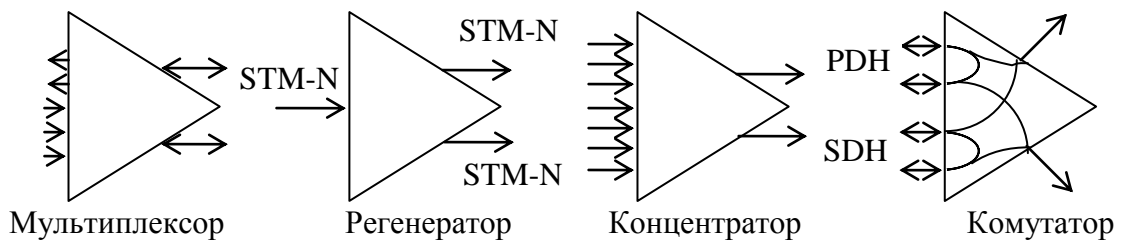
Великі контейнери ще називають синхронними транспортними модулями STM-N. Число  $N$  пов'язане з ієрархічною швидкістю цифрового потоку (табл. 15.1). Як первинний формат прийнятий STM-1, який має блокову структуру, що складається з 270 стовпців і 9 рядків *байт*, у тому числі заголовок та інформаційна частина. Йому відповідає швидкість передавання 155, 52 *Мбіт/с*.

Таблиця 15.1

**Характеристики синхронних транспортних модулів**

№ п.п.	Рівні ієрархії	Модулі	Швидкість передавання	Кількість ОЦК
1	1	STM-1	155,52 <i>Мбіт/с</i>	1890
2	4	STM-4	622,08 <i>Мбіт/с</i>	7560
3	16	STM-16	2488,32 <i>Мбіт/с</i> чи 2,5 <i>Гбіт/с</i>	30 240
4	64	STM-64	9953,28 <i>Мбіт/с</i> чи 10 <i>Гбіт/с</i>	120 960
5	256	STM-256	39 813,12 <i>Мбіт/с</i> чи 40 <i>Гбіт/с</i>	483 890

Контейнери – це не фізичні, а логічні поняття. Вони формуються за програмою роботи мікропроцесора, тому називаються віртуальними. Основний пристрій, що заповнює великі контейнери малими контейнерами різного розміру називається *синхронним мультиплексором SMUX*. Особливість SMUX полягає у наявності двох оптоволоконних виходів, якими рухаються контейнери з однаковою інформацією. Завдяки цьому фізичному резерву підвищується надійність мереж SDH. SMUX може виконувати багато функцій, а саме: введення і виведення цифрових потоків, регенерація, концентрація, комутація і маршрутизація (*рис. 15.1*), перевантаження інформації з одного контейнера до іншого.



*Рис. 15.1.* Багатофункціональність синхронного мультиплексора SMUX

Система і мережа SDH розроблялися під комп'ютерне управління і не забезпечують мультиплексування окремих сигналів ОЦК зі швидкістю передавання 64 *кбіт/с*. Вони спроектовані так, щоб забезпечити синхронне мультиплексування синхронних і плезіохронних цифрових потоків.

Величезна перевага технології SDH полягає в можливості дистанційного контролю й управління всіма елементами мережі. Для цього в заголовках модулів виділені спеціальні байти, за якими без переривання зв'язку передається інформація телеконтролю, управління і службова інформація. Вона забез-

печує реєстрацію аварій, збирання статистики зміни конфігурації мережних елементів і топології мережі в цілому. Це забезпечує:

- зниження експлуатаційних витрат;
- підвищення надійності, тому що перехід на резервний шлях триває не більш як 50 мс.

Істотною особливістю SDH-технології є наявність показників початку визначеного фрагмента сигналу, наприклад, первинного цифрового потоку E1 у структурі модуля STM-1. Наявність таких показників у кожного переданого потоку дає змогу визначити його місце розташування в структурі відповідного модуля STM-N і виділити його з цієї структури у будь-який момент часу і практично у будь-якому вузлі мережі SDH.

Перевагами технології SDH порівняно з PDH є такі:

- як середовище передачі використовують одномодові оптичні волокна з ймовірністю похибок  $10^{-11}$ ; ділянки регенерації можуть сягати 100–120 км, завдяки цьому зникає необхідність у регенеративних пунктах, що не обслуговуються; допускаються радіорелейні вставки з інформаційною швидкістю 622 Мбіт/с;

- регенератори, крім своїх традиційних функцій (відновлення амплітуди, форми і часового положення імпульсів), виконують функції циклової синхронізації, деякі функції управління мережею і контролю за якістю її функціонування;

- ефективно управління смугою пропускання мережі;
- функціональна сумісність мережних елементів різних виробників;
- 100% резервування і використання двох виходів з апаратури мережних елементів для здійснення аварійного перемикавання;

- використання сигналу основної частоти 2,048 МГц для тактової синхронізації.

Апаратура ЦСП SDH багатofункціональна і має високий ступінь уніфікації, що дає змогу перетворити один мережний елемент в інший.

Алгоритм формування інформаційних структур SDH такий:

- блоки даних PDH чи SDH разом із заголовками адресної і службової інформації розташовуються у віртуальному контейнері. Віртуальні контейнери є одиницею комутації мультиплексорів SDH;

- віртуальні контейнери завантажуються у синхронний транспортний модуль із загальним для всіх контейнерів заголовком;

- синхронні модулі транспортуються в пункт призначення, де з них “вилучаються” контейнери з блоками PDH чи SDH;

- у проміжних пунктах за відповідними укажчиками “на льоту” вихоплюються блоки чи контейнери, що призначені для цих пунктів.

Усталена робота мережі SDH залежить від якості синхронізації її вузлів. Вимоги до відносної нестабільності частот – не гірше  $10^{-11}$ . Для синхронізації використовуються цезієві чи рубідієві атомні стандарти частоти, відкалібро-



вані за сигналами світового скоординованого часу, чи тактової частоти, яка виділена з сигналів навігаційних супутників ( $5 \cdot 10^{-8}$ ), чи від кварцового генератора ( $10^{-6}$ ). Останні два варіанти вимогам не відповідають.

На сьогодні в усьому світі SDH визнана як сучасна технологія для побудови цифрових транспортних мереж. Цифрову систему передачі SDH застосовують багато країн, у тому числі й Україна. На магістралях ці системи працюють на одномодових ВОК, а в місцевих і зонах мережах використовуються багатомодові ВОК.

Недоліком технології SDH є нездатність динамічно перерозподіляти пропускну спроможність між абонентами мережі, як це відбувається в пакетних мережах. Значимість цього недоліку збільшуватиметься в міру збільшення частки трафіка цифрових даних стосовно голосового трафіка.

У США аналогом Європейської SDH-мережі є SONET, тобто синхронна оптична мережа.

### 15.3. Технології щільного та надщільного хвильового мультиплексування (DWDM, HDWDM) і створення повністю оптичних мереж (AON)

Технологія хвильового мультиплексування (WDM) дає змогу істотно збільшити швидкість пересилання сигналів в одному одномодовому волокні (ОВ). За цією технологією діапазон довжин хвиль, наприклад, 1530–1560 нм поділом за довжиною хвилі розбивається на кілька оптичних хвильових каналів, що пролягають в одному ОВ. Якщо довжини хвиль сусідніх каналів розрізняються на 3,2 нм, то в зазначеному діапазоні (рис. 15.2) можна розмістити 8 оптичних каналів.

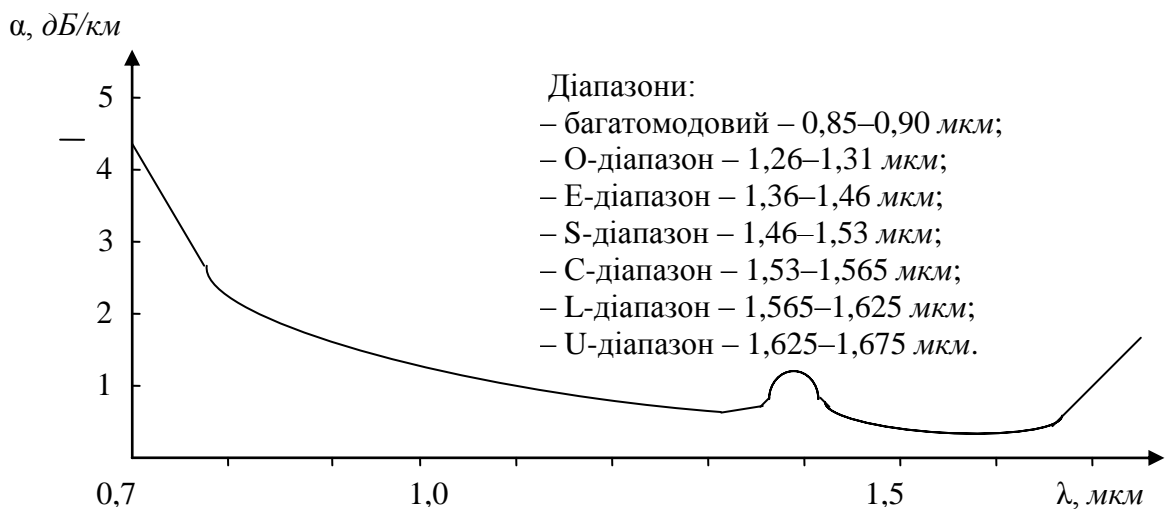


Рис. 15.2. Залежність коефіцієнта згасання оптоволокна від довжини хвилі сигналу

Якщо в кожному з них функціонує система SDH рівня STM-64, то сумарна швидкість передавання одним ОВ становитиме 80 Гбіт/с.

Стандартної класифікації WDM не існує, тому зустрічаються системи передачі WDM і з іншими характеристиками.

Подальший розвиток технології WDM спрямовано на збільшення кількості оптичних каналів в одному ОВ через зменшення рознесення сусідніх каналів за довжиною хвилі, чи за частотою. Унаслідок цього розроблені технологія і системи передавання *щільного хвильового мультиплексування DWDM*.

ITU-T рекомендує такі варіанти рознесення сусідніх каналів:

- на 100 ГГц (0,8 нм), що дає змогу створити 40 каналів;
- на 50 ГГц (0,4 нм), що дає змогу створити 80 каналів.

Деякі компанії випускають експериментальні зразки елементів для реалізації *надщільної DWDM (High-DWDM)*, які здатні працювати з рознесенням 25 ГГц (0,2 нм), що дає змогу створити в тому самому діапазоні хвиль (і частот 192–196 ТГц) 160 каналів зі швидкістю передавання 10 Гбіт/с кожен. Загальна швидкість передавання дорівнюватиме 1,6 Тбіт/с (див. рис. 15.2). У лабораторіях уже працюють версії 200-канальних систем, у яких довжини хвиль у сусідніх каналах відрізняються на величину 0,1 нм.

Спосіб реалізації цих технологій наведено на рис. 15.3. З нього видно, що до суматора підходять декілька ОВ. По кожному з них надходять сигнали у своєму хвильовому діапазоні, наприклад,  $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \lambda_4$ , які об'єднуються у суматорі і далі поширюються по одному волокну. На протилежному кінці ВОК вони розділяються спеціальним розгалужувачем з оптичними фільтрами. У кожному вихідному ОВ розгалужувача є коротка ділянка, що містить оптичний фільтр, настроєний на одну з робочих хвиль. Так здійснюється хвильове розділення каналів.

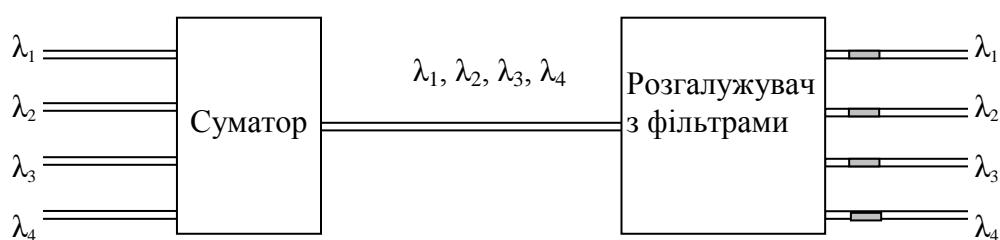


Рис. 15.3. Ушільнення і розділення оптичних сигналів за довжиною хвилі

Однією з новітніх розробок є комутовані DWDM-системи, у яких комутація здійснюється перестроюваними оптичними фільтрами (див. рис. 15.3). Перестроювання здійснюється за допомогою інтерферометрів Фарбі – Перо або Маха – Цандера, що дає змогу перейти від постійної до змінної комутованої системи.

Елементи, що використовуються для ущільнення і розділення (призма, дифракційна решітка, фільтр) є пасивними, а отже, надійними елементами.

Чому хвильове ущільнення стало таким популярним? Справа в тому, що одноканальне ОВ забезпечує пропускну спроможність, не більше одиниць  $Gbit/c$  через неможливість швидшого перетворення електричних сигналів у світлові, і навпаки. Однак можливості самого ОВ набагато ширші. Отже, об'єднуючи сигнали різних довжин хвиль у одному ОВ, можна отримати пропускну спроможність, яка лінійно залежить від кількості об'єднаних каналів. Смуга пропускання одного ОВ становить  $25\,000\, ГГц$ . У ній можна розмістити до 2500 каналів

по  $10\, Gbit/c$ , а також збільшити пропускну спроможність до 40–80  $Gbit/c$  на кожній хвилі, використовуючи під час модуляції багатопозиційні сигнали. Висока щільність світлових каналів у технологіях DWDM, HDWDM досягається завдяки дуже високій ( $10^{-11}$ ) відносній стабільності несучої частоти, її вузькому спектру, низькому рівню шуму.

Технології DWDM, HDWDM призначені для створення глобальних оптичних магістралей нового покоління, що працюють на мультимегабітних і терабітних швидкостях за принципом комутації каналів. Вони займаються тільки об'єднанням різних хвиль в одному світловому пучку, їх розділенням і комутацією світлових каналів. Кодування інформації і пересилання даних до їх завдання не входять.

Наступним кроком у створенні магістральних ТКМ є створення *цілком оптичних мереж (AON, All-optical Network)* з оптичними пристроями: узгодження, змішування (конвертації), підсилення, розділення, комутації, регенерації, ущільнення й іншими оптичними елементами. Виключення перетворення світлового сигналу в електричну форму для його відновлення дозволить істотно спростити й здешевіти мережу, тому що зникне необхідність великої кількості дуже дорогих лазерів з високоточною температурною стабілізацією. Окремі фрагменти такої мережі вже існують, але до створення мережі великого масштабу пройде ще деякий час, тому що в технології AON поки що відсутня система управління, подібна наявній у мережах SDH.

**Елементна база DWDM, HDWDM, AON.** Джерела випромінювання. Останнім часом в цих системах застосовуються лазерні діоди трьох типів: DFB, DBR і VCSEL. Ширина спектру сигналів на виході діодів першого типу  $100\, МГц$ , другого типу –  $1\, МГц$ . Особливістю діодів третього типу є висока технологічність: на одному чіпі можна розмістити матрицю діодів, кожен з яких може випромінювати коливання з заданою довжиною хвилі відповідно до необхідних планів частот.

*Оптичні підсилювачі* – є новою важливою розробкою. Без них необхідно через кожні 10–30 км розділяти груповий оптичний сигнал (ОС) на індивідуальні оптичні сигнали за окремими хвильовими каналами, перетворювати їх в електричні сигнали, підсилювати і відновлювати їх форму традиційним

способом, виконувати зворотне перетворення кожного електричного сигналу у індивідуальний ОС, ущільнювати їх знову у груповий ОС. Оптичний підсилювач здатний підсилювати і деякою мірою відновлювати груповий ОС через 150 і більше кілометрів. При цьому нема потреби у проміжних розділеннях і ущільненнях сигналів, що істотно спрощує і здешевлює мережу та її обслуговування.

Оптичний підсилювач складається зі вставки кварцу, легованого ербієм, лазера накачування, блока узгодження з ОБ, загороджувального фільтра. Частота накачування має перевищувати частоту сигналу, інакше сигнал ослабитиметься, а не підсилюватиметься. Стандартні оптичні підсилювачі працюють в діапазоні 1530–1565 нм, а для накачування використовують випромінювання з довжиною хвиль 980 або 1480 нм. Частота накачування усувається з вихідного сигналу за допомогою оптичного фільтра. Сучасні ербієві оптичні підсилювачі дають змогу збільшити оптичну ділянку лінії зв'язку (де не виконується перетворення сигналу в електричну форму) до 700–1000 км.

Для підсилення в *L*-діапазоні кварц легують ербієм і тулієм. (*L*-діапазон – це четверте вікно прозорості (1570–1605 нм). Саме в ньому відстань між сусідніми хвильовими каналами можна зменшити до 50–25 ГГц і збільшити кількість хвильових каналів до 80–200, а пропускну спроможність ОБ – до 0,8–2 Тбіт/с). Для підсилення на довжині хвилі 1300 нм як присадку використовують празеодимій [7].

*Оптичне волокно.* Найкращим для застосування в сучасних DWDM-системах є волокно типу NZDSF, у якого нульова дисперсія спостерігається на хвилі, що лежить недалеко за межами вікна прозорості (1,53–1,56 мкм). Завдяки цьому у вікні прозорості характеристика дисперсії має невелике значення і однаковий знак, а тому її легше компенсувати. Для компенсації хроматичної дисперсії в оптичну лінію з волокном типу NZDSF включають відрізок волокна з характеристикою дисперсії протилежного знаку. Це дає змогу вирівняти швидкості поширення світлових хвиль різної довжини і зменшити сумарне значення дисперсії. На жаль, у такий спосіб не можна компенсувати поляризаційну дисперсію, але її вплив стає істотним на швидкостях пересилання даних більш як 10 Гбіт/с.

*Регенератори.* Оскільки повністю компенсувати дисперсію неможливо, то потрібні регенератори, хоча у разі використання оптичних підсилювачів регенераційна ділянка збільшується. Регенератор складається з таких блоків: демультимплексування групового ОС; перетворення ОС кожної довжини хвилі у електричний сигнал за допомогою фотодіодів, чутливих до довжини хвилі; електричної регенерації електричного сигналу за амплітудою, формою і тактовою частотою; перетворення електричного сигналу в ОС за допомогою лазерного генератора; мультимплексування ОС у груповий ОС.

*Мультимплексор і демультимплексор.* Оптичний мультимплексор виконує операцію об'єднання (ущільнення) декількох ОС у груповий ОС. Оптичний

демультиплексор виконує операцію виділення з групового ОС окремих ОС за такою ознакою, як довжина хвилі. Їх принцип дії показаний на *рис. 15.3*.

*Оптичний конвертер* – це перетворювач довжини хвилі сигналу з використанням гетеродинування і нелінійної ділянки на прохідній характеристиці оптичного підсилувача. При цьому можна перетворити ОС в електричний сигнал або ОС в ОС, але іншої довжини хвилі. Необхідність останнього залежить від наявності вільних (від перенесення сигналів) хвиль на даній ділянці мережі.

*Фотонний комутатор (маршрутизатор)* – це пристрій, який дає змогу спрямувати будь-яку з хвиль вхідного сигналу кожного порту у будь-який з вихідних портів (за умови, що ніякий інший сигнал цього порту не використовує цю хвилю, інакше варто виконати перетворення хвиль).

У фотонних комутаторах використовують різні оптичні механізми, наприклад, перестроювані фільтри (*див. рис. 15.3*) або сукупність маленьких (менше міліметра) поворотних або висувних (*див. рис. 5.10*) дзеркал. Дзеркальний комутатор застосовується після демультиплексора, де груповий ОС уже розділений за хвильовою ознакою на ОС. Внаслідок повороту дзеркальця на відповідний кут ОС, що падає на нього, спрямовується на необхідне вихідне оптоволокло, де він складається з ОС інших довжин хвиль, спрямованих на те саме оптоволокло вихідного порту.

Комутатори з поворотними дзеркалами у 30 разів менші за традиційні оптоелектронні і споживають у 100 разів менше енергії. Тому вони знайшли застосування у пристроях комутації 256×256 і 1024×1024 канали. Однак у цих комутаторів низька швидкодія і висока чутливість до вібрації. Тому перевага віддається фотонним комутаторам, у яких використовується ефект зміни коефіцієнта заломлення від величини електричного поля.

**Проблеми управління великою оптичною мережею і шляхи їх розв'язання** [58]. Проблемама є неоднорідність підмереж, розширення та удосконалення мережі, тривалий час оброблення заявок на певну величину пропускної спроможності, неврахування особливостей різних видів трафіка, заглинення маршрутизаторів.

Для розв'язання цих проблем розглядаються дві моделі: традиційна оверлейна і перспективна однорангова. В обох моделях частина проблем розв'язується завдяки винаходу нового способу маршрутизації, названого *багатопроTOCOLьною комутацією позначок (MPLS)* і узагальненою MPLS, тобто GMPLS [41]. GMPLS забезпечує автоматичне управління не тільки маршрутизаторами, а й крос-конекторами та іншими пристроями систем ATM і DWDM, динамічний розподіл їх ресурсів: ВОК, робочих хвиль, слотів TDM.

Стосовно оверлейної моделі ІТУ розробляє специфікації автоматично комутованої транспортної мережі (ASTN) і автоматично комутованої оптичної транспортної мережі (AOTN).

## 15.4. Технології побудови регіональних мереж

Якщо для глобальних мереж (WAN) характерне пересилання інформації зі швидкістю  $V = 10\text{--}40 \text{ Гбіт/с}$  на відстані сотні – тисячі кілометрів, то для регіональних мереж (RAN) –  $V = 2,5\text{--}10 \text{ Гбіт/с}$  на відстані десятки – сотні кілометрів.

Досягнення технологій DWDM і HDWDM революціонізували мережі глобального зв'язку, надавши їм гігантської пропускної спроможності. Однак для регіональних мереж вони, а деякою мірою і досягнення технології WDM, виявилися занадто дорогими.

Традиційні технології SDH/SONET, які залишаються монохвильовими, мають низку недоліків, які теж стримують їх застосування у RAN. Це й обмежена гнучкість, яка часто змушує користувача замовляти більшу за потрібну швидкість передавання; і нераціональність у використанні наданих симетричних швидкостей передавання через паузи і асиметрію трафіка у прямому і зворотному каналах; і великий обсяг необхідного обладнання (мультиплексорів введення/виведення, обладнання для підтримання мовних повідомлень, консультаційної служби тощо); і великі (3–4 тижні) терміни оброблення замовлень на розгортання каналу замість припустимих декількох хвилин [58].

Для подолання цих труднощів і зниження вартості пересилання інформації розробляються такі технології [58]:

- прокладає собі дорогу в RAN технологія WDM через надання під різні послуги (передавання мовних повідомлень, пересилання даних) різних хвильових каналів і використання світлодіодів замість лазерів;

- у трьох напрямках модернізується технологія SONET. Одним з них є режим динамічної передачі DTM. Другий полягає у поширенні протоколу 10 Gigabit Ethernet (10 GE) на центральну частину регіональної мережі, третій – в розробленні протокола RPR стійкої (динамічної) кільцевої мережі для обміну пакетами;

- перспективною може виявитись також оптична транспортна мережа (OTN), яку розробляють ITU і ANSI замість SONET.

**Мережа DTM** конфігурується за однією з типових топологій SONET, а саме двоточка, зірка, кільце. Вона будується за стандартом, створеним ETSI і добре пристосованим для пересилання відеоданих у реальному масштабі часу. Передавання в мережі здійснюється зі швидкістю  $1 \text{ Гбіт/с}$  з використанням 8000 кадрів у секунду, що надходять з періодичністю 125 мкс. Кожен кадр складається з 1950 елементарних часових інтервалів (“вікон”, слотів). У слоті міститься 64 біти. Отже, пропускна спроможність слоту  $512 \text{ кбіт/с}$ .

У технології DTM використовують 6 протоколів, які мінімізують кількість ручної праці у процесі конфігурації мережі і спрощують управління нею.

Вони мають таке призначення:

- DCP – для створення каналів;

- DRMP – для управління ресурсами (змінювання розмірів каналів);
- DRP – для розгортання топології мережі;
- DLSP – для визначення оптимального шляху крізь мережу;
- DSYP – для синхронізації;
- DPP – для визначення фізичного способу передавання інформації у мережу DTM.

Таким чином, на відміну від SONET, де два вузли, що з'єднані хвильовим каналом, повністю задіють його (тобто інші вузли не можуть використовувати цей канал), мережа DTM дає змогу різним парам вузлів зв'язуватись між собою, використовуючи динамічно перерозподілені слоти, розташовані на одному і тому самому хвильовому каналі. Комутатори мережі DTM автоматично знаходять нові пристрої в мережі, визначають мережну топологію, виявляють в ній змінювання, ізолюють ділянки збоїв, організують їх обхід. Для цього вони керуються алгоритмом DLSP [58].

**Протокол 10 Gigabit Ethernet.** У локальних мережах (LAN) використовуються різновиди протоколів Ethernet. Локальні мережі зв'язуються між собою через регіональну мережу. Логічним є припущення, що цей зв'язок можна було б здійснити простіше і дешевше, якби RAN була побудована за протоколом 10GE, пристосованим для забезпечення інших видів послуг, але на цьому шляху постали дві проблеми:

- кільцева топологія регіональних волоконно-оптичних мереж не властива мережам Ethernet;
- захист від збоїв і забезпечення високої якості зв'язку, особливо у разі великого навантаження мережі.

**RPR-протокол** почали розробляти з урахуванням вищезгаданих проблем. У ньому передбачено забезпечення стійкості кільцевої мережі за рахунок не менш як двох кілець, забезпечення трьох рівнів якості передавання: голосового трафіка з високою якістю; даних з гарантією обумовленої якості; даних з найменшими затратами, але без гарантії якості.

Розбіжності у рядах прибічників RPR мали місце з питання використання буферів великої ємності, що послабляло позиції RPR у конкурентній боротьбі з 10GE за регіональні оптичні мережі.

**OTN – оптична транспортна мережа** – це новий протокол, що розробляється ITU і ANSI – творцями SONET. Цей протокол замінить протоколи SONET у процесі обслуговування потужних транспортних потоків інформації в мережах загального користування. Він визначить нову комутовану оптичну транспортну ієрархію швидкостей для магістральних каналів з дуже високою пропускною спроможністю. У протоколі OTN розглядаються два рівні: транспортний і сигналізації та управління.

SONET – монохвильове синхронне середовище. На відміну від неї OTN – суттєво асинхронне середовище, що побудоване на оптичних з'єднаннях типу “точка – точка” і враховує, крім SONET як мережі доступу, існування розгорнутої мережі WDM.

Як і SONET, OTN будується на основі базових одиниць – оптичних транспортних модулів OTM. Ці модулі можуть охоплювати множину хвильових каналів, кожен з яких може складатись з часових каналів зв'язку, що працюють з різними швидкостями пересилання інформації. Для віддзеркалення цього факту позначення модуля містить два суфікси, а саме: OTM- $n, m$ , де  $n$  – максимальна кількість хвильових каналів;  $m$  – швидкість пересилання бітів, яку підтримує інтерфейс. Усього підтримується три швидкості: 2,5; 10 і 40 Гбіт/с, для позначення яких  $m = 1, 2, 3$  відповідно. Наприклад, OTM-3,2 позначає модуль, котрий охоплює 3 хвильових канали, кожен з яких забезпечує пропускну спроможність 10 Гбіт/с. Але інтерфейс може підтримувати деякі комбінації швидкостей і тоді  $m$  буде двозначним або тризначним числом, що складається з цифр 1, 2, 3, не розділених комами. Наприклад, OTM-5,12 позначає модуль, що охоплює 5 хвильових каналів, які можуть працювати зі швидкостями 2,5 або 10 Гбіт/с. Сигнали OTM передаються до мережі у вигляді кадрів з заголовком у 64 байти.

На закінчення відзначимо таке:

1. Найважливішими досягненнями технології SDH є: досягнення мультимегабітних і гігабітних швидкостей передачі; можливість безпосередньої вставки і перенесення синхронних і плезіохронних цифрових потоків у складі синхронного високошвидкісного потоку; можливість безпосереднього виділення в будь-якому місці й у будь-який час низькошвидкісних потоків з високошвидкісного потоку; вмонтування механізмів відмовостійкості до базової технології мережі.

2. Технології хвильового і щільного хвильового мультиплексування WDM, DWDM, HDWDM розроблені для оптичних сигналів і вищої ієрархії швидкостей пересилання даних. Їх достоїнства: досягнення терабітних швидкостей; простота нарощування кількості хвильових каналів; їх незалежність один від одного; економічна ефективність, особливо у разі використання оптичних підсилювачів; можливість передавання трафіка будь-якого типу; сумісність з технологіями SDH, Ethernet; стандартизація на рівні ITU-T.

3. У магістральних мережах з ядром DWDM мережі SDH виконуватимуть функції мереж доступу, подібно тому як мережі PDH виконують функції мереж доступу до магістральних мереж SDH.

4. У цілком оптичних мережах AON всі операції виконуватимуться над світловими сигналами без проміжного перетворення в електричну форму. Це спрощує й здешевлює мережу, особливо в зв'язку зі збільшенням ділянок регенерації.

5. Отже, в сучасних глобальних транспортних мережах використовується широкий спектр перерахованих вище технологій: від SDH/SONET до HDWDM. Простіші з них використовуються і в регіональних транспортних мережах, але не дуже ефективно, і для них вони занадто дорогі. Тому пошуки простіших і дешевіших технологій для регіональних транспортних мереж продовжуються.



## 16. Новітні розроблення для мереж доступу

Розглядаються питання, що стосуються мереж доступу, так званої “останньої милі”. Це багатопозиційні цифрові коди, DSL та xDSL-модеми і технології, пасивні оптичні мережі (PON), технології безпроводового доступу.

### 16.1. Багатопозиційні цифрові коди

**“Остання миля”.** Мова йде про двопроводову лінію, що тягнеться від кінцевої АТС до приміщення абонента чи невеликого підрозділу. Її називають “останньою милею”, хоча вона може бути довжиною у декілька миль. Ця лінія розрахована на пересилання аналогових сигналів, а якщо є потреба переслати нею цифрові дані, то їх треба спочатку перетворити в аналогову форму. Таке перетворення робить модем. У приміщенні АТС робляться зворотні перетворення, і відновлені при цьому цифрові дані передаються далі по магістралі.

Необхідно пам’ятати, що сигнал в лінії піддається згасанню, частотним спотворенням і дії завад (теплового шуму, перехресним спотворенням).

**Модеми.** Електричні імпульси як елементи (символи) ЦС мають широкий спектр і тому піддаються істотним спотворенням в аналоговій лінії, розрахованій на пересилання сигналів з верхньою частотою спектру  $F_c = 3400$  Гц. Щоб зменшити ці спотворення, електричні імпульси використовують для амплітудної, частотної, фазової або комбінованої модуляції синусоїдальної несучої. Пристрій, в якому це робиться, називають модем, тобто модулятор-демодулятор, який вмикають між комп’ютером і аналоговою Тлф лінією.

На практиці більшість модемів працюють зі швидкістю 2400 Бод, тобто передають стільки символів за секунду. Якщо символ приймає один з двох станів (0 або 1 В), то бітова швидкість теж становить 2400 біт/с, а якщо символ може приймати один з чотирьох станів (0, 1, 2, 3 В), то кожним з них можна передати вже два біти (00, 01, 10, 11) інформації, тобто бітова швидкість зростає до 4800 біт/с тощо.

Стани символу можуть вимірюватись не лише рівнями струму чи напруги, а можуть бути надані, наприклад, позиціями частоти чи фазового зсуву.

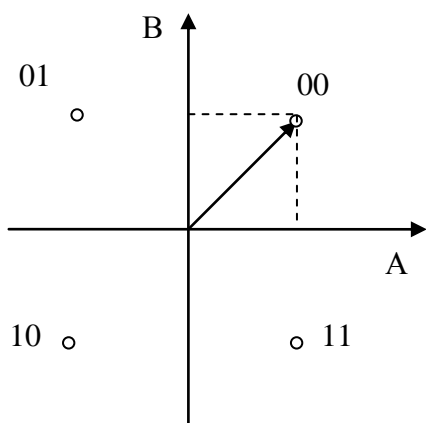


Рис. 16.1. Амплітудно-фазова діаграма QPSK

Якщо цих позицій дві ( $0$  і  $180^\circ$ ), то ними можна передати значення одного біта інформації, а якщо їх чотири ( $45^\circ$ ,  $135^\circ$ ,  $225^\circ$ ,  $315^\circ$ ), то кожним з них можна передати вже значення двох бітів інформації (00, 01, 10, 11), що й робиться методом квадратурної фазової маніпуляції QPSK (рис. 16.1).

Для збільшення кількості біт, передаваних кожною позицією символу, всі кращі модеми використовують комбіновані (амплітудно-фазові) методи модуляції, названі в літературі, за принципом здійснення, методами квадратурної амплітудної модуляції (КАМ, чи QAM). Деякі з амплітудно-фазових діаграм (АФД), а саме: КАМ-16 і КАМ-64 показані відповідно на рис. 16.2 і 16.3. При цих видах модуляції однією позицією символу можна передати відповідно 4 і 6 бітів інформації і таким чином забезпечити швидкості передавання відповідно 9,6 і 14, 4 кбіт/с. Використовуються також комбіновані частотнофазові методи модуляції.

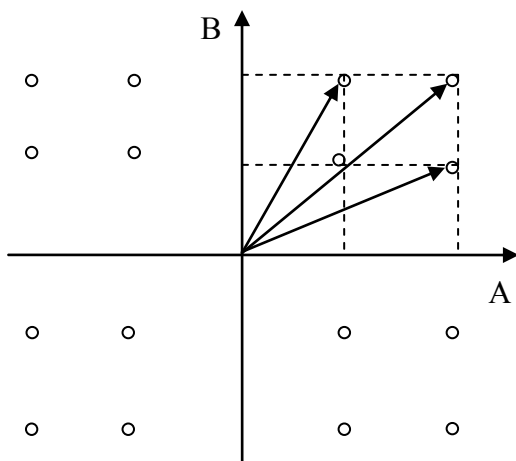


Рис. 16.2. Амплітудно-фазова діаграма КАМ-16

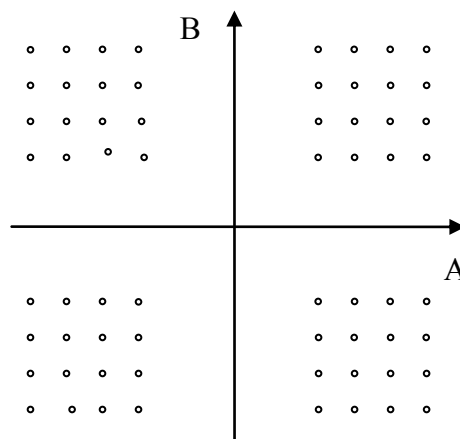


Рис. 16.3 Амплітудно-фазова діаграма КАМ-64

Слід зазначити, що чим більше точок (позицій) на АФД, тим більша ймовірність того, що навіть слабкий шум призведе до помилок під час демодуляції кодових комбінацій бітів. Для зменшення цієї ймовірності в сучасних модемах кожен кодову комбінацію бітів доповнюють бітами корекції (стандарт V.32). Тоді при 32 точках на АФД кожній позиції на АФД відповідатиме не 5, а 4 інформаційних біти, і швидкість передачі інформації дорівнюватиме 9,6 кбіт/с. Така завадостійка модуляція називається треліс-модуляцією.

З урахуванням можливого впливу завад КАМ-256 застосовується в кабельних, а не в Тлф лініях.

Підвищення бітової швидкості до 28,8 *кбіт/с* і 33,6 *кбіт/с* вдалось досягти в лініях з гарантовано низьким рівнем шумів, у яких стало можливим реалізувати пересилання відповідно 12 *бітів* на символ (стандарт V.34) і 14 *бітів* на символ (стандарт V.34 bis). Це виявилось межею для аналогових ліній, яку описаними методами перейти не вдалось. При цьому майже усі модеми перед початком передачі прослуховують лінію та автоматично знижують швидкість пересилання інформації, якщо якість лінії недостатня. Треба відзначити таке:

- якщо модеми на протилежних кінцях лінії мають різні АФД, то швидкість передачі обмежується найменш швидкісним модемом;
- сучасні модеми можуть одночасно працювати в обох напрямках на різних несучих частотах;
- При використанні цифрових абонентських ліній (замість аналогових) швидкість передавання таким способом може бути збільшена до 64 *кбіт/с*. Швидкість визначається частотою дискретизації 8 *кГц* і довжиною кодових комбінацій 8 *біт*, створюваних аналого-цифровими перетворювачами.

## 16.2. Цифрові абонентські лінії

Коли швидкість передавання інформації абонентськими лініями досягла 64 *кбіт/с*, то подальший розвиток у цьому напрямі на деякий час припинився. Але нові види послуг, необхідність (для здешевлення) пересилання комп'ютерних даних через Internet потребували подальшого підвищення пропускної спроможності абонентських ліній. Тоді і виникла низка пропозицій, які можна позначити спільною назвою *xDSL-технологій*. DSL – це цифрова абонентська лінія, а *x* визначає інші букви, що віддзеркалюють різні види технологій.

Виявилось, що обмежувальним чинником у разі нарощування швидкості пересилання інформації до рівня 33,6 *кбіт/с* була не фізична природа аналогової абонентської лінії, а вузькосмугові (3,1 *кГц*) фільтри, що встановлені на АТС для зменшення перехресних завад між різними каналами ТЧ. Отже, щоб зняти це обмеження, треба підключити абонентську лінію до спеціального комутатора, в якому такі фільтри відсутні. На жаль, ємність і пропускна спроможність абонентських ліній залежить від їх довжини, діаметра перерізу та якості (рис. 16.4). Тому в межах “останньої милі” можна розраховувати на ширину смуги частот до 1,1 *МГц* (у витої пари 3 категорії).

Перша пропозиція була спрямована на створення асиметричної DSL, тобто ADSL, в якій за допомогою ЧПК у модемі смуга частот поділялася на три неоднакові частини: 4 *кГц* – діапазон звичайного каналу ТЧ – для доступу до Тлф мережі загального користування (ТМЗК); 10–20% – для пересилання комп'ютерних даних від абонента до комутатора; 80–90% – для пересилання комп'ютерних даних від комутатора до абонента.

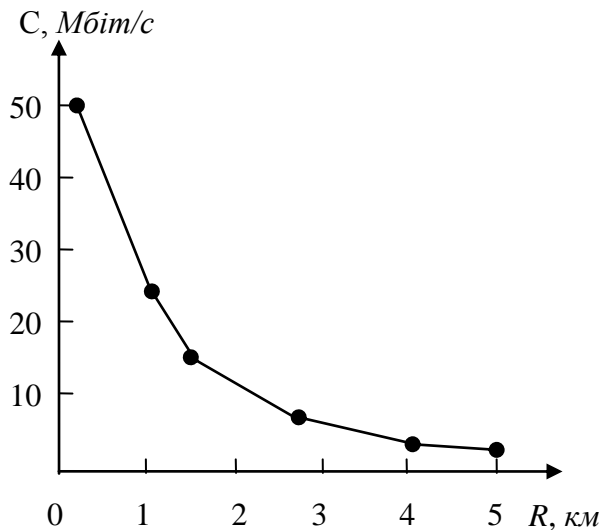


Рис. 16.4. Залежність пропускної спроможності від довжини виті пари 3 категорії

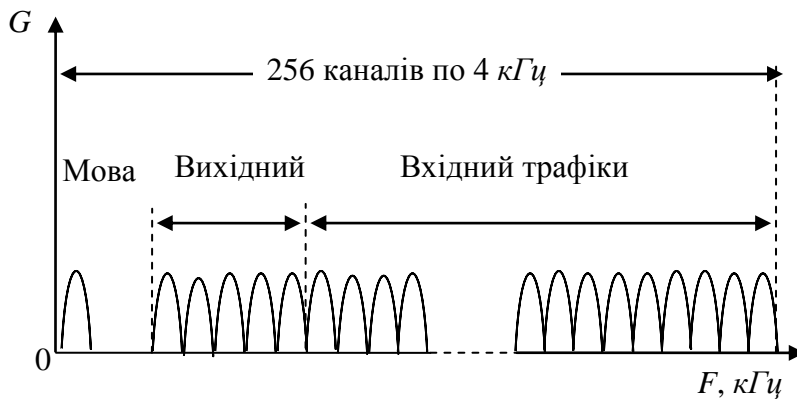


Рис. 16.5. Розподіл каналів у ADSL у разі мультинової модуляції

Однак, у цей час найперспективнішим вважається метод дискретної мультинової модуляції, в якому ширина смуги частот абонентської лінії, що дорівнює 1,1 МГц, поділяється на 256 незалежних частотних каналів по 4312,5 Гц (рис. 16.5). Перший канал призначається для Тлф зв'язку, 2–6 канали не використовуються, оскільки створюють захисну смугу. Решта каналів розподіляється у необхідному співвідношенні для пересилання комп'ютерних даних у прямому і зворотному напрямках. Під час використання, наприклад, в кожному з 224 каналів квадратурної АМ і передавання кожним з них 4000 символів на секунду по 15 біт інформації на символ загальна швидкість пересилання становить 13,44 Мбіт/с.

На коротких дистанціях при якісних каналах швидкість 8 Мбіт/с – цілком реальна, але за станом на 2003 рік реалізовані швидкості 1 Мбіт/с від комутатора і 256 кбіт/с від абонента.

Типова організація ADSL зображена на рис. 16.6. З неї видно, що лінія як складова АТС закінчується в приміщенні абонента невеличким пристроєм узгодження NID. Решта пристроїв у цьому приміщенні: розгалужувач Р, телефон або факс, ADSL-модем і комп'ютер належать абоненту. Розгалужувач може входити до складу NID. Він є аналоговим фільтром, що виділяє смугу частот 0–4000 Гц і спрямовує її на телефон або факс, а решту сигналів – на ADSL-модем. Останній є цифровим сигнальним процесором, налаштованим на роботу як 224 КАМ-модеми, що працюють одночасно на різних частотах. Щодо комп'ютера ADSL-модем може бути внутрішнім або зовнішнім. Для зовнішнього ADSL-модема необхідно організувати високошвидкісне з'єднан-

ня модема з системним блоком комп'ютера за допомогою мережної карти Ethernet.

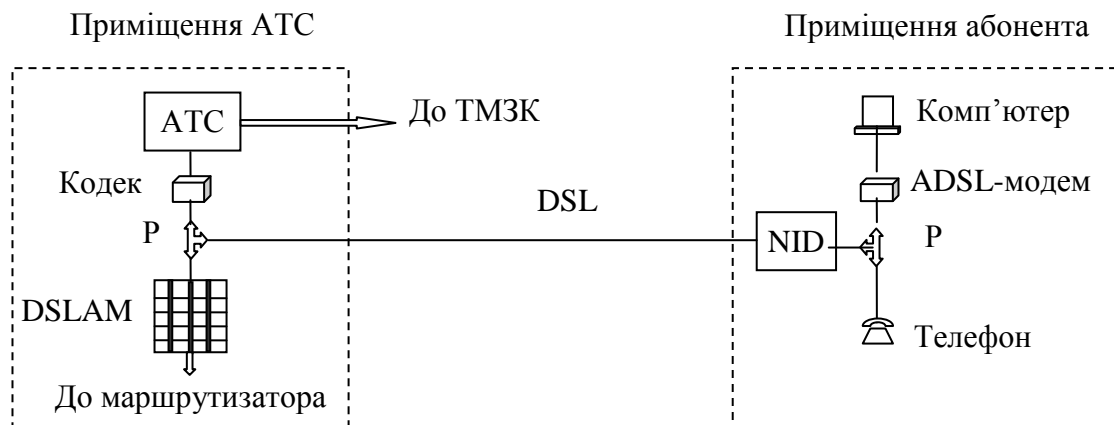


Рис. 16.6. Типова конфігурація обладнання ADSL

На протилежному кінці лінії (в приміщенні АТС) теж є розгалужувач (Splitter). У ньому мовна складова групового сигналу відділяється від даних і надходить через кодек на звичайний телефонний комутатор (АТС). Решта складових (на частотах, вищих за  $26 \text{ кГц}$ ) надходить на мультиплексор DSLAM, тобто концентратор навантаження, який містить сукупність xDSL-модемів, встановлених у спільне шасі, та дисплей для зручності конфігурування і діагностики. У нього може бути вмонтований також той самий розгалужувач. У процесі перетворення КАМ-сигналу у бітову послідовність з неї формуються пакети і надсилаються через маршрутизатор або комутатор у магістраль. Слід звернути увагу на те, що обладнання xDSL за станом на 2006 рік було слабо стандартизоване, через що у абонента і на АТС краще використовувати однотипні модеми.

Повне розділення мови і даних сприяє втіленню ADSL-технології. Для цього достатньо придбати ADSL-модем, розгалужувач і підключити до них абонентську апаратуру. Вартість цього варіанту (з розгалужувачем) більша, але він працює надійно і забезпечує швидкість пересилання інформації до  $8 \text{ Мбіт/с}$ . Вартість варіанту без розгалужувача менша, але забезпечує меншу надійність та швидкість ( $1,5 \text{ Мбіт/с}$ ) і потребує встановлення мікрофільтрів у ТА (з  $f_{\text{в}} = 3400 \text{ Гц}$ ) і в модемі (з  $f_{\text{н}} = 26 \text{ кГц}$ ).

### 16.3. xDSL-модеми і технології

Головна функція модемів – модуляція і демодуляція сигналів. Сучасні модеми, крім того, виконують такі функції, як синхронізація, адаптивна корекція, компенсація відлуння, завадостійке кодування і декодування, захист від похибок, стиснення даних, тестування каналу зв'язку, формування кадрів певної довжини тощо.

**Модеми і технології для телефонних ліній.** Абонентам необхідно отримати доступ до бази даних або до інших віддалених абонентів через магістраль, використовуючи свою абонентську Тлф лінію і поставивши необхідні пристрої у своєму приміщенні. Тому за допомогою постачальників послуг вони почали активно впроваджувати різні види xDSL-технологій: асиметричну – ADSL, симетричну – SDSL, зі змінною швидкістю – RADSL, надшвидку – VDSL та ін. Ці технології забезпечують таку можливість за допомогою xDSL-модемів. На відміну від звичайних модемів (V.34, V.90), розрахованих на роботу у смузі пропускання 3100 Гц, xDSL-модеми дають змогу працювати у смузі порядку 1 МГц. Величина цієї смуги залежить від довжини і діаметра перерізу абонентської лінії та її якості. Досягнення xDSL-технологій багато в чому визначаються також досягненнями техніки кодування, які розглядались раніше.

Так ADSL-модем, підключений до короткої лінії між абонентом і АТС, створює три канали з уже відомими характеристиками. Асиметрія їх швидкостей необхідна тому, що від бази даних до абонента йде більший потік інформації, ніж у зворотному напрямку. Для забезпечення асиметрії швидкостей смуга пропускання абонентського закінчення ділиться між каналами несиметрично.

Технологія SDSL дає змогу на одній парі абонентського закінчення організувати два симетричних канали пересилання даних (наприклад, для пересилання даних між штабами). Каналу ТЧ ця технологія не передбачає. Швидкість пересилання даних в обох напрямках може становити 2–7 Мбіт/с, але як і в ADSL-технології вона залежить від характеристик лінії.

З двох розглянутих технологій для індивідуальних користувачів більше підходить ADSL-технологія, а для колективних – SDSL-технологія.

**Кабельні модеми і технології.** Останнім часом для швидкісного доступу до баз даних почали застосовувати абонентські закінчення кабельного телебачення, задля яких розроблені кабельні модеми. У цих мережах доступу використовується телевізійний кабель з опором 75 Ом для пересилання даних з високою якістю від бази даних до абонента і в зворотному напрямку.

Сучасні телевізійні кабелі добре функціонують на частотах до 550–750 МГц і навіть вище. Як правило, для вихідних каналів, що йдуть від абонента, виділяють частоти 5–42 МГц, а для вхідних – частоти 54–750 МГц, з яких частоти 54–550 МГц використовують для передавання телевізійного і частотно-модульованого сигналів, а частоти 550–750 МГц – для пересилання даних. Зазвичай використовується схема, у якій в кожній смузі частот з 6 або 8 МГц вхідного каналу застосовується КАМ-64, а в кабелях відмінної якості – КАМ-256. Це дає змогу забезпечити швидкість пересилання інформації 27–39 Мбіт/с на канал в 6 МГц (європейські значення на третину вищі), що ставить підвищені вимоги до пропускну здатності магістралей.

Для вихідного каналу не зовсім підходить навіть КАМ-64, оскільки на його частотах високий рівень завад від мікрохвильових пристроїв і радіостанцій. Тому застосовують менш швидкий (10 Мбіт/с), але надійніший метод QPSK-маніпуляції, який забезпечує передачу 2 бітів за символ, замість 6 чи 8. Через це асиметрія пропускних спроможностей вхідного і вихідного каналу стає ще більшою.

Для забезпечення доступу до магістралі потрібен кабельний модем – тобто пристрій, що має 2 інтерфейси: один – до комп'ютера, другий – до кабельної мережі. Ці модеми виготовляються згідно зі стандартом DOCSIS (у США) і EuroDOCSIS (в Європі). Їх інтерфейс між модемом і комп'ютером – це Ethernet зі швидкістю 10 Мбіт/с (іноді USB). Незабаром ці модеми стануть внутрішніми модемами комп'ютера. Другий інтерфейс складніший.

Кабельні модеми, як і ADSL-модеми, перебувають на постійному підключенні та готовності до роботи. Робота абонентського модему починається з ініціалізації і відбувається так. Після подачі напруги він починає прослуховувати вхідний канал у пошуках спеціального пакета, який час від часу посилає розподільвач каналів, розташований на стику волоконно-оптичної магістралі і кабельних мереж доступу. Він містить повідомлення щодо системних параметрів для модемів, що включаються до роботи. Після виявлення спеціального пакета модем оголошує свій намір щодо сумісної роботи. Розподільвач призначає йому вхідний і вихідний частотні канали і часові “вікна” згідно із заявленою пропускною спроможністю за технологією STDM. Щоб потрапити до них, модем за допомогою спеціального пакета вимірює дальність до розподільвача і враховує її, визначаючи дійсний момент відправки розподільвачем опорного СС.

У разі звернення кількох абонентів по спільному каналу до розподільвача одночасно виникає колізія, яка розв'язується повторним зверненням через деякий випадковий інтервал часу за методом АЛОНА.

Ethernet не можна використовувати як інтерфейс на протилежному кінці кабелю саме тому, що розподільвач каналів, не здатний прослуховувати лінію.

Перший пакет, який модем надсилає розподільвачу, містить запит щодо часу доби і IP-адреси, що надається згідно з протоколом DHCP. Наступний крок пов'язаний із захистом інформації, для цього здійснюється обмін ключами, наприклад, за допомогою алгоритму Діфі – Хеллмана. Закінчується ініціалізація ідентифікацією модему в захищеному каналі. Після цього абонент може працювати з базою даних. Усі дані в обох напрямках передаються у вигляді, зашифрованому за допомогою коду Ріда – Соломона.

Управління вхідними даними в мережі доступу здійснюється не так, як вихідними:

– відправник, яким є розподільвач каналів, єдиний, хто претендує на лінію;

– трафік вхідного каналу зазвичай набагато більший трафіка вихідного каналу, а тому використовує пакети набагато більшого розміру (204 байта), з яких дані займають у пакеті 184 байта (згідно з Міжнародним стандартом MREG-2 13 818).

## 16.4. Технології безпроводового доступу

**Технології радіодоступу.** Вартість кабелю висока, а прокладка трудомістка. Альтернативою йому є лінії і мережі радіодоступу, в яких інтегровані Тлф зв'язок і доступ до магістралі. Перші безпроводові лінії (WLL) зв'язку почали працювати у 1998 році у США. Спочатку їм був наданий діапазон 2,1–2,7 ГГц (11–12 см), поділений на смуги частот 72 і 198 МГц, в якому забезпечувався радіус дії 45–50 км [41; 58]. У цьому діапазоні частот працює система багатовузлового багатоканального розподілу (MMDS) за топологією “точка – багато точок”, але з часом він виявився перевантаженим. Тому прийшлося доповнити його міліметровим діапазоном (28–31 ГГц в США, 40 ГГц в Європі) з шириною смуги частот 1,3 ГГц. Радіус дії на цих частотах виявився обмеженим (1–5 км) через сильне згасання в рослинному покриві і гідрометеорах [41; 58].

Для реалізації доступу у локальній багатоадресній розподільчій службі (LMDS) поряд з КЦ на вежі встановлюються 4 секторні антени, а в абонентів – параболічні антени, аналогічні супутниковим (рис. 16.7). У кожному секторі сумарна швидкість від КЦ становить 3 Гбіт/с, а до нього – 1 Гбіт/с, що дає змогу надати послуги одночасно у 4-х секторах 36 000 абонентів, тобто забезпечити 100 000 клієнтів.

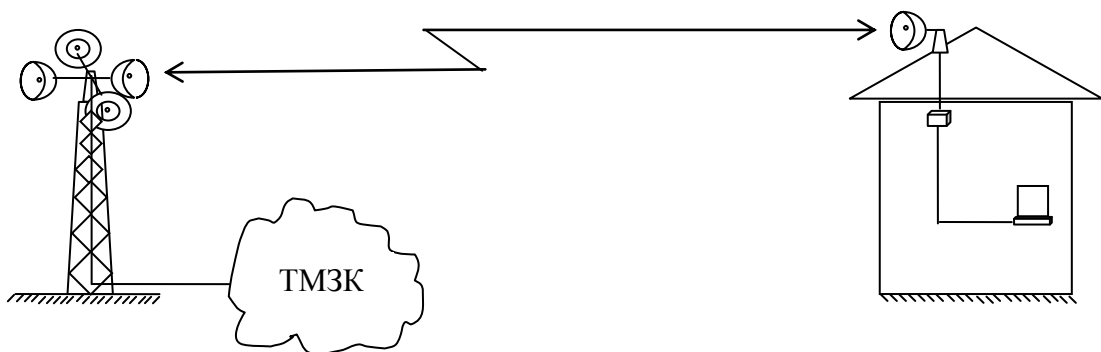


Рис. 16.7. Архітектура системи радіодоступу

**Безпроводова оптика** здатна забезпечити швидкість передавання інформації 0,155–10 Гбіт/с, але тільки за двоточною схемою і на відстанях 1–2 км за умов гарної погоди, або на відстані 200 м з надійністю 99,99...99,9999% [58]



Доступ до телевізійної мережі можна здійснити за допомогою інфрачервоного каналу. Його радіус дії у приміщенні – декілька метрів. Використання цього каналу надворі нашкоджується на великі втрати енергії під час дощу і туману. Для розширення радіусу дії у приміщенні до 20–30 м слід використовувати радіоканал на частоті 2,45 МГц при потужності Прд 0,1–1 Вт. При таких рівнях потужності дві системи радіодоступу можуть працювати без взаємних завад, перебуваючи на відстані 40–50 м [41; 58]. Для підвищення завадозахисту може використовуватись кодове розділення каналів (CDMA).

Поширеною для використання в приміщеннях є система Bluetooth (“Блакитний зуб”), яку розробила і випускає шведська фірма Erisson. Цей радіомодем працює від акумулятора. Потужність сигналу на його виході – 1 мВт, габарити – 10,2×140×1,6 мм.

## 16.5. Волоконно-оптичні і гібридні мережі доступу

Якщо на магістралях найважливішого значення набуває пропускна спроможність, то в мережах абонентського доступу – ціна обладнання, тому що на кілька порядків зменшується кількість користувачів, на яких розподіляється ця ціна. Саме тому на дистанції “останньої милі” поки що використовують переважно мідні проводи з їх обмеженою пропускною спроможністю або радіолінії чи безпроводові оптичні лінії з їх залежністю від погодних умов. Завдяки xDSL-технологіям вдалось значно підвищити пропускну спроможність мереж абонентського доступу, але для цілого ряду застосувань цього недостатньо. У той же час остаточні вимоги до перспективних транспортних мереж не можуть бути сформовані, доки не будуть створені усі умови для високошвидкісного абонентського доступу, який задовольнить вимоги користувачів щодо усіх видів послуг.

**Гібридна коаксіально-волоконно-оптична мережа доступу** дає змогу просунутися у розв’язанні поставленої проблеми через заміну коаксіального кабелю на ВОК скрізь до кінцевого вузла (концентратора) і використання мідних кабельних відгалужень від концентратора до помешкань користувачів. Один концентратор може обслуговувати 500–2000 будинків [58]. Кожен концентратор функціонує як комутатор Ethernet, через який група будинків підключається до мережі.

Незручність полягає в тому, що пропускна спроможність для окремого абонента має випадковий характер, оскільки залежить від кількості абонентів, які нині користуються мережею. Тому така технологія не здатна забезпечити дійсно високошвидкісний доступ у майбутньому.

**Волоконно-оптична мережа доступу** – це завтрашній день дистанції “останньої милі”. Дуже перспективною вважається PON (рис. 16.8), яка дає змогу зменшити вартість обладнання, завдяки зменшенню в мережі доступу

кількості активних елементів (стандарту G.983), тобто елементів, яким потрібне електроживлення. Аналіз показав, що в PON у 32 рази менше з'єднань, ніж в активній ВОК-мережі. Крім того, PON дешевша мідної кабельної проводки при їх довжинах, більш як 2 міль [58]. Основні затрати пов'язані з копанням траншей для ВОК. З цієї причини розгортання PON доцільно починати там, де для цього нема перешкод, тобто в польових умовах, на початку будівництва нових житлових масивів тощо.

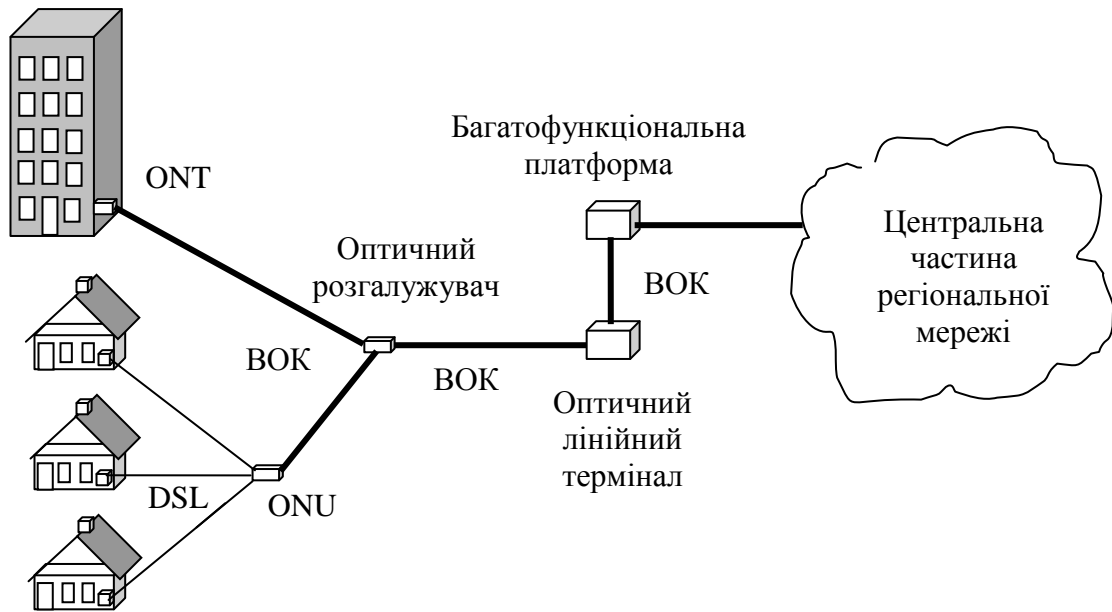


Рис. 16.8. Пасивна оптична мережа доступу

PON – це деревоподібна структура, що складається з визначеної кількості гілок, які називаються *оптичними розподільчими мережами*, для прокладання яких від центрального офісу (ВЗ) до приміщень користувачів використовують набір пасивних оптичних розгалужувачів, атенуаторів, з'єднувачів.

У PON можуть використовуватись активні пристрої трьох типів. У центральних офісах Тлф компанії містяться спеціальні комутатори, які називаються лінійними оптичними терміналами OLT. Вони або самі генерують оптичні сигнали, або приймають сигнали SONET і передають їх через один або декілька портів розгалужувача. Далі ці оптичні сигнали приймають модуль оптичної мережі ONU і/або кінцевий пристрій оптичної мережі ONT і перетворюють в електричні сигнали, які по DSL надходять до приміщення користувачів. ONT використовують, якщо ВОК підведений до будинку чи до приміщення користувача. ONU використовують, якщо ВОК не підведений до самого будинку користувача, а прокладений, наприклад, до телекомунікаційної шафи, розташованої на підвір'ї.

**Варіанти PON.** Уздовж всієї деревоподібної структури PON використовують комбінування ущільнення за довжиною хвилі і за часом. Залежно від

технологій доступу (ATM чи Gigabit Ethernet) існують два основних варіанти PON: APON і EPON.

*APON* працює аналогічно великим мережам ATM. Користувач прокладає крізь PON віртуальний канал до пункту призначення. Для прискорення комутації в мережі Тлф компанії ці канали об'єднуються у віртуальний шлях.

APON може працювати у симетричному (155 *Мбіт/с*) або в асиметричному (622/155 *Мбіт/с*) режимі. Для передавання вихідних і приймання вхідних даних використовуються різні хвильові канали в одному і тому самому або у різних ВОК. При цьому два канали вхідних даних формуються в діапазонах 1,48–1,50 *мкм* і 1,539–1,565 *мкм*, а пересилання даних здійснюється в діапазоні 1,26–1,36 *мкм*. Зараз APON може підтримувати 16 хвильових каналів з інтервалом 200 *ГГц* або 32 хвильових канали з інтервалом 100 *ГГц*. У межах кожного хвильового каналу діапазону 1,48–1,50 *мкм* застосовують ще й часове ущільнення каналів. У межах часових інтервалів ці мережі поводяться як LAN, що реалізують технологію Ethernet або ATM. При швидкості передавання інформації 155 *Мбіт/с* кадр складається з 56 слотів, з яких 53–54 слоти використовуються для пересилання даних, а 3–2 слоти – для службової інформації. У кожен слот завантажується один ATM-пакет. При швидкості пересилання інформації 622 *Мбіт/с* об'єми кадрів і слотів збільшуються у 4 рази.

Після закінчення підготовки APON до роботи OLT посилає сигнал дозволу на доступ. ONU і ONT надсилають у відповідь свої унікальні номери і параметри доступу, за якими OLT конфігурує з ONU і ONT. Після цього в роботу включається алгоритм ATM. Коли OLT посилає пакет ATM, кожен ONU і ONT порівнює ідентифікатор віртуального *шляху* пакета зі своїм власним, і, якщо вони збігаються, копіює пакет, усуває його з мережі і надсилає до приміщення користувача. Обладнання користувача порівнює ідентифікатор віртуального *каналу* пакета зі своїм власним, і, якщо вони збігаються, копіює дані і знищує пакет.

Якщо ONU чи ONT необхідно передати інформацію, то він інформує про це OLT, чекає від OLT управлінський пакет PLOAM, виявляє в ньому параметри доступу, призначені лише для нього, і тільки після цього передає пакети своїх даних. Приймач OLT використовує преамбулу пакета для відновлення синхронізації, зчитує вміст пакета і передає його на ATM-комутатор.

Для захисту інформації в APON застосовують скремблювання. Для підвищення надійності кожен ONT підмикається до двох OLT, і вибирається “чистіша” лінія зв'язку.

*EPON*. У ATM є два недоліки: 10% ємності пакетів займають їх заголовки; необхідно виконувати трансформацію пакетів Ethernet у пакети ATM і навпаки. Через це у 2002 році розпочались роботи зі створення EPON. Об'єктами дослідження стали: швидкості передавання інформації 10 *Мбіт/с*

та 1 Гбіт/с; топології “точка – точка” для ВОК та мідного кабелю і “точка – багато точок” тільки для ВОК; відстань 10 км і швидкість передавання 1 Гбіт/с для одномодового ВОК та відстань 625 м і швидкість передавання 10 Мбіт/с для мідної пари. Передбачається індикація збоїв і обхід збійних ділянок, облік і складання рахунків. Питання якості і безпеки, мабуть, увійдуть до інших специфікацій [58].

На закінчення відзначимо таке:

1. Що є кращим для “останньої милі” – ADSL з витю парою чи кабельна мережа доступу?

Пропускна спроможність кабелю в сотні разів вища, але не вся доступна: 67% її зайнято телевізійними і частотно-модульованими сигналами.

Пропускна спроможність витю пари цілком належить абоненту, тоді як до кабелю підключаються багато абонентів, які змушені ділити пропускну спроможність кабелю між собою, створюючи незручність в роботі.

Доступ по кабелю можливий на більших відстанях, ніж по витій парі.

У системі ADSL інформація більш захищена, тому що ця система двоточкова.

Телефонна (ADSL) система надійніша, тому що в ній існує резервна система живлення, а в телевізійній (кабельній) її нема.

2. Є проблеми і в системах радіодоступу: має бути забезпечена пряма видимість між антенами, яку не завжди можна забезпечити, особливо через високі будівлі в містах; високе згасання енергії РХ в листях дерев; високе згасання енергії РХ в каплях дощу, яке змушений компенсувати запас потужності Прд.

У 2002 році був опублікований стандарт безпроводових регіональних обчислювальних мереж (Wireless MAN) IEEE 802.16, який регламентує застосування WLL для цифрової телефонії, доступу до Internet, з'єднання віддалених ЛОМ, теле- і радіомовлення тощо. Це сприятиме ширшому втіленню радіодоступу.

3. Здійснюється інтенсивна підготовка до побудови гібридних і волоконно-оптичних мереж доступу. Дуже перспективною вважається пасивна оптична мережа PON.

4. Взагалі, усі ці мережі доступу мають право на існування. Вибираючи одну з них для практичного застосування, треба виходити з конкретних умов.

## 17. Новітні радіотехнології для систем мобільного УКХ-зв'язку і широкосмугового радіодоступу

Запозичення цивільних технологій і їх адаптація до військових потреб стає одним з важливих стимуляторів розвитку техніки ВЗв. Отже, необхідно уважно відстежувати новини цивільного зв'язку і замислюватись над їх адаптацією щодо військових потреб.

### 17.1. Вплив середовища поширення УКХ на якість зв'язку

Системи мобільного зв'язку працюють в УКХ діапазоні, в якому радіозв'язок без ретрансляції можливий лише в межах прямої видимості. На жаль, кількість можливих шляхів надходження РХ від Прд до Прм, особливо в міських умовах, може виявитись зовеликою, що призводить до інтерференції і завмирань. Під час побудови ймовірностної моделі багатопроменевого каналу вважається достатнім ураховувати 12 променів, а в спрощених моделях – 6 [67].

Характеристики реального каналу змінюються за часом з багатьох причин, однією з яких є змінювання взаємного положення Прд і Прм. Миттєва потужність багатопроменевого вузькосмугового сигналу на вході Прм зазнає швидких і глибоких завмирань, тоді як для широкосмугових сигналів ці зміни повільні і незначні.

До числових характеристик реального каналу належать [67]:  $\tau_c$  – середній час затримання надходження променів щодо часу приходу першого променя;  $\tau_z$  – час розширення, тобто середньоквадратичний розкид затримок за часом;  $\Delta f_k$  – смуга когерентності за частотою, тобто смуга, в якій АЧХ каналу – стала, ФЧХ – лінійна;  $\Delta F_d$  – доплерівське розширення спектра, що може досягати 500 Гц;  $T_k = \frac{2}{\Delta F_d}$  – час когерентності, що характеризує швидкість змінювання властивостей радіоканалу у часі.

Спотворення залежать від співвідношення характеристик сигналу і каналу:

– при незмінних характеристиках траси ПРХ мають місце статичні спотворення;

– при  $\Delta f_c \ll \Delta f_k$ , коли для усіх частот спектра радіосигналу коефіцієнт передачі радіолінії змінюється у часі однаково, мають місце дружні завмирання;

– при  $\Delta f_c > \Delta f_k$ , коли змінювання коефіцієнта передачі залежать ще й від частоти, мають місце вибіркові завмирання;

– повільні завмирання спостерігаються, коли тривалість елементарного символу і період маніпуляції  $T_e \leq T_m \ll T_k$ ;

– швидкі завмирання спостерігаються, коли період маніпуляції  $T_m > T_k$ .

Дружні і вибіркові завмирання – антиподи. Кожне з них може бути як повільним, так і швидким. Статичні завмирання можуть бути дружними (при  $\tau_z \ll T_e$ ), коли коефіцієнт передачі приймає хоч і стале, але випадкове значення, або вибірковими (при  $\tau_z \cong T_e$ ), коли виникають міжсимвольні спотворення.

**Методи приймання.** Завадостійкість багатопроменевого приймання, як правило, гірша за однопроменевого. Виділити прямий промінь може вузькоспрямована антена, але в засобах мобільного зв'язку нею не користуються. У цих засобах можливість виділення елементарного символу (ЕС) прямого променя виникає у разі його тривалості набагато меншої, ніж час затримки ЕС решти променів. Більш того, якщо інтервали між затриманими сигналами інших променів перевищують  $T_e$ , то кожен з них може бути виділений окремо від інших за допомогою еквалайзера Вітербі. Далі ці сигнали можуть бути когерентно підсумовані, так що результати приймання можуть навіть поліпшитись. Така технологія передбачена стандартом IS-95 для стільникових систем з кодовим розподілом (CDMA). На жаль, цю технологію не завжди можна реалізувати через недостатню для ШСС виділену смугу частот і інші причини. Тоді доводиться забезпечувати приймання сигналів, спотворених багатопроменевою, за допомогою інших методів.

Боротися з повільними дружними завмираннями можна за допомогою рознесеного передавання / приймання за частотою, або за часом, або/і за простором та поляризацією. Методи комбінування і оброблення сигналів аналогічні тим, що застосовуються у тропосферному зв'язку. Для підвищення завадозахищеності застосовують кодування з псевдоперетасовуванням.

Боротися зі статичними селективними завмираннями можна за допомогою методу усунення або методу корекції.

Ідея *методу усунення* полягає у такому. Якщо розділити потік символів на  $N$  підпотоків і кожен з них передавати на своїй несучій частоті з  $N$  раз меншою швидкістю, тобто з більшою в  $N$  раз тривалістю, то ширина спектра сигналів кожного підпотoku зменшиться в  $N$  раз. При доволі великому  $N$  у кожному підпотокі створиться умова для дружних завмирань, методи боротьби з якими добре відпрацьовані.

*Метод корекції* полягає у вимірюванні поточної частотної характеристики каналу (ЧХК) і її корекції. Для цього в послідовність бітів, що транслю-

ється радіолінією, періодично вставляється маркерна комбінація. У демодуляторі її форма порівнюється з контрольною комбінацією, що дає змогу визначити поточну ЧХК і сформувати коректувальне коло, через яке має пройти сигнал до його демодуляції. Формувати фізичне корегувальне коло не обов'язково, тому що його функції можуть бути замінені перерахунком цифрових зображень відповідних сигналів. Пристрій вимірювання поточної ЧХК і її корекції називається *еквалайзером*.

Еквалайзер Вітербі за умов руху абонента (зі швидкістю 50 км/год у місті та 250 км/год у сільській місцевості) дає змогу забезпечити ймовірність бітової похибки  $10^{-3}$  при  $\frac{E_b}{N_0}$  9–14 дБ, тоді як без еквалайзера за тих самих умов система стає практично недієздатною.

## 17.2. Мобільний зв'язок на шляху від 2-го до 4-го покоління

У 2002 році закінчився період розроблення систем мобільного стільникового зв'язку 3-го покоління (3G) і почалось його упровадження. Але ще у 2000 році, почалось розроблення систем 4-го покоління (4G), упровадження яких може розпочатись після 2010 року. Треба відзначити, що зміна поколінь найчастіше відбувається через зміни у радіоінтерфейсах [69].

Системи 3-го покоління розроблялися відповідно до концепції ІМТ-2000, основні положення якої полягають у такому:

- можливість співіснування систем 2-го і 3-го поколінь;
- максимальна швидкість пересилання даних 2,048 Мбіт/с у смузі частот 5 МГц;
- можливість змінювання швидкості передавання в межах 64–2048 кбіт/с;
- можливість передавання інтегрованого трафіка з різними вимогами щодо якості обслуговування;
- можливість передавання асиметричного трафіка в різних варіантах дуплексу;
- відкритість архітектури для упровадження новітніх технологій.

Серйозною перешкодою на шляху повної реалізації концепції ІМТ-2000 виявилась невідповідність розподілу частот у різних регіонах світу і бажання основних виробників забезпечити співіснування між стандартами різних поколінь. Тому виникла потреба у відмові від єдиного стандарту і погодженні на співіснування сімейства специфікацій, що діють у різних регіонах (Європа, Північна Америка, Азіатсько-Тихоокеанський регіон).

Для систем 3G базовою стала пакетна мережа, а основною технологією ущільнення та розділення каналів – CDMA, чи КРК. Порівняно з технологіями частотного (FDMA) і часового (TDMA) розділення каналів, кодове розділення забезпечило збільшення обсягів трафіка, вищу спектральну ефектив-

ність, стійкість до багатопроменевих завмирань, вищу якість передавання мови, зменшення середньої потужності Прд, підвищення скритності і радіусу покриття стільників [69].

За станом на 2006 рік у 75 країнах світу в експлуатації перебували близько 170 мереж мобільного зв'язку 3G, які надавали послуги у вигляді мовної і відеотелефонії, електронної пошти тощо.

Подальший розвиток мобільного стільникового зв'язку іде двома шляхами: еволюційним і революційним. Еволюційний шлях полягає в застосуванні додаткових каналних плат, нового програмного забезпечення. Він дешевший і швидший, але мало перспективний, тому що майже вичерпав свої можливості. Революційний шлях полягає у створенні зовсім нових технологій, які б враховували асинхронність, багатопроменевість, нелінійність тракту формування сигналу при великому пік-факторі, обчислювальну складність оброблення сигналу, позасмугові випромінювання тощо.

Однією з технологій, що змагаються за місце в системах 4G може стати *технологія ортогонального частотного розділення каналів (OFDMA)* і її модифікації, особливо під час пересилання даних радіоканалами, за потреби перерозподілу каналного ресурсу між користувачами, а також за рівнем внутрішньосистемних завад, пов'язаних з асинхронністю сигналів у різних абонентських каналах. Недоліком технології OFDMA є підвищений пік-фактор і залежність від погодних умов через застосування багатопозиційних кодів з КАМ, чи QAM.

Альтернативою технології OFDMA в системах 4G можуть бути: технологія кодового розділення каналів з багаточастотною несучою MC-CDMA; новий клас кодових матриць для технології MC-DS-CDMA з прямим розширенням спектра і багаточастотною несучою або адресних C-кодів довжиною  $2^n$ , названих *комплементарними* за доповнювальний характер їх кореляційних функцій; M-ічна модуляція з циклічним зсувом; обробка на цифрових сигнальних процесорах зі швидким перетворенням Фур'є (ШПФ). Особливістю CDMA нового покоління є багатовимірне розширення, коли кожному користувачу назначається група з  $n$  комплементарних адресних кодів, передаваних паралельно  $m$  частотними каналами або/і послідовно  $l$  часовими каналами.

Якщо для передавання використовується  $m$  піднесучих у частотній області, то спостерігатиметься двовимірне розширення спектра за допомогою частотно-часових матриць (ЧЧМ):  $m$ -кратне у частотній області і  $l$ -кратне – у часовій.

Який обрис хотілося б бачити в системах, створених за технологією 4G?

Це мали б бути системи, створені на базі єдиного стандарту, здатні забезпечувати передавання мови, мультимедіа і даних на основі протоколу IPv6 зі швидкістю до сотень  $Mbit/s$  з використанням модифікацій технології



OFDMA або/і CDMA. Але у різних міжнародних спільнотах бачення систем 4-го покоління дещо відрізняється, а об'єднує їх таке [69]:

- системи 4G – це нові системи безпроводового зв'язку з високою спектральною ефективністю, що забезпечують обмін даними з максимальною швидкістю 100 *Мбіт/с* у мобільному варіанті з глобальним покриттям і до 1 *Гбіт/с* в обмеженій області для малорухомих об'єктів;

- для систем 4G характерна максимальна інтеграція різних безпроводових платформ, що мають відкриту архітектуру.

Ці вимоги можуть бути забезпечені такими чинниками [69]:

- архітектурною інтеграцією на основі протоколу IPv6, співіснуванням і взаємним доповненням різних технологій радіодоступу;

- адаптивним доступом до ресурсів і створенням епізодичних мереж. Адаптація передбачає генерування повідомлень зі швидкістю, що відповідає пропускній спроможності радіолінії, незалежне управління кодуванням, модуляцією, потужністю Прд; параметрами каналів тощо, інтегруванням мереж мобільного зв'язку і безпроводового доступу;

- управлінням якістю послуг з адаптацією до потреб користувача, непомітним (м'яким) переходом до зон обслуговування інших мереж і операторів;

- технологічним проривом на шляху до 4G на фізичному і MAC-рівнях, що можливо через створення радіоінтерфейсів за модифікаціями технологій OFDMA і/або CDMA, застосування багатопозиційної модуляції (QAM-N), смарт-антен, багатопозиційних антенних систем (MIMO), багатостанційного доступу з просторовим розділенням каналів (SDMA) тощо.

У 2004 році корпорації NEC, NTT DoCoMo, Fujitsu Азійатсько-Тихоокеанського регіону провели випробування системи мобільного зв'язку 4-го покоління. Вона продемонструвала швидкість передавання інформації 1 *Гбіт/с* в стаціонарних умовах, 300 *Мбіт/с* під час переміщення абонента зі швидкістю 30 *км/год* і до 100 *Мбіт/с* – зі швидкістю пасажирського експреса. У системі були реалізовані турбокод, QAM-16, MIMO, ортогональне частотно-кодове мультиплексування зі змінним коефіцієнтом розширення спектра (VSF-OFCDM). Ширина займаної смуги частот становила 30 *МГц* в діапазоні частот 4,5–5 *ГГц* [69].

### 17.3. Технологія OFDMA і її модифікації

**Загальна характеристика.** Технологія OFDMA зараз розглядається як одна з найперспективніших для побудови ширококутних систем цифрового зв'язку багатопроменевими каналами і забезпечує доволі високу спектральну ефективність цих систем. Однією з її важливих властивостей вважається висока стійкість до частотно-селективних завмирань і вузькосмугових завад. У системі з одним несучим коливанням завмирання або вузькосмугова завада на даній частоті можуть повністю перервати пересилання даних, а в

багаточастотній системі за цих умов подавлятиметься лише невелика частка піднесучих коливань. Завадостійке кодування здатне забезпечити відновлення даних, втрачених через подавлення декількох піднесучих [67; 69].

**Варіанти реалізації.** При OFDMA високошвидкісний потік даних розділяється на велику кількість низькошвидкісних потоків, кожен з яких передається своїм частотним каналом (на своїй піднесучій, промодульованій за фазою або за допомогою QAM). Це дає змогу значно збільшити тривалість  $T_e$  елементарних каналних символів, їх енергію і тим підвищити завадостійкість [67]. Високу спектральну ефективність забезпечує доволі близьке розташування сусідніх піднесучих частот з кроком  $\Delta f = \frac{1}{T_e}$ , які генеруються су-

місно так, щоб розташовані на них сигнали були ортогональні. Ортогональність і компактність спектра забезпечують такі співвідношення піднесучих частот, за яких у межах  $T_e$  укладалася б ціла кількість періодів використаної піднесучої. Застосування у демодуляторах ШПФ забезпечує швидке оброблення сигналів. Завмирання за таких умов якщо і бувають, то це скоординовані повільні завмирання, за яких характеристики частотного каналу впродовж пересилання блока даних можна вважати постійними. Це дає змогу адаптувати швидкість пересилання даних у кожному частотному каналі до поточного відношення потужностей сигнал/шум і тим самим збільшити загальну швидкість пересилання даних.

У системах 4G субканал може бути сформований групою піднесучих, вибраних із повного їх складу за допомогою ППРЧ [69]. Матриці, що задають закон ППРЧ для різних користувачів, можуть бути сформовані так, щоб забезпечувалась гарантована взаємна ортогональність їх сигналів всередині даного стільника, а рівень сигналів від інших стільників не перевищував допустимої величини. Так може бути реалізований варіант технології FH-OFDMA, тобто технології багаточастотного доступу з ортогональним частотним розділенням і ППРЧ.

На відміну від асинхронних каналів (від АС до ВС) традиційних систем CDMA, субканали користувачів OFDMA у межах стільника є ортогональними, а тому взаємні внутрішньосистемні завади майже відсутні. Технологія OFDMA може бути прийнятною і для базових станцій. Це спростить оброблення сигналів у Прм абонентських станцій завдяки зменшенню символної швидкості і застосуванню сигнальних процесорів з ШПФ.

Згідно зі стандартами IEEE і ETSI для побудови системи треба обґрунтувати вибір значень таких параметрів: несучої частоти, кількості піднесучих частот, інтервалу між ними, тривалості  $T_e$  каналного символу, захисного інтервалу між сусідніми каналними символами, виду модуляції піднесучого коливання (ФМ, КАМ тощо), методу завадостійкого кодування, способу формування ЧЧМ для управління ППРЧ. Величини цих параметрів визначаються

такими вимогами до системи: відведена смуга частот, необхідна швидкість передавання інформації, час  $\tau_z$  розширення затримки променів, доплерівське розширення спектра сигналу  $\Delta F_d$ .

Розгортання системи OFDMA, як і системи CDMA, не потребує особливого частотного планування, оскільки один і той самий набір частот може використовуватись і в інших стільниках, розташованих за межами прямої видимості стосовно даного стільника.

Недоліками систем OFDMA слід вважати: високу чутливість Прм до нестабільності частот і флуктуацій фази; порівняно високе відношення пікової потужності Прд до середнього її значення, що знижує енергетичну ефективність системи. Але вже є обнадійливі результати щодо зниження пік-фактора і сумісного використання технологій OFDMA і CDMA [69].

*Області застосування.* Зараз технологію OFDMA використовують у цифрових ШСС пересилання даних рухомим об'єктам (від БС до АС), у цифрових радіолініях пересилання даних зі швидкостями 1,6–100 Мбіт/с, у цифровому радіомовленні і телебаченні [67], рекомендована стандартами IEEE та ETSI і для інших застосувань. Вона розглядається як одна з технологій – кандидатів на застосування у стільниковому зв'язку четвертого покоління.

#### **17.4. Технологія MC-DS-CDMA та інші на основі CDMA**

CDMA теж розглядається як технологія – кандидат багатостанційного доступу для систем 4G. Однак її сучасні схемні реалізації не відповідають вимогам 4G через існування кореляції в асинхронному каналі, високий пік-фактор, необхідність високої лінійності каналу і жорсткого контролю за потужністю Прд. Кращим інтерфейсом – кандидатом для систем мобільного зв'язку 4G є MC-DS-CDMA, тобто багаточастотна схема CDMA з прямим розширенням спектра [69].

Якщо DS-CDMA – одночастотна технологія з прямим розширенням спектра у часовій області, MC-CDMA – багаточастотна технологія з розширенням спектра у частотній області, то MC-DS-CDMA – багаточастотна технологія з розширенням спектра у частотно-часовій області. Вона поєднує переваги CDMA (високу спектральну ефективність, м'яку естафетну передачу обслуговування), MC-CDMA (стійкість до частотно-селективних завмирань), DS-CDMA (стійкість до впливу багатопроменевості за рахунок RAKE-приймання).

MC-DS-CDMA забезпечує значно менший пік-фактор порівняно з MC-CDMA і FDMA, тому що в ній передбачені ширші частотні канали, а тому підсумовується менше сигналів.

Під час використання MC-DS-CDMA збільшується кількість параметрів сигналів, які можна змінювати для швидкої адаптації до стану каналу і зменшення впливу завад на якість зв'язку.

МС-DS-CDMA знижує, порівняно з DS-CDMA, вимоги до сигнального ШПФ-процесора за рахунок паралельної обробки у часі.

Масо-габаритні характеристики і раціональне використання енергопотенціала Прд залишаються пріоритетом і для мобільних терміналів 4G. Тому в них можливе використання бінарно-фазової (BPSK) або квадратурно-фазової (QPSK) модуляції і радіоінтерфейсу DS-CDMA, а в базових станціях прийнятним може стати радіоінтерфейс на основі OFDMA, що спростить оброблення в Прм мобільних станцій, завдяки зменшенню символної швидкості і застосуванню сигнальних ШПФ-процесорів.

Для зменшення внутрішньосистемних завад в асинхронному каналі все більше дослідників звертаються до комплементарних  $S$ -кодів як системної основи CDMA 4G. Ортогональність цих кодів ґрунтується не на індивідуальних, а на групових кореляційних властивостях. Кожному користувачу надається пара елементарних  $S$ -кодів для передавання їх на різних частотах. На виході корелятора вони формують єдиний автокореляційний пік за рахунок складання індивідуальних кореляційних функцій, тому  $S$ -кодам властива нульова взаємна кореляція і нульовий рівень бокових пелюсток АКФ. За такої схемної реалізації технології ОСС-CDMA відсутні внутрішньосистемні завади в синхронному каналі. Істотно зменшуються вони і в асинхронному каналі, спрощується процедура адаптації, виґраш не залежить від швидкості пересилання даних, ймовірність бітових помилок не залежить від кількості користувачів, забезпечується найменший пік-фактор. Кількість можливих  $S$ -последовностей досить велика, що дає змогу вирішувати завдання розділення сигналів багатьох абонентів, завадозахисту, структурної скритності сигналів, побудови спектрально-ефективних кодів, пошуку  $S$ -последовностей з кращими кореляційними властивостями.

Зниження рівня позасмугових випромінювань теж є одним з пріоритетів у розробленні систем мобільного зв'язку 4G. Коди, що забезпечують швидкий спад спектра сигналів за межами смуги частот, виділеної системі, називаються *спектрально-ефективними*, а коди з максимально-рівномірним спектром – *квазідосконалими* або  $Q$ -кодами. Але компактність спектра у  $Q$ -кодів виявилася невисокою, а потужність позасмугових випромінювань – гіршою, ніж у МС-CDMA на основі  $S$ -кода.

Властивість радіоінтерфейсу систем МС-DS-CDMA до одночасного розширення у частотній і часовій областях дає змогу системі ефективно протидіяти завмиранням у каналі і поліпшувати якість кодового розділення сигналів за рахунок конструювання кодових структур з принципово новими властивостями, якими володіють досконалі двійкові матриці (ДДМ), створені на основі комплементарних кодів. Це, наприклад, АКФ ідеального “кнопкового” виду.

*Досконалі двійкові матриці* – це система з  $N_1$  комплементарних последовностей довжиною  $N_2$  і одночасно система з  $N_2$  комплементарних послі-

довностей довжиною  $N_1$ , тобто комплементарність наявна по горизонталі і по вертикалі. Сума бокових піків АКФ дорівнює нулю при усіх циклічних зсувах. Оскільки при будь-якій циклічній перестановці (в частотній і часовій областях) нові ДДМ ортогональні до решти ДДМ, то ДДМ цікаві як основа для формування фазового коду багаточастотних сигналів.

На базі ДДМ можна сформувати необмежену кількість елементарних кодових мереж, забезпечивши гарантовану структурну скритність сигналів, імітостійкість переданої інформації. Спектральна щільність ДДМ повністю рівномірна, висота піка її АКФ становить  $N_1 \cdot N_2$ . Пік-фактор сигналів, створених на основі ДДМ, на порядок менший, ніж на основі матриці Уолша. Змінюючи розмір  $N_1$  і/або  $N_2$  ДДМ можна ефективно зменшувати вплив замирань. Внутрішньосистемні завади в асинхронних каналах у разі застосування ДДМ значно менші, ніж у разі застосування інших відомих кодів. Вибір кодів довжиною  $N = 2^n$  і алфавіту обсягом  $M = 2^k$  спрощує оброблення на сигнальних ШПФ-процесорах.

Отже, для підвищення спектральної і обчислювальної ефективності, якості кодового розділення сигналів, їх структурної скритності, стійкості до впливу багатопроблемності, зменшення пік-фактора і рівня позасмугових випромінювань потрібні послідовності і матриці з властивостями комплементарності, ідеальною АКФ, рівномірним спектром та швидким його спадом за межами виділеної смуги частот, з розмірністю, кратною степені двох.

## 17.5. Технології широкосмугового радіодоступу

Важливим досягненням у розвитку систем 3G виявилася конвергенція систем стільникового зв'язку (з їх високою мобільністю і роумінгом) і DECT-систем широкосмугового радіодоступу ((ШРД), з їх високою швидкістю пересилання даних, значно меншою вартістю, можливістю використання неліцензійних смуг радіочастот). Завдяки цим властивостям, системи виявилися немов би створеними для взаємного доповнення одна одної, що визначило стратегію розвитку мобільних телекомунікаційних послуг. Об'єднання їх можливостей у конвергентній мережі дає змогу удвічі зменшити потребу у радіочастотному ресурсі за рахунок оптимізації розподілу зонального навантаження. До сучасних і перспективних технологій і мереж ШРД належать Wi-Fi, WiMAX [69].

**Wi-Fi** (Wireless Fidelity) [69; 71] – це радіотехнологія високоточного відтворення. Це і мережа локального ШРД (WLAN) стандартів IEEE 802.11 a/b/g, що призначена для забезпечення доступу до ТКМ на обмеженій території або всередині приміщень. Радіодоступ до ТКМ організується через загальнодоступні точки доступу (ТД). Під ТКМ розуміють проводову мережу загального користування (ПМ ЗК), а також корпоративні та домашні безпро-

водові комп'ютерні мережі (рис. 17.1). На рис. 17.1 АК – абонентський комп'ютер або інша апаратура користувача. Точки доступу комутатора забезпечують взаємодію АК через інтерфейс стандарту 802.11 з ПМ ЗК. Зв'язок між окремими пристроями здійснюється лише через ТД, які загалом створюються теж на основі мікропроцесорів.

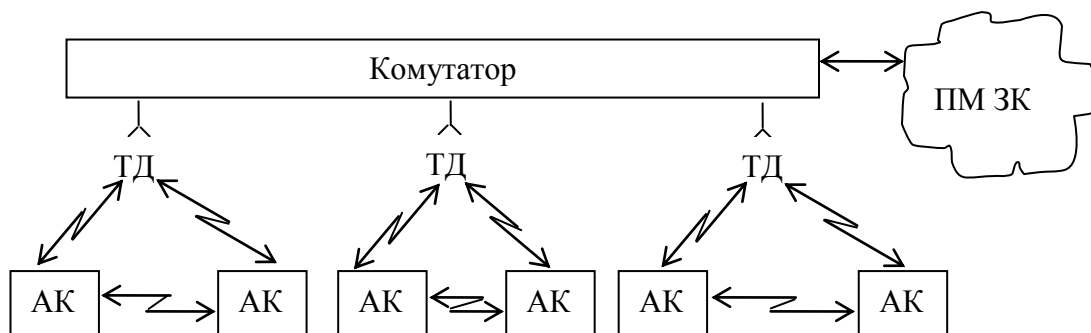


Рис. 17.1. Мережа ШРД і її взаємодія з ПМ ЗК

За різними варіантами стандарту 802.11, у технології Wi-Fi застосовують: метод прямого розширення спектра (DSSS), ППРЧ (FHSS), мультиплексування з ортогональним розділенням несучих частот (OFDM), двійкове згорткове кодування (PBCC), коди Баркера; діапазони частот 5,15–6,425 і 2,4–2,4835 ГГц; ширину смуги частот 22 МГц. Частоти не потребують ліцензування. Випромінювання РХ слабо спрямоване з коефіцієнтом підсилення антени 6 дБ (допускається спрямоване з коефіцієнтом підсилення антени 23 дБ тільки для зв'язку “точка – точка” у діапазоні 5,725–5,825 ГГц).

За варіантом стандарту 802.11a в технології Wi-Fi застосовуються: перший з названих діапазонів частот; режим роботи – OFDM з 52 несучими частотами; види модуляції – BPSK для роботи на швидкостях 6 і 9 Мбіт/с, QPSK – на 12 і 18 Мбіт/с, QAM-16 – на 24 і 36 Мбіт/с, QAM-64 – на 48, 54 і 108 Мбіт/с; потужність Прд – 40–800 мВт. Радіус дії залежить від швидкості передавання інформації і середовища ПРХ: закрите приміщення (вільний простір). Наприклад, при швидкості 6 Мбіт/с радіус дії становить 90 (300) м, при швидкості 54 Мбіт/с – 12 (30) м. Характеристики мереж ШРД, створених за варіантами стандарту 802/11 b і g, див. у [71].

Мережа Wi-Fi зараз розглядається як невід’ємна частина підсистеми радіодоступу мережі стільникового зв’язку 3-го покоління.

До категорії мереж локального ШРД належать такі високопродуктивні мережі, як hiperLAN, hiperLAN2, а також мережа удосконаленого цифрового безпроводового зв’язку стандарту DECT. HiperLAN і hiperLAN2 працюють відповідно в діапазонах 5,47–5,725 та 17 ГГц і 5,15–5,35 та 5,67–5,85 ГГц зі швидкістю пересилання даних 23 і 54 Мбіт/с у разі потужності Прд 1 і 0,2 Вт. Радіус дії не перевищує 100 м.

**WiMAX** (Worldwide Interoperability for Microwave Access) [69; 71] – це технологія радіодоступу операторського класу, що базується на застосуванні стандарту IEEE 802.16–2004 для фіксованого доступу і стандарту IEEE 802.16 *e* для рухомого доступу. Їм відповідають різні радіоінтерфейси, розміри стільників, швидкості пересилання даних.

В різновидах стандарту 802.16 передбачене використання діапазонів частот 2–11 і 10–66 ГГц. Обладнання стандарту 802.16, його алгоритми і механізми призначені для формування транспортного середовища для різних видів застосувань високого рівня і великої кількості користувачів. Тому один із режимів стандарту, а саме WMAN-SC, зорієнтований на магістральні мережі з типовою швидкістю 120 Мбіт/с у смузі частот 25 МГц діапазону 10–66 ГГц з безпосередньою модуляцією несучої частоти, частотним або часовим розділенням, застосуванням базових станцій і ретрансляторів з вузькоспрямованими антенами на щоглах заввишки 40 м, що забезпечує можливість однопроменевого приймання РХ.

У решті режимів, що реалізуються в діапазоні частот 2–11 ГГц, передбачені інтерфейси, які забезпечують можливість зв'язку в умовах багатопроменевого приймання РХ і роботу за межами прямої видимості тільки за допомогою ретрансляції. При цьому передбачається використання: в режимі WMAN-SC2 – однієї несучої частоти і модуляції QPSK, або QAM-16, або QAM-64; в режимі WMAN-OFDM – багаточастотних несучих і обробку на сигнальному процесорі з ШПФ на 256 точок; в режимі WMAN-OFDMA – багаточастотних несучих і обробку на сигнальному процесорі з ШПФ на 2048 точок. Цим режимам властиві такі риси:

- підтримання роботи з адаптивними антенними решітками;
- застосування автоматичного запиту повторного передавання;
- просторово-часове кодування.

Топологія, за стандартом 802.16, набуває вигляду так званої Mesh мережі, пристрої якої можуть працювати за принципом “кожен з кожним і через кожного” або “пункт – багато пунктів”. Головна її перевага – передавання трафіку через ланцюг із кількох станцій, що забезпечує зв'язок між кінцевими станціями і за межами прямої видимості. У цій мережі усі радіостанції (РС) рівноправні, обмін даними ведеться під час відведених часових інтервалів для кожної з них. Але є така одна РС-шлюз, через яку здійснюється зв'язок з зовнішніми мережами.

Стандарт 802.16-2004 представляє радіотехнологію, призначену для упровадження в міських безпроводових розподілених мережах. Його європейський аналог має назву ETSI HIPERMAN, однак, передбачає роботу лише в діапазоні частот 2–11 ГГц і тільки в одному режимі – WMAN-OFDM.

Основним принципом надання радіодоступу за стандартом 802.16-2004 є доступ за запитом (DAMA), за якого абонентська станція може передавати сигнали лише під час відведених для неї часових інтервалів.

На сьогодні технологія WiMAX ще не повністю реалізує можливості, що надаються стандартом 802.16. Її основні характеристики, що є однаковими як для фіксованого, так і для рухомого радіодоступу, такі: діапазони частот 2,4; 2,5–2,7; 3,5; 5–6 ГГц; ширина робочої смуги частот від 1,5 до 20 МГц; метод дуплексу – частотний або часовий дуплекс. Рештою характеристик фіксований і рухомий радіодоступи відрізняються:

– при фіксованому радіодоступі (стандарт 802.16-2004): застосовуються OFDM, методи модуляції BPSK, QPSK; забезпечуються типова швидкість пересилання даних абонента 2–10 Мбіт/с і типовий радіус дії 1–50 км (залежно від потужності Прд і висоти підняття антен);

– при рухомому радіодоступі (стандарт 802.16 e): застосовують OFDM, методи модуляції BPSK, QPSK, QAM-16,-64,-256; забезпечують типову (максимальну) швидкість пересилання даних абонента 3 Мбіт/с (15 Мбіт/с у смузі частот 5 МГц) і типовий радіус дії 0,5–5 км (залежно від потужності Прд).

WiMAX може стати складовою системи радіодоступу мережі мобільного стільникового зв'язку 4-го покоління.

В Україні дозволено використовувати обладнання таких систем зв'язку, аналогічних за призначенням WiMAX [71]: WalkAir (компанії Siemens), WinAir, BreezeNet, BreezeMAX (ізраїльської компанії Alvarion). Основні характеристики систем WalkAir, BreezeNet, BreezeMAX відповідно такі: діапазон частот (3,5; 10,5; 26), (5,4–5,85), (3,3; 3,5; 3,6) ГГц; ширина смуги частот – до 20, (1,75; 3,5) МГц; швидкість пересилання даних (0,064–4,096), до 20, до 12,7 Мбіт/с; потужність Прд – 21, (20–22 у АС, 28–34 у БС) дБм; радіус дії 3–10, 50, 15 км.

На закінчення слід відзначити:

1. Системам мобільного УКХ-зв'язку доводиться функціонувати в дуже складних умовах багатопроменевості та асинхронності каналів АС–БС. Для боротьби з завадами багатопроменевості застосовують рознесене приймання, методи усунення і корекції.

2. Технологіями – кандидатами для застосування в системах мобільного зв'язку 4-го покоління можуть стати технології, що створені на основі OFDMA і/або CDMA, наприклад, FH-OFDMA і MC-DS-CDMA.

3. Мережі Wi-Fi і WiMAX схожі тільки за загальним призначенням, що полягає у забезпеченні широкосмугового радіодоступу (ШРД)..

Мережа Wi-Fi – це мережа ШРД *абонентського* рівня. Вона призначена для обслуговування окремих абонентів або невеликих груп абонентів, розташованих у приміщенні (на відстанях одиниць – десятків м) чи у вільному просторі (на відстанях десятків – сотень м). Для неї характерні мобільність, робота в діапазонах ДМХ і СМХ, як правило, на неспрямовану антену, потужність Прд десятки – сотні мВт, режим напівдуплексу.



Мережа WiMAX – це інтегрована мережа ШРД *операторського* рівня. Вона призначена для обслуговування мікрорайонів, районів і цілих міст, може бути стаціонарною і мобільною. Для неї характерні робота в діапазонах ДМХ, СМХ, а в перспективі – ММХ на вузькоспрямовану антену, потужність Прд сотні *mВт* – одиниці *Вт*, режим дуплексу, більша пропускна спроможність і застосування більшої кількості засобів захисту інформації.

У мережах дворівневого ширококутового радіодоступу WiMAX і Wi-Fi можуть використовуватись разом (WiMAX – на верхньому рівні, Wi-Fi – на нижньому), доповнюючи одна одну.

## **18. Якість обслуговування в пакетних мережах**

Висока вартість транспортних мереж зв'язку змушує дуже економно ставитися до якісного використання їх пропускної спроможності під час передавання різних видів трафіка. Для цього розроблені методи забезпечення якісного обслуговування (Quality of Service, QoS) [26]. У більшості техноло-

гій, спеціально призначених для глобальних мереж – FR, ATM – механізми QoS є вмонтованими.

## 18.1. Основні поняття і типи якості обслуговування

Телекомунікаційні мережі (ТКМ) розвиваються досить швидко, але водночас зростає кількість клієнтів (користувачів), застосовується більше ресурсоемності. Тому з часом будь-яка, навіть нова, мережа починає відчувати перевантаження. Отже, потрібні нові механізми, які враховували б усю множинну вимог до мережі і надавали б кожному застосуванню той рівень якості обслуговування, який йому потрібний з об'єктивних причин або відповідно до угоди про якість обслуговування між клієнтом і постачальником послуг чи оператором зв'язку. Такі механізми працюють у складі служби QoS, яка контролює і регулює використання ресурсів мережі трафіком окремих користувачів і груп користувачів.

Процеси, що відбуваються в ТКМ, випадкові, тому поняття якості обслуговування є статистичним. Як правило, це середні значення і варіації (дисперсії) швидкості просування інформаційного потоку та часу затримок пакетів, рівня втрат пакетів тощо на обумовленому інтервалі часу.

За рівнем “суворості” розрізняють три типи QoS і служб QoS:

- обслуговування по змозі. Воно забезпечує взаємодію кінцевих вузлів ТКМ без будь-яких гарантій якості. Так робиться в Ethernet і Internet, де немає різниці між пакетами користувачів та застосувань, а обслуговують їх за принципом FIFO (першим прийшов – першим обслуговується);

- обслуговування з відданням переваги (“делікатне” QoS), при якому деякі типи трафіка обробляються швидше та з меншим рівнем втрат і з меншими затримками, але без кількісних гарантій. А тому, коли високопріоритетний трафік надходить з низькою інтенсивністю, то низькопріоритетний у цей час може отримати досить якісне обслуговування; коли високопріоритетний трафік надходить з високою інтенсивністю, то низькопріоритетний – деякий час взагалі не обслуговується;

- гарантований (“жорсткий” чи “істинний”) сервіс, який дає кількісні статистичні гарантії різним потокам трафіка. Для цього здійснюється попереднє резервування ресурсів для кожного потоку, що отримав гарантії, а під час обслуговування здійснюється контроль за виконанням його зобов'язань по інтенсивності і своїх зобов'язань з виконання гарантій. Статистичність гарантій означає, що вони виконуються з обумовленою імовірністю, наприклад, імовірністю 0,999, що затримання пакету не перевищить 100 мс.

Три вищенаведені типи QoS не виключають, а доповнюють один одного. Їх комбінування дає можливість врахувати різновиди вимог клієнтів, різновиди застосувань і поточні умови роботи мережі, тим паче, що у різних клієнтів і застосувань вимоги можуть бути різні: у той час як одному потрібна велика

швидкість, іншому – мінімальна і стабільна затримка пакетів (під час передавання мови, відео, команд управління технологічними процесами тощо).

## 18.2. Угода про якість обслуговування

Природною умовою нормального співробітництва клієнта і постачальника послуг є договір, який у даному випадку називається угодою про якість (рівень) обслуговування (Service Level Agreement, SLA). У цій угоді визначаються такі позиції:

- параметри якості обслуговування трафіка, які цікавлять клієнта і які згоден забезпечити постачальник (наприклад, середня швидкість (пропускна спроможність), середній час затримки пакетів і його варіації, максимальна інтенсивність втрат пакетів, коефіцієнт готовності сервісу, максимальний час відновлення сервісу після відмови тощо);

- методи вимірювання параметрів якості обслуговування;

- система плати за обслуговування з урахуванням діючих тарифів;

- санкції за порушення взятих зобов'язань (постачальником послуг – із забезпечення обумовленої якості послуг, клієнтом – з дотримання параметрів трафіка). Санкції до постачальника послуг можуть полягати у наданні ним впродовж деякого часу безоплатних послуг або послуг за зниженим тарифом;

- правила обробки некондиційного трафіка, параметри якого виходять за обумовлені границі, наприклад, за середньою інтенсивністю на значному інтервалі часу. Ці правила можуть також визначати умови маркування чи відкидання пакетів-порушників, згладжування пульсацій трафіка для поліпшення передавання голосу тощо;

- додаткові статті, наприклад, про умови переходу до якіснішого обслуговування або про різну якість залежно від дня тижня або часу доби.

Деякі постачальники послуг пропонують своїм клієнтам типові контракти (SLA). У них міститься не тільки перелік характеристик якості, а й їх числові значення, які постачальник послуг може забезпечити без особливого напруження, наприклад, “середня затримка пакетів упродовж місяця не більш як 100 мс”.

Угоди укладаються не тільки між постачальниками послуг публічних мереж і корпоративними клієнтами, а й між інформаційним відділом – постачальником транспортних послуг і їх користувачами – іншими функціональними відділами організації.

## 18.3. Вимоги до QoS при різних видах застосувань і параметри якості обслуговування

Останнім часом виконана велика робота з класифікації трафіка різних застосувань. Як основні критерії (ознаки) класифікації прийняті три характеристики трафіка:

- відносна передбачуваність швидкості пересилання даних;
- чутливість трафіка до затримок пакетів;
- чутливість трафіка до втрат і спотворень пакетів.

**Передбачуваність швидкості пересилання даних.** За цією ознакою застосування поділяються на два класи: з поточним трафіком і з пульсуючим трафіком.

Застосування з поточним трафіком (рис. 18.1) генерують рівномірний потік даних, що надходять до мережі зі сталою бітовою швидкістю. Цю швидкість  $V$  легко визначити за формулою  $V = \frac{B}{T}$ , де  $B$  – ємність одного пакета в бітах;  $T$  – період повторювання пакетів у секундах. Завдяки наявності пауз між пакетами, швидкість  $V$ , як середня, менша за номінальну, на роботу з якою розрахований даний протокол.

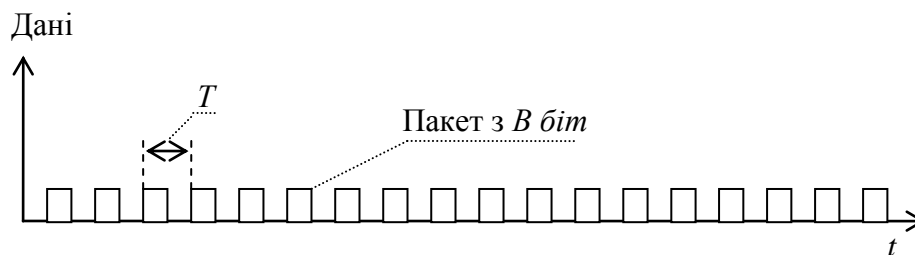


Рис. 18.1. Поточний трафік  $V = \frac{B}{T}, \frac{\text{біт}}{c}$

Застосування з пульсуючим трафіком (рис. 18.2) відрізняється високим ступенем непередбачуваності, коли інтервали часу мовчання змінюються інтервалами часу пульсацій. Унаслідок цього трафіку буде притаманне змінення бітової швидкості і коефіцієнта пульсації, який є відношенням середньої швидкості на інтервалі пульсацій до середньої швидкості на тривалому інтервалі часу, що містить у собі велику кількість інтервалів пульсацій.

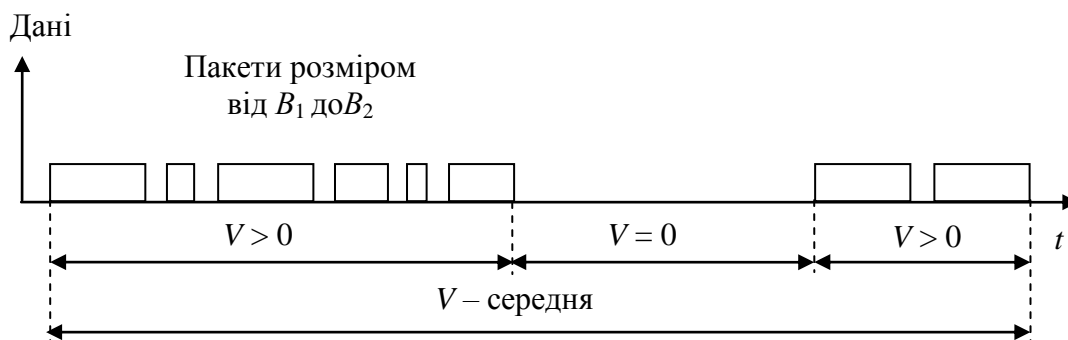


Рис. 18.2. Пульсуючий трафік

Практично у будь-якого трафіка цей коефіцієнт відрізняється від одиниці. Але якщо у потокового трафіка він трохи відрізняється від одиниці, то у пульсуючого трафіка він може набувати значень у межах 2–100. У WAN коефіцієнт пульсації менший, ніж в LAN, тому що у WAN пульсації згладжуються за рахунок складання великої кількості різних потоків.

**Чутливість трафіка до затримок пакетів.** Основні типи застосувань в порядку підвищення їх чутливості до затримок пакетів:

- асинхронні застосування, наприклад електронна пошта, практично нечутливі до затримок:

- синхронні застосування чутливі до затримок, але допускають їх;

- інтерактивні застосування (наприклад, текстовий редактор, що працює з віддаленим файлом) відчують затримки, але це не позначається негативно на їх функціональності;

- ізохронні застосування мають поріг чутливості, у разі перевищення якого їх функціональність швидко погіршується. Наприклад, під час передавання голосу якість його відтворення помітно погіршується у разі перевищення порога затримки на 100–150 мс;

- надчутливі до затримок застосування, функціональність яких зводиться затримками до нуля. Їх прикладом є управління технічним об'єктом чи технологічним процесом у реальному часі. При цьому затримки можуть призвести навіть до аварії.

Взагалі, інтерактивність застосування завжди підвищує його чутливість до затримок. Так радіомовлення може витримати істотні затримки пакетів, а Тлф розмова їх не терпить.

**Чутливість трафіка до втрат і спотворень пакетів.** За цією ознакою застосування поділяють на такі дві групи: чутливі до втрат і стійкі до втрат.

*Чутливими до втрат* є застосування, трафік яких переносить алфавітно-цифрові дані (текстові документи, коди програм, числові масиви тощо), скомпресований (стиснутий) голос та відеозображення. Наприклад, відсутність хоча б одного байта в коді програми робить її недієздатною.

*Стійкими до втрат* є застосування, трафік яких переносить інформацію про інерційні фізичні процеси. Інерційність дає можливість відновити втра-

чену інформацію шляхом апроксимації або інтерполяції. До цієї групи належать застосування, трафік яких переносить не скомпресовану мультимедійну інформацію (аудіо- і відеоінформацію), але втрати не мають перевищувати 1%, інакше вони стають чутливими.

**Параметри якості обслуговування.** До них належать:

– параметри швидкості пересилання даних – це середня, мінімальна і максимальна швидкості;

– параметри затримок – це середня і максимальна величина затримок, а також середнє і максимальне значення варіацій часу затримок, тобто відхилень міжпакетних інтервалів у прийнятому трафіку порівняно з переданим трафіком;

– параметри надійності передавання – це відсоток втрачених пакетів і відсоток спотворених пакетів.

Визначаючи ці параметри, слід звернути увагу на тривалість часу, впродовж якого їх вимірюють, оскільки чим він коротший, тим жорсткішими стають вимоги до якості обслуговування і трудніше їх виконати. Через це постачальники послуг ІР-мереж в угодах віддають перевагу середньомісячним характеристикам, тоді як постачальники послуг мереж FR і АТМ здатні гарантувати параметри, усереднені на інтервалі в декілька секунд. Це залежить від того, як поставлена служба якості обслуговування.

У разі генерування потокового трафіка клієнт за угодою бере зобов'язання не перевищувати максимальної швидкості  $V_{\max}$ , а постачальник послуг гарантує виділення під цей трафік пропускної спроможності  $C \geq V_{\max}$ .

У разі генерування пульсуючого трафіка якість обслуговування найкраще характеризується середньою швидкістю і максимальною швидкістю, яка має місце в період пульсацій. В угоді має визначатися максимальний час і максимальна швидкість пульсацій або максимальний обсяг даних, який може бути переданий за період пульсацій. Можливий також варіант узгодження мінімальної і максимальної швидкостей передавання інформації. У цьому варіанті постачальник гарантує пропускну спроможність під мінімальну швидкість, що забезпечує задовільне функціонування застосування, а клієнт зобов'язується не спрямовувати до мережі трафік зі швидкістю, що перевищує максимальну.

Після узгодження параметрів користувач і постачальник послуг мають відповідним чином налагодити свої програмні і апаратні засоби, щоб вони були здатні відпрацювати ці параметри. Деякі технології, наприклад АТМ, автоматизують взаємне узгодження параметрів QoS між обладнаннями користувача і постачальника послуг.

Таким чином:

1. Відрізняють типи якості обслуговування: за можливістю, з перевагою одного потоку і гарантоване обслуговування.

2. В основу класифікації застосувань покладені три характеристики генерованого ними трафіка: передбачуваність швидкості пересилання даних, чутливість трафіка до затримок пакетів, до втрат і спотворень пакетів.

3. В угоді про рівень обслуговування клієнт і постачальник послуг визначають параметри якості обслуговування, методи їх контролю, фінансові зобов'язання, санкції за порушення угоди тощо.

4. Параметри якості обслуговування, що визначаються: мінімальна, середня і максимальна швидкості пересилання даних; середня і максимальна затримки пакетів і її варіації (середня і максимальна); відсотки втрачених і спотворених пакетів.

#### 18.4. Служба якості обслуговування і її загальна характеристика

**Телекомунікаційна мережа** – це велика система, що складається з розподілених у просторі пристроїв, призначених для реалізації різних технологій і протоколів. Забезпечення будь-якого зв'язку у такій складній і неоднорідній мережі, де рухаються потоки інформації з різними характеристиками, є непростим завданням. Для його розв'язання необхідна служба якості обслуговування.

**Загальна характеристика служби.** QoS теж має розподілений характер, оскільки її елементи мають бути представлені в усіх мережних пристроях, що просують пакети: мережах доступу, комутаторах, маршрутизаторах. Для координації дій всіх її елементів в ній мають бути представлені ще й центральні елементи. Отже, базова архітектура служби QoS має складатись з елементів 3-х основних типів:

- засобів QoS вузла;
- протоколів сигналізації;
- центральних елементів політики, управління і обліку.

**Засоби QoS вузла** виконують обробку трафіка, що надходить до вузла, відповідно до вимог якісного обслуговування і просують пакети від входу до необхідного виходу. Для цього засоби QoS вузла повинні містити в собі механізми двох типів: механізм обслуговування черг і механізм кондиціонування трафіка.

Механізм обслуговування черг забезпечує просування чергових пакетів у відповідності до одного із алгоритмів.

Механізм кондиціонування трафіка створює умови для якісного обслуговування за рахунок зменшення швидкості потоку, що надходить у вузол, до рівня, що не перевищує його пропускної спроможності. Для цього механізми виконують три функції:

- сортування пакетів (на основі адрес, ідентифікаторів застосувань і значення пріоритету) на групи з однаковими вимогами до якості;

– профілювання трафіка через вимірювання параметрів потоку і відкидання чи маркування пакетів, які порушують угоду;

– формування трафіка, наприклад згладжуванням пульсацій, щоб на виході вузла потік пакетів був рівномірнішим, ніж на вході.

Механізм кондиціонування трафіка може міститись у кожному вузлі, але частіше він реалізується тільки у пограничних пристроях.

**Протоколи сигналізації QoS** забезпечують в мережі обмін службовою інформацією, яка необхідна для координації роботи всіх мережних елементів з якісного обслуговування трафіка. Наприклад, за допомогою цих протоколів застосування може зарезервувати собі вздовж усього маршруту необхідну пропускну спроможність. Для цього треба занести відповідне значення в поле пріоритету пакетів.

**Центральний елемент політики, управління та обліку** не є необхідним, але є бажаним елементом особливо у великих мережах. Він дає змогу адміністратору мережі цілеспрямовано впливати на мережні елементи для розподілу ресурсів мережі між різними видами трафіка і забезпечення узгодженого рівня QoS. Функція політики дає змогу адміністратору створювати правила, за котрими усі мережні пристрої можуть формально, на основі деяких ознак, розпізнавати типи трафіка і застосувати до них визначені функції QoS.

## 18.5. Алгоритми управління чергами

У пакетних мережах кожен вузол обов'язково містить в собі елементи буферної пам'яті для тимчасового збереження інформації в період, коли швидкість надходження перевищує пропускну спроможність вузла. У ці періоди в елементах пам'яті вузлів створюються черги пакетів. У створенні черг, крім означеного позитиву, є й негатив. У чергах виникають затримки пакетів, що мають до того ж несталий характер, тобто зростають варіації затримок. Крім того, під час тривалих пульсацій черги можуть збільшуватися настільки, що пакети не вміщуватимуться у буферну пам'ять і будуть втрачені. Отже, чергами потрібно управляти.

**Традиційний алгоритм FIFO** полягає в тому, що у разі перевантаження пакети ставляться в чергу і пересилаються на вихід тим порядком, яким надійшли, за принципом FIFO “першим прийшов – першим пішов”. Достоїнство – простота реалізації; недолік – можливі великі і несталі затримки пакетів, чутливих до затримок (голос, відео, команди управління).

**Алгоритм простого пріоритетного обслуговування.** Решта алгоритмів здійснюють пріоритетне обслуговування. Для цього весь мережний трафік поділяється на невелику кількість класів, кожному з якихзначається чис-



лова ознака – пріоритет. Відповідно до нього в елементах пам'яті вузлів створюються кілька черг. Трафік з найвищим пріоритетом обслуговується в першу чергу, потім решта по черзі (рис. 18.3). Якщо трафік з вищим пріоритетом інтенсивний, то це може створювати незручності для решти класів. Отже, потрібні ще й алгоритми, які б враховували інтереси решти класів трафіка.

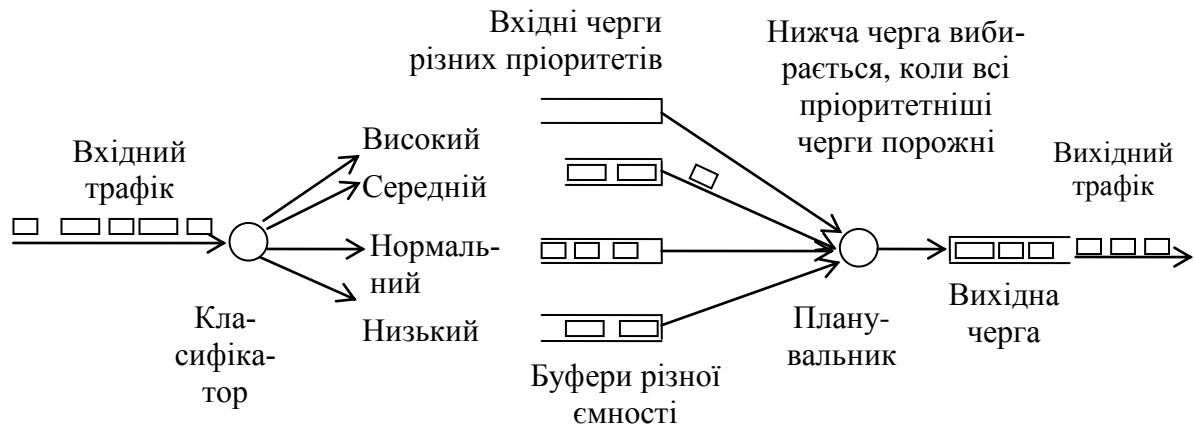


Рис. 18.3. Просте пріоритетне управління чергами

**Алгоритм зваженого обслуговування** черг створений для того, щоб усім класам трафіка можна було надати визначеного мінімуму пропускної спроможності або надати гарантії виконання вимог щодо затримки пакетів. Під вагою даного класу мається на увазі відсоток пропускної спроможності вихідного інтерфейсу, що надається даному класу. Це може робити адміністратор, тоді черги називаються настроюваними, а алгоритм – алгоритмом зваженого настроєного обслуговування. Якщо вага назначається автоматично на базі адаптивної стратегії, то маємо алгоритм зваженого справедливого обслуговування (розглядається в наступному підпункті).

При зваженому, як і при простому пріоритетному, обслуговуванні трафік розподіляється на декілька класів. Для кожного класу створюється окрема черга пакетів, але з кожною чергою поєднується не тільки її пріоритет, а й вага, тобто відсоток пропускної спроможності вихідного інтерфейсу, гарантований даному класу у разі перевантажень цього інтерфейсу (рис. 18.4). Мета досягається через послідовність обслуговування черг і вибирання у кожному циклі з кожної черги стільки пакетів, скільки відповідає вазі даної черги.

У даному випадку зважене обслуговування призводить до більших затримок і варіацій високопріоритетних класів пакетів, але для решти класів воно прийнятніше, ніж просте пріоритетне обслуговування.

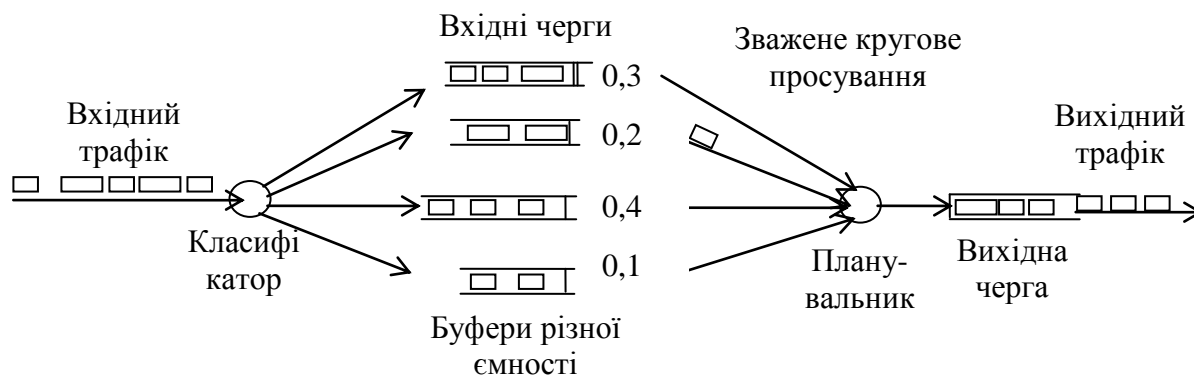


Рис. 18.4. Зважене кругове управління настроюваними чергами

**Алгоритм зваженого справедливого обслуговування** – це компроміс між зваженим і простим пріоритетним обслуговуванням. У ньому передбачене існування особливої черги, яка обслуговується першою і до того моменту, поки всі пакети з неї не будуть вибрані. Ця черга призначена для системних повідомлень, повідомлень управління мережею і пакетів найкритичніших і вимогливих застосувань. Але значно більша частина пропускної спроможності вихідного інтерфейсу залишається іншим класам трафіка. Решта черг піддається зваженому обслуговуванню, зокрема залишок пропускної спроможності може ділитися порівну (рис. 18.5).

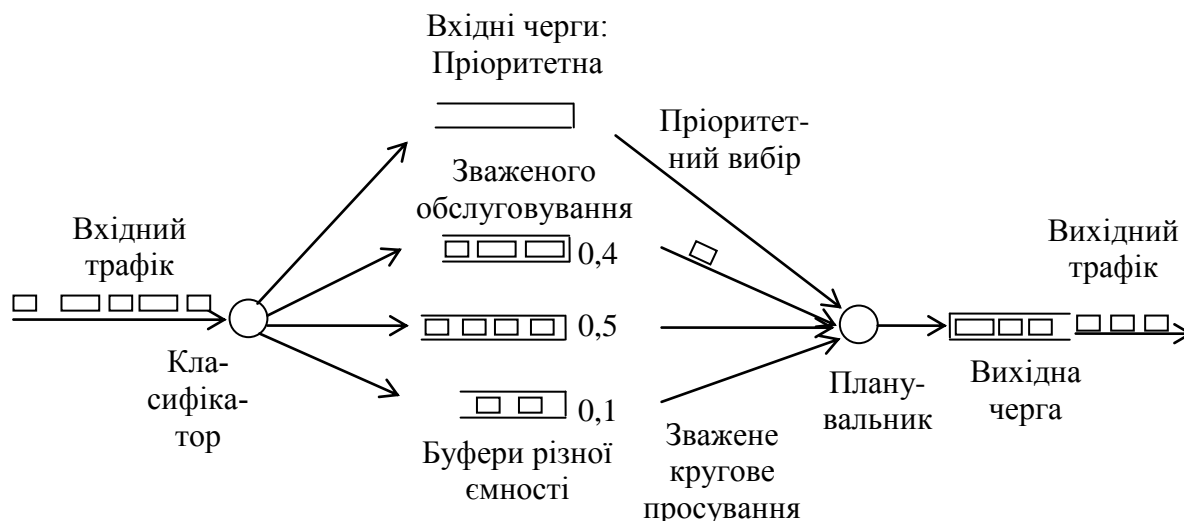


Рис. 18.5. Зважене справедливе управління чергами

Для всіх видів пріоритетного обслуговування адміністратор може призначати різним класам буфери різної ємності. Зменшення ємності буфера призводить до зростання втрат пакетів за рахунок зменшення часу затримки тих пакетів, які потрапили до першої черги.

## 18.6. Механізми профілювання і формування трафіка

У стандартах на механізми існує декілька алгоритмів, призначених для профілювання і формування трафіка.

**Алгоритм “дірявого відра”** створений для профілювання пульсуючого трафіка і надає можливості перевірити виконання трафіком узгоджених значень швидкості і пульсацій.

У алгоритму є декілька настроюваних параметрів:

- $T$  – період осереднення швидкості;
- $CIR$  (Committed Information Rate) – середня швидкість, узгоджена з постачальником послуг, яку трафік не має перевищувати за період усереднення;
- $B_c$  – обсяг пульсацій, що відповідає середній швидкості за період  $T$ :

$$B_c = CIR \cdot T;$$

- $B_e$  – допустиме перевищення обсягу пульсацій.

Швидкість вимірюється через підрахунок лічильником обсягу даних  $B_c$  за період  $T$  і розрахунок  $CIR$  за формулою

$$CIR = \frac{B_c}{T}.$$

Якщо фактичний обсяг пульсації перевищує  $B_c$  менш ніж на  $B_e$  (рис. 18.6), то пакети лише помічаються, у протилежному випадку – відкидаються (ось чому алгоритм має назву “дірявого відра”). Але можна настроїти алгоритм так, що пакети будуть відкидатись раніше, або зовсім не будуть відкидатись. Існують й інші модифікації цього алгоритму. Його різновиди застосовуються в мережах АТМ і FR.

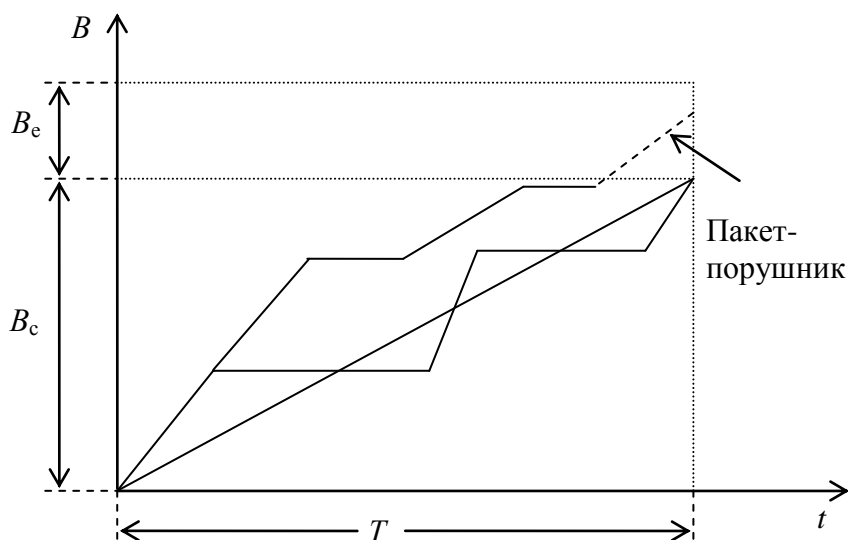


Рис. 18.6. Алгоритм “дірявого відра”

**Алгоритм “відра токенів”** застосовується як для профілювання, так і для формування (згладжування) трафіка. Його мета – зменшення нерівномірності просування пакетів. Це показано на рис. 18.7.

*Токен* – носій “порції” інформації (кадр, пакет, дейтаграма). “Відро”, в даному випадку, – це буферна пам’ять визначеної ємності. Генератор токенів періодично направляє їх у “відро” (у чергу). Якщо кількість токенів у “відрі” перевищує обумовлену норму, то черговий токен з “відра” просувається на вихід. Якщо “відро” заповнене недостатньо, то токен з черги (з “відра”) не

вибирається, поки до “відра” не надійде визначена кількість токенів. Таким чином досягається певне “поліпшення” трафіка, яке полягає у згладжуванні пульсацій і рівномірнішому виході токенів із “відра”.

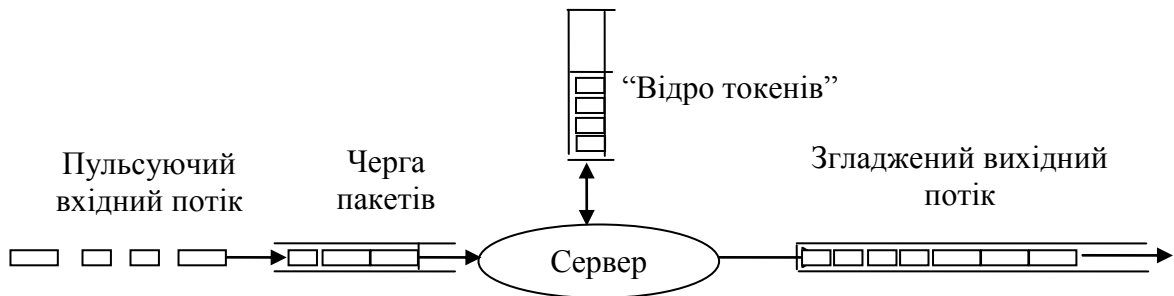


Рис. 18.7. Алгоритм “відра токенів”

На закінчення відзначимо:

1. Базова архітектура служби QoS складається: із засобів QoS вузла; протоколів сигналізації, що забезпечують координацію роботи усіх мережних елементів; центральних елементів, що дають змогу адміністратору мережі цілеспрямовано впливати на мережні елементи.

2. Такій моделі служби відповідає більшість таких конкретних протоколів підтримки QoS, як RSVP, DiffServ мереж TCP/IP, протоколів CBR, VBR, ABR мереж ATM.

## 18.7. Планування якості обслуговування

*Трафік* – це сукупність повідомлень, що передаються лініями (мережами) зв’язку. Для максимальної ефективності обслуговування мережею потоків трафіка треба заздалегідь планувати її роботу, враховуючи при цьому:

– які користувачькі потоки і за якими маршрутами просуватимуться мережею;

– статистичні характеристики цих потоків: середню інтенсивність, коефіцієнти пульсацій;

– вимоги потоків щодо якості обслуговування: рівня затримок, імовірності втрат пакетів.

Слід зазначити, що робота пакетної мережі ефективна, якщо кожен її елемент завантажений, але не перевантажений, що можна спостерігати на прикладі Ethernet. Коефіцієнт завантаження ресурсу впливає на довжину черги, а від цього залежить величина затримки.

Майстерність планування та управління мережею полягає в досягненні двоякої мети:

– поліпшення якості обслуговування трафіка, тобто зменшення затримок та втрат пакетів і збільшення інтенсивності потоків трафіка;

– максимального завантаження всіх ресурсів мережі для збільшення обсягів переданого трафіка.

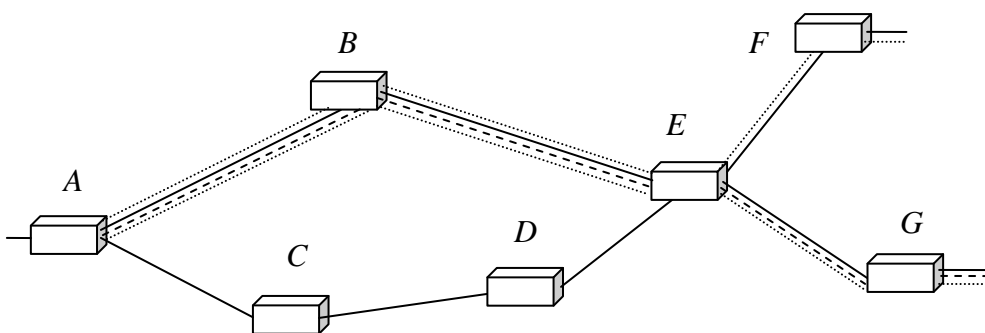
Обидві мети досягаються через застосування засобів боротьби із заторами в мережі. Однак неправильно було б вважати, що оптимального використання ресурсів мережі можна досягти тільки за рахунок раціональної настройки параметрів обмеження інтенсивності вхідних потоків і алгоритмів управління чергами. Донині поза увагою залишався такий важливий резерв, як маршрут руху трафіка крізь мережу.

## 18.8. Недоліки традиційних підходів

Більшість застосовуваних методів оптимізації роботи мережі донедавна були спрямовані на перерозподіл ресурсів окремого маршрутизатора між різними потоками інформації, що проходять крізь нього. Метод вибору шляхів просування трафіка, який навіть в IP-мережах ґрунтувався на критерії найкоротшої відстані, використовувався дуже примітивно.

Відомо, що всі протоколи маршрутизації (RIP, OSPF, IS-IS) вибирають для трафіка, адресованого якійсь мережі, шлях, найкоротший за деякою методикою. Він може бути раціональнішим, якщо враховувати тільки кількість проміжних маршрутизаторів між мережами, але в будь-якому разі, навіть у разі існування кількох альтернативних шляхів, вибирається один маршрут.

Класичний приклад неефективності такого способу маршрутизації показаний на *рис. 18.8*. Маршрутизатор *A* спрямовує весь трафік через маршрутизатор *B* тільки тому, що на цьому шляху на один маршрутизатор менше, хоча є ще один шлях через маршрутизатори *C* і *D*, який міг би працювати “паралельно” з першим. Це робиться тільки в одному випадку, коли обидва шляхи за кількістю маршрутизаторів рівноцінні.



*Рис. 18.8.* Неефективність просування пакетів тільки за найкоротшим маршрутом

Ще одним недоліком IP-мереж є те, що маршрути вибирають без урахування поточного завантаження ресурсів мережі. Навіть коли найкоротший

шлях уже перевантажений, пакети все одно направляються цим шляхом (див. рис. 18.8). Через це одні шляхи працюють з перевантаженням, тоді як інші майже зовсім не використовуються. Цьому не допоможуть ніякі існуючі методи QoS, тому що необхідні якісно інші механізми.

## 18.9. Інжиніринг трафіка

Однією з потужних технологій впливу на ефективність використання ресурсів мережі, яка раніше не використовувалась в IP-мережах, є технологія інжинірингу трафіка.

**Інжиніринг трафіка** – це сукупність методів і механізмів, які дають змогу збалансовано завантажувати усі ресурси мережі через раціональний вибір шляхів просування в ній трафіка.

Вихідними даними для вибору шляхів є:

- характеристики мережі – її топологія, продуктивність її складових: маршрутизаторів і систем передачі;
- інформація про навантаження мережі, тобто про потоки трафіка, які мережа має передати між своїми пограничними маршрутизаторами.

Кожен потік характеризується точками входу до мережі і виходу з неї, а також параметрами трафіка. Для точної оптимізації слід було б враховувати величину можливих пульсацій, чутливість до затримок та їх варіацій, допустимий відсоток втрат пакетів. Однак це занадто ускладнило б завдання, через що задовольняються субоптимальним рішенням, враховуючи для цього тільки середню інтенсивність потоків трафіка. Тим паче, що вплив решти його характеристик на вирішення істотно менший.

Із визначення інжинірингу бачимо, що потоки інформації окремих користувачів – агреговані. При цьому одним агрегованим потоком вважається трафік пакетів, які мають спільну вхідну і спільну вихідну точки мережі. Агрегування спрощує завдання вибору шляхів, але треба пам'ятати, що воно можливе тільки за потреби однакової якості обслуговування всіх складових, інакше доведеться розглядати декілька агрегованих потоків.

Завдання інжинірингу трафіка полягає у визначенні точних шляхів для потоків трафіка крізь мережу від вхідної до вихідної точки кожного потоку. Ці шляхи мають бути такими, щоб завантаження всіх ресурсів мережі було якомога краще збалансовано.

Цю умову можна формалізувати різними способами:

- мінімізувати максимальний коефіцієнт використання ресурсу (розглядаючи при цьому всі ресурси, як це рекомендовано в документі IETF REC 2702) і мінімізувати тим самим максимально можливі втрати (шкоду) для трафіка;
- шукати такий набір шляхів, за яких усі значення коефіцієнта використання ресурсів не перевищуватимуть заданого рівня, наприклад  $K_{\max} = 0,6$ .

Такий спосіб простіший в реалізації (доводиться перебирати менше варіантів), а тому частіше застосовується на практиці.

Вирішувати завдання інжинірингу трафіка теж можна по-різному:

– шукати рішення завчасно, у фоновому режимі. Для цього треба знати вихідні дані: топологію, технологію і продуктивність мережі, вхідні та вихідні точки потоків трафіка і їх середню інтенсивність, максимальне значення коефіцієнта використання ресурсу. Після цього завдання можна передати програмі прямого перебору варіантів для вирішення. Результатом роботи програми будуть точні маршрути для кожного потоку з визначенням усіх проміжних маршрутизаторів;

– вирішувати завдання в оперативному режимі, як це робиться в IP-мережах, доручивши її самим маршрутизаторам. Для цього використовують розширення протоколів маршрутизації, що стандартизовані для протоколів OSPF і IS-IS. Вони на відміну від RIP дають змогу отримати повну інформацію про поточну топологію мережі, маршрутизатори і фізичні зв'язки між ними. Кожна лінія зв'язку характеризується поточним станом працездатності і пропускнуною спроможністю каналів (номінальною і не зарезервованою, тобто, вільною для потоків інжинірингу). На основі цієї інформації маршрутизатор знаходить раціональне рішення, яке задовольняє обмеженням на коефіцієнт використання мережі і забезпечує заплановане завантаження мережі. При цьому в таблиці маршрутизації з найденого шляху запам'ятовуються тільки адреса наступного маршрутизатора, а решта відкидається. Так вимагає розподілений принцип просування пакетів, прийнятий в IP-мережах. Протокол OSPF разом з розширенням отримав назву CSPF.

Для спрощення завдання оптимізації вибір шляхів для набору потоків може здійснюватись по черзі, що знижує якість рішення. Однак в обладнанні, яке вироблялося останнім часом, застосовувався варіант багатопроTOCOLЬНОЇ комутації позначок (MPLS) та інжиніринг трафіка з послідовним розглядом потоків. Він простіший в реалізації, ближчий до стандартних процедур протоколів OSPF і IS-IS для однієї мережі призначення. Через змінювання ситуації, коли з'являються нові потоки або змінюються інтенсивності існуючих, завдання може бути вирішене лише послідовно.

Ще один спосіб пошуку оптимального вирішення передбачає застосування підсистеми імітаційного моделювання. Вона дає змогу враховувати не тільки середні інтенсивності потоків, а й їх пульсації; оцінити не тільки завантаження ресурсів, а й параметри якості обслуговування: затримання і втрату пакетів тощо. Після цього їх можна уточнити в мережі зв'язку способом почергового пошуку раціональних шляхів.

На відміну від основного режиму IP-маршрутизації, в технології інжинірингу трафіка запам'ятовується не тільки перший сусідній маршрутизатор, а й усі проміжні вузли мережі разом з початковим і кінцевим. Тому достатньо, щоб пошуком шляхів займалися пограничні маршрутизатори мережі (марш-

рутизація від джерела), а внутрішні маршрутизатори мають поставляти їм інформацію про внутрішній стан мережі, яка необхідна для прийняття рішення. Порівняно з розподіленою моделлю пошуку шляхів, яка лежить в основі стандартних протоколів в IP-маршрутизації, цей підхід має такі переваги:

- дає можливість використовувати “зовнішні” рішення, що здобуті будь-якою системою оптимізації мережі в автономному режимі, а потім встановлюються в мережі;

- розвантажує внутрішні маршрутизатори від роботи з пошуку раціональних шляхів;

- кожен з пограничних маршрутизаторів може працювати за власною версією алгоритму, тоді як при розподіленому пошуку шляхів необхідно в усіх маршрутизаторах використовувати один і той самий алгоритм, що ускладнює побудову мережі на базі обладнання різних виробників.

Однак мало знайти рішення – необхідно його реалізувати. Це завдання для IP-мереж не є тривіальним, оскільки маршрутизація від джерела має ряд обмежень:

- сьогодні в поточній версії IPv4 вона підтримується не всіма виробниками обладнання;

- підвищується ступень надмірності службової інформації, оскільки кожен пакет має переносити всі адреси проміжних маршрутизаторів на своєму шляху, а їх може бути багато;

- цей режим дуже вразливий з точки зору безпеки.

Отже, для реалізації в мережі шляхів, знайдених за технологією інжинірингу трафіка, потрібен спеціальний службовий протокол сигналізації. Зараз в IP-мережах роль такого протоколу виконує протокол резервування ресурсів RSVP, у повідомленнях якого вказується точний установлений шлях у вигляді послідовності інтерфейсів проміжних маршрутизаторів.

Маршрутизатори запам’ятовують установлюваний в мережі шлях у вигляді таблиць комутації, а пакети просуваються мережею з їх допомогою за MPLS-технологією. Специфіка технології інжинірингу трафіка полягає в тому, що шляхи вибрані для забезпечення балансу завантаження ресурсів мережі. Це гарантує перебування середньої довжини і варіації черги до кожного ресурсу у визначених межах, тому затримки і втрати пакетів через відсутність місць у буферній пам’яті з деякою імовірністю не перевищуватимуть граничних значень. Проте, неможливо розрахувати точні значення цих параметрів за коефіцієнтом використання ресурсів, оскільки вони, хоча і в меншому ступені, залежать ще від деяких факторів. Тому вони визначаються шляхом натуральних вимірювань, і саме такі експериментальні значення пропонуються клієнтам в угоді про якість обслуговування.

**Інжиніринг трафіка різних класів.** До цього часу завдання інжинірингу трафіка розглядалося у спрощеному вигляді – всі потоки трафіка розгля-



далися як рівнозначні, тому що висували однакові вимоги щодо якості обслуговування. Користувачів мережі немов би задовольняло, що всі потоки обслуговуються із заданою середньою швидкістю, а постачальників послуг – що коефіцієнт завантаження кожного ресурсу не перевищував визначеної величини, наприклад  $\rho \leq 0,6$ .

Реальнішою є ситуація, за якої у кожного користувача мережі є декілька класів трафіка, що відрізняються вимогами до якості обслуговування. Типовим прикладом є поділ трафіка на два класи: чутливого і нечутливого до затримок. Якщо не зробити такого поділу, то у постачальника послуг залишиться два варіанти дій:

- або гарантувати клієнтам прийнятні для них затримки і варіації затримок пакетів за рахунок низького (0,2–0,3) коефіцієнта використання ресурсів мережі, що нераціонально, хоча за такої умови обидва класи трафіка по затримкам пакетів обслуговуватимуться якісно;

- або загрузити ресурси до рівня 0,6–0,7, але гарантувати виконання вимог користувача тільки на середню швидкість просування пакетів без виконання вимог із затримок пакетів, тобто чутливий до затримок трафік буде обслуговуватись не якісно.

Обидва варіанти є неприйнятними, тому треба розрізнити класи трафіка і вирішувати завдання інжинірингу з урахуванням їх існування. Для цього розширення протоколів маршрутизації мають враховувати завантаження кожного ресурсу окремо для кожного класу трафіка так, щоб завантаження для чутливого до затримок трафіка не перевищувало 0,2–0,3, а завантаження для решти трафіка перебувало в межах 0,6–0,7. Якщо при цьому чутливий до затримок трафік буде обслуговуватись в єдиній пріоритетній черзі, а решта трафіка – за схемою кругового обслуговування, то для кожного класу рівень обслуговування по затримкам пакетів буде таким, як треба.

Для досягнення такого результату з кожним ресурсом мають бути пов'язані два лічильники завантаження: перший – для пріоритетного трафіка, другий – для решти (фонового) трафіка.

Якщо вирішується завдання інжинірингу з пошуку в мережі шляху для пріоритетного трафіка, то у разі перевірки можливості його просування конкретним ресурсом середня інтенсивність нового потоку має порівнюватись з вільною пропускнуою спроможністю ресурсу для пріоритетного трафіка. Якщо вільної пропускнуої спроможності достатньо і новий потік просуватиметься через даний інтерфейс, то значення інтенсивності нового потоку треба відняти як від показань лічильника завантаження пріоритетного трафіка, так і від показань лічильника завантаження фонового трафіка, тому що пріоритетний трафік завжди обслуговується раніше фонового.

Якщо завдання інжинірингу вирішується для фонового трафіка, то його інтенсивність порівнюється з вільною пропускнуою спроможністю для фоно-

вого трафіка, у разі позитивного вирішення значення цієї інтенсивності треба відняти тільки від показань лічильника фонового трафіка.

Протоколи маршрутизації з розширенням у нових умовах мають поширювати мережею інформацію про два параметри вільної пропускної спроможності – для кожного класу трафіка окремо.

Якщо завдання інжинірингу трафіка узагальнюється на випадок передавання мережею трафіка декількох класів, то, відповідно, з кожним ресурсом має бути пов'язано стільки лічильників, скільки класів трафіка існує в мережі, а протоколи маршрутизації мають поширювати мережею інформацію щодо відповідної кількості параметрів вільної пропускної спроможності – для кожного класу трафіка окремо.

*Отже*, для збалансованого завантаження мережі, яка забезпечує якісне обслуговування різних класів трафіка з максимально можливим коефіцієнтом завантаження ресурсів мережі, застосовуються методи інжинірингу трафіка.

Методи інжинірингу трафіка спираються на розширені протоколи маршрутизації, які мережею поширюють інформацію про вільну поточну пропускну спроможність ресурсів мережі. На основі цієї інформації завдання інжинірингу трафіка може бути автоматично вирішене маршрутизаторами або комутаторами мережі.

У сучасних мережах елементи інжинірингу трафіка застосовують, хоча й не в повному обсязі, у поєднанні з MPLS-технологією.

## 19. Сучасні цифрові комплекси військового і цивільного призначення

### 19.1. Пакетні радіомережі з динамічною топологією

У зв'язку з перспективністю пакетних радіомереж з динамічною топологією для військових застосувань розглянемо їх детальніше.

**Загальні відомості.** У сучасних системах зв'язку разом з комутацією каналів широко застосовують комутацію пакетів. Паралельно з кабельними пакетними мережами в розвинутих країнах світу створені пакетні радіомережі (ПРМ) тактичного, оперативного і стратегічного призначення.

**Пакетна радіомережа** – це мережа зв'язку, що є сукупністю вузлів комутації пакетів, пов'язаних між собою через радіомовний канал. Спочатку цей радіоканал був єдиним.

У вузлах ПРМ розташовані установки пакетного радіозв'язку (УПР), кожна з яких складається з ретранслятора всенаправленої дії, що заради простоти, працює, як правило, у симплексному режимі, і мікроЕОМ управління. До УПР як джерело сигналу і навантаження можуть підключатись абонентський апарат зв'язку і (або) мобільна ЕОМ. За їх відсутності УПР виконує лише функції ретранслятора. Якщо не всі УПР перебувають в межах взаємної радіодосяжності, то виникає потреба в багаторазовій ретрансляції пакетів, тобто ПРМ стає багатоінтервальною. УПР потребує мінімального обслуговування, а саме: увімкнення і початкового установлення зв'язку хоча б з двома сусідніми УПР. Решта управління УПР повністю автоматизована, тому ПРМ зручно використовувати в районах, де складно організувати проводний зв'язок, а також у разі динамічної топології мережі, яка, зазвичай, характерна для військових ПРМ.

В основі комутації пакетів лежить принцип цифрової обробки сигналів і розподілу повідомлень на короткі пакети, які передаються незалежно один від одного. Кожен пакет складається з інформаційної частини і заголовка (до 10% пакета).

До складу заголовка входять синхропреамбула, номер пакета, ознака пріоритетності, адресна частина, час і швидкість передавання, довжина пакета, спосіб кодування, контрольна сума тощо.

Передавання пакетів здійснюється асинхронно, а тому синхропреамбула використовується в приймачах для синхронізації з передавачем. Крім того, в багатоінтервальних ПРМ передбачене проміжне зберігання пакетів у буферній пам'яті УПР, поки вони чекають черги на ретрансляцію. Минаючи чергу, ретранслюються тільки пакети з ознакою пріоритетності. Пакети одного повідомлення можуть дійти до пункту призначення за різними маршрутами, у різний час і навіть не в тій послідовності, в якій передавались. Номера пакетів використовують для їх ідентифікації і компанування з них у пункті призначення (ППрз) передаваного повідомлення. Адресна частина заголовка містить адресу ППрз й адреси усіх проміжних вузлів маршруту, через які пакет має дійти до ППрз. Час передавання і час приймання використовують для визначення відстані між УПР. Для захисту від похибок застосовують завадостійке кодування, псевдоперетасовування, передавання контрольної суми, модуляцію псевдовипадковою послідовністю (ПВП), псевдовипадкове перебудування робочої частоти (ППРЧ). Інформація шифрується і кодується так, щоб декодувати і розшифрувати її могла тільки УПР пункту призначення. Виняток складає тільки та частина заголовка пакета, що дає змогу за потреби скоригувати подальший маршрут пакета. Вона кодується і шифрується так, щоб декодувати і розшифрувати її могла будь-яка УПР.

Комутація пакетів полягає в прийманні пакетів від попередніх УПР, їх розпізнаванні, за потреби в уточненні маршруту і передаванні пакетів наступним УПР. Розпізнавання пакета здійснює модем УПР. Якщо виявиться, що пакет заадресований даній УПР, то модем дає команду кодеку починати декодування пакета. МікроЕОМ починає діяти після кодека.

На відміну від системи з двох пунктів зв'язку в ПРМ доступ до радіоканалу має група конкуруючих користувачів. Вони ненавмисно створюють завади один одному, для зменшення яких потрібен спеціальний протокол. Це може бути робота на передавання пакетів за розкладом, контроль за несучою частотою, випромінювання передавачем УПР сигналу "ЗАЙНЯТО", поки його приймач приймає дані. У цей час інші сусідні УПР утримуються від передач або ще й ретранслюють цей сигнал зайнятості, щоб решта УПР врахували це, вибираючи маршрут.

**Особливості ультракороткохвильових ПРМ.** У діапазоні УКХ працює більшість ПРМ. Серед них ПРМ перспективного планування науково-дослідних робіт МО США DARPA, тактична ПРМ сухопутних військ передового району, ПРМ підвищеної живучості SURAN, супутникова ПРМ. У них зв'язок між двома УПР можливий в межах прямої видимості, чим забезпечується багаторазове використання одних і тих самих радіочастот в просторово рознесених частинах ПРМ.

До складу DARPA і тактичної ПРМ входить не більш ніж по 100 УПР. У них застосовують хвильовий або двопунктовий способи маршрутизації. При хвильовому способі пакет приймають всі УПР, розташовані в межах пря-

мої видимості, а далі на одну ділянку його просуває УПР, найближча до пункту призначення. Вона стимулює інші УПР зняти цей пакет з черги на ретрансляцію. При двопунктовому способі весь маршрут розробляється і закладається до адресної частини заголовка пакета в УПР джерела повідомлення (ДП). Для розроблення чи корекції маршруту використовують інформацію про місцезположення всіх УПР та про якість каналів зв'язку між ними. Така інформація передається мережею кожні 7,5 с, для чого координати УПР визначаються радіодалекомірним методом за різницею часу приймання і передавання пакету. При хвильовому способі маршрутизації потрібно менше апіорної інформації про топологію і зв'язаність УПР мережі, але для нього характерне гірше використання ресурсів ПРМ.

Щоб зменшити кількість накладок, застосовують *роботу за розкладом*, для чого в симплексному режимі передбачено три етапи. На першому з них установка пакетного радіозв'язку приймає кадр пакетів від попередньої УПР, на другому – працює на передачу, на третьому – приймає підтвердження від наступної УПР і т. ін. При цьому залежно від напрямку просування пакетів кадру, що передається, УПР може водночас працювати з кількома сусідніми УПР. Якщо підтвердження про прийом пакету не надійшло, то він передається повторно. І так до шести разів, але починаючи з четвертого разу, маршрут коригується.

*ПРМ DARPA* працює в діапазоні 1718–1840 МГц. 20 радіочастот цього діапазону можна використовувати для організації 20 різних широкосмугових ПРМ в одному географічному районі або однієї багатоканальної ПРМ з частотним розподілом, або широкосмугової ПРМ з ППРЧ. Для зменшення внутрішньо системних завад в приймачах УПР контролюються: потужність вхідного сигналу, відношення  $(с + ш)/ш$ , частота похибок і залежно від цього регулюється випромінювана потужність 5-ватного передавача в межах 24 дБ з кроком 8 дБ. Залежно від рівня завад швидкість передавання інформації змінюється в межах 100–400 кбіт/с.

*Тактична ПРМ* є локальною вузькосмуговою (25 кГц), працює в діапазоні 30–100 МГц. Її висока гнучкість і живучість в складних умовах передового району досягаються розосередженістю УПР, комутацією пакетів і децентралізованим управлінням. Швидкість пересилання інформації – 16 кбіт/с. Принцип дії локальних УКХ ПРМ показано на *рис. 19.1*, де стрілками наведені напрямки, яким надається перевага під час передавання пакетів від ДП до ППРз. На випробуваннях тактичної ПРМ кількість втрачених пакетів (через накладки й інші завади) не перевищувало 5%. Це підтвердило можли-

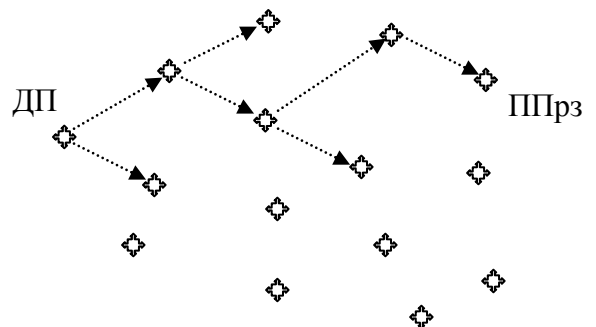


Рис. 19.1. Локальна УКХ ПРМ

вість успішної взаємодії тактичної ПРМ зі стратегічною ПРМ ARPANET, що відкриває доступ тактичним ПРМ до ресурсів потужних стратегічних обчислювальних мереж.

ПРМ SURAN складається із сотень – тисяч УПР, тому має ієрархічну архітектуру, в якій локальні мережі об'єднуються до супермережі за допомогою шлюзових станцій. Працює в діапазоні частот 300–3000 МГц, але в кожній мережі використовується один широкопasmовий частотний канал з безпосередньою модуляцією ПВП і з вільним доступом. Швидкість пересилання інформації – 400 кбіт/с.

Прикладом супутникової ПРМ є система ІРИДІУМ, у якій кожен з 66 супутників-ретрансляторів підтримує прямий зв'язок зі своїми найближчими сусідами, що обертаються на орбітах ліворуч і праворуч, спереду і ззаду.

**Особливості короткохвильових ПРМ.** Прикладом такої мережі є ПРМ ITF оперативного об'єднання ВМС США. До її складу входить не більш як 100 УПР. Архітектура – ієрархічна. ПРМ працює в діапазоні частот 3–30 МГц. При цьому для зв'язку застосовують просторову хвилю, що швидше загасає і створює умови для кращого просторового розв'язання локальних мереж. Просторова хвиля забезпечує дальність зв'язку – до 1000 км. Швидкість пересилання інформації – до 10 кбіт/с в одній лінії.

Пакетна радіомережа ВМС США показана на рис. 19.2. Залежно від бойової обстановки та у разі дії завад мережа і супермережі можуть бути реконфігуровані перепризначенням головних, шлюзових і рядових вузлів.

Методи розподілу ресурсів: між мережами – БДЧР, в середині мереж – БДЧсР, БДКР. Методи доступу до каналу: між мережами – за розкладом, в середині мереж – вільний. Види топології: точка – точка, якщо пункт призначення один; точка – багато точок, якщо пунктів призначення багато.

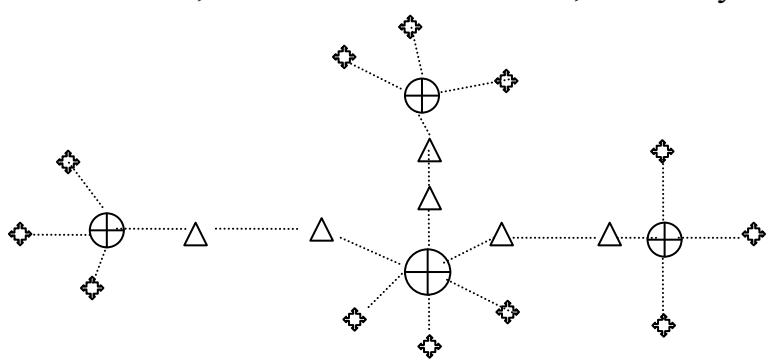


Рис. 19.2. ПРМ оперативного об'єднання ВМС США:  
 ⊕ – головні вузли, що призначені центром управління і є локальними центрами управління;  
 ⊕ – рядові вузли;  
 △ – шлюзові (перехідні) вузли, що забезпечують зчеплення локальних ПРМ у супермережу

зменшити кількість втрачених пакетів, останній краще поєднувати з доступом за розкладом. Метод розширення спектра: ППРЧ в межах 1–5 МГц, тому що за інших однакових (порівняно з ПВП) достоїнств він легше піддається реалізації, синхронізації, поєднанню з БДКР, краще відповідає системним і зовнішнім обмеженням.

**Тенденції розвитку ПРМ.** Кількість вузлів зростатиме до сотень і тисяч.

Зросте навантаження на канал, рівень внутрішніх та навмисних завад. Щоб упоратись з таким навантаженням, необхідно буде організувати багатоканальній зв'язок з БДЧКР.

Щоб знати стан радіоліній між вузлами, УПР весь час мають бути активними, тобто передавати пусті (неінформаційні) пакети, витрачаючи ресурс і перевантажуючи мережу. Поліпшити використання ресурсу і прискорити доставку пакетів за призначенням у разі великої кількості вузлів можна, якщо створювати супермережу за сітчастою архітектурою. Потужність передавачів УПР встановлюватиметься, виходячи з протидіючих вимог: зменшення внутрішньосистемних завад і збільшення довжини ретрансляційної ділянки.

Для боротьби з завадами застосовуватимуться: розширення спектра сигналу (до 100 МГц), змінювання маршруту, адаптивна обробка сигналу, адаптивне подавлення завад, адаптація швидкості пересилання інформації до рівня завад. Для підвищення імітостійкості застосовуватимуться інтелектуальні ПРМ. У них примірники пакета передаватимуться за різними маршрутами, а в пункті призначення порівнянням прийнятих примірників пакета виявлятиметься наявність підробки. Через це в УПР має бути передбачений динамічний перерозподіл ресурсів мережі.

Для боротьби з багатопроблемністю поширення радіохвиль передбачене застосування РАКЕ (“граблі”)-приймачів, які “згрібають до однієї кучі” енергії поодиноких імпульсів.

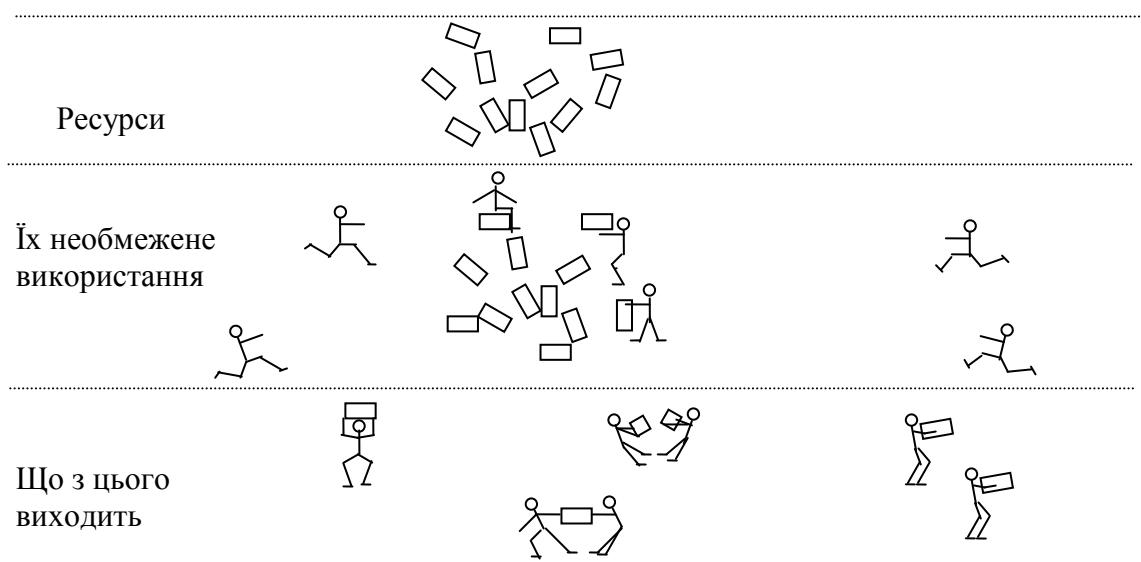
Таким чином, пакетні радіомережі відзначатимуться простотою експлуатації, високими боєготовністю, мобільністю, живучістю, надійністю, розвідзахищеністю, завадозахищеністю, імітостійкістю. Їх недолік – симплексний режим – змушує планувати роботу УПР на передавання і приймання. Перспективні супермережі матимуть сітчасту архітектуру. З високою інтенсивністю трафіка в них можна буде упоратись за допомогою багатоканального зв'язку. Вплив завад буде зменшений, завдяки адаптації параметрів до змінювання завадових умов. Однак ще достатньо проблем з аналізом характеристик, розробленням методів проектування, контролю і оптимізації ПРМ.

## 19.2. ARPANET

**Проблемні питання [19].** У 60-і роки ХХ ст. у США значного розвитку набули обчислювальні системи. До кінця десятиліття стало ясно, що ресурси обчислювальних центрів, а саме, апаратура, програмне забезпечення, масиви даних, могли б бути набагато кориснішими через їх об'єднання і колективне використання. Так виникла гостра потреба у мережах зв'язку між обчислювальними центрами і користувачами ресурсів. Вимоги до них дуже різноманітні. У сфері створення – це потреба в діалоговій взаємодії з ЕОМ. Великі урядові організації мають потребу в обміні даними. Військово-тактичні пот-

реби у зв'язку між ЕОМ є глобальними і найвищими за скритністю, швидкістю, надійністю.

Багато питань, що виникають під час розгляду мереж ЕОМ, пов'язані з ефективним і продуктивним розподілом ресурсів серед конкуруючих вимог на ці ресурси з боку численних терміналів. Таке завдання виникає в багатьох системах із множинним доступом. Його вирішення двома крайніми способами: постійним закріпленням чи використанням без всяких обмежень – є явно неприйнятним. Друге видно з *рис. 19.3*. Розумнішим вважають такий спосіб, коли необхідну частину ресурсу закріплюють за користувачем на визначений час, подібно тому, як це робиться в Тлф мережі. У разі великої кількості користувачів це приводить до такого корисного явища, як згладжування пульсацій в індивідуальних потребах ресурсів, і робить сукупний осереднений процес більш передбачуваним. Однак при цьому важливо, щоб середня потреба у використанні ресурсів не виходила за межі можливостей. Це стосується ЕОМ, комутаторів, систем ущільнення та розділення, систем передавання з проміжним (буферним) збереженням.



*Рис. 19.3.* Використання ресурсів без всяких обмежень

До основних параметрів будь-якої системи колективного використання ресурсів належать такі:

- час відповіді системи, чи затримка;
- продуктивність системи;
- пропускна спроможність ресурсу;
- показник використання ресурсу.

З цих параметрів перший є головним. Доведено, що в комплексах з об'єднаними ресурсами середній час відповіді зменшується.



Для забезпечення зручних дистанційного доступу й обробки інформації було необхідно об'єднати обчислювальну систему і систему зв'язку. При цьому виявився ряд проблем “несумісності”, а саме:

- віддалені термінали різнотипні, працюють асинхронно, по-різному кодують одні й ті самі буквенно-цифрові символи, а процесори головної обчислювальної машини (ГОМ, чи HOST) працюють синхронно і використовують єдине стандартне представлення буквенно-цифрових символів;

- для пересилання цифрових даних довелося використовувати Тлф мережі, не призначені для цього. Потрібні були модеми, що забезпечують можливість передачі по ним;

- цифрові (дискретні) дані відрізняються великою нерівномірністю надходження, через що потрібні були буфери згладжування, системи ущільнення, концентратори тощо.

Таким чином, виникло завдання створення служби передачі повідомлень з високою продуктивністю і швидкою доставкою. Ця служба не мала накладати великих обмежень на роботу віддалених терміналів і ЕОМ, мала допускати можливість її розширення, переміщення терміналів, бути надійною й економічно ефективною.

**Структура ARPANET.** Наприкінці 60-х і на початку 70-х років ХХ ст. перераховані вище вимоги були задоволені в мережі Управління перспективних досліджень (ARPA) МО США. Вона отримала назву ARPANET. Це мережа з комутацією пакетів. Її нарощували поступово: почали у 1969 році з 4 вузлів, у 1972 році вузлів стало вже 34, у 1973 – 39 вузлів, у 1975 – майже 100 вузлів з ЕОМ, географічно рознесеними майже по всій континентальній частині США. За допомогою супутникового зв'язку були охоплені Гаваї і деякі міста Європи. У 1981 році до складу ARPANET входило 213 вузлів.

Основною особливістю стало поєднання мережею різних типів ЕОМ, вироблених різними фірмами і з різними математичними забезпеченнями.

Топологічне з'єднання виконане так, що ARPANET виглядає розподіленою мережею, яка забезпечує захист від розривів ліній завдяки наявності принаймні двох фізично різних шляхів між будь-якою парою вузлів.

Мережу зручно представити у вигляді двох підмереж: *підмережі обчислювальних і термінальних пристроїв*, тобто ресурсів, і *підмережі зв'язку*, що здійснює передавання повідомлень (рис. 19.4). Обчислювальні засоби, зображені на рис. 19.4 прямокутниками. Вони виконують необхідні користувачу завдання обробки і збереження інформації. ЕОМ з'єднані одна з однією за допомогою *підмережі зв'язку*, що складається з комутаційних ЕОМ і високошвидкісних каналів пересилання даних.

Кожна обчислювальна машина (ГОМ, чи HOST) приєднана (асинхронним каналом  $100 \text{ кбіт/с}$  з послідовним пересиланням даних) до вузлової комутаційної ЕОМ (процесора ІМР). ІМР з'єднані між собою повнодуплексними синхронними каналами  $50\text{--}230 \text{ кбіт/с}$ , які не комутуються. ІМР уведені

для звільнення HOST від багатьох завдань з обробки повідомлень, властивих для підмережі зв'язку.

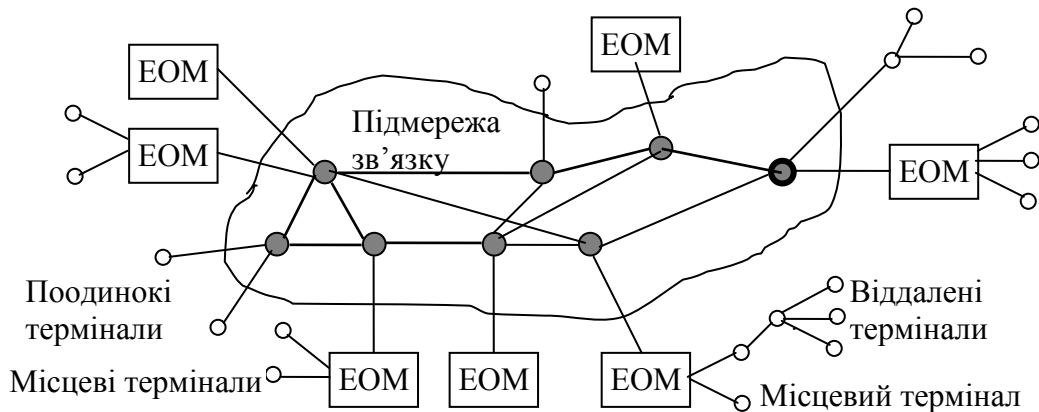


Рис. 19.4. Структура мережі ЕОМ

До операційної системи кожної HOST введена програма управління NCP, яка дає змогу зв'язуватися з іншими HOST відповідно до протоколу HOST-HOST. Програма Telnet забезпечує користувачу вихід з його термінала на програму NCP для роботи в діалоговому режимі.

**Принцип роботи ARPANET.** Спочатку розглянемо процес пересилання даних загалом. Для того щоб потік бітів, що йде, наприклад, від термінала користувача, був переданий до віддаленої обчислювальної системи, HOST-відправник оформляє його в потік повідомлень з максимальним розміром 8063 байт із додаванням до нього заголовка HOST-HOST розміром 32 біта. Після цього HOST-відправник посилає кожне повідомлення до найближчої комутаційної ЕОМ (процесора IMP), яка для підвищення ефективності використання ресурсу поділяє повідомлення на пакети по 1008 біт (рис. 19.5). Потім процесори IMP визначають раціональний маршрут для пакетів у підмережі зв'язку, забезпечують контроль за помилками, виконують функції передавання пакетів, їх збереження в буферних запам'ятовуючих пристроях і повідомляють сторону, що передає, про остаточне прийняття повідомлення HOST-отримувачем.

Пересуваючись мережею, пакети “стрибають” через ділянки від IMP до IMP. Якщо сусід, маючи вільне місце в буферній пам'яті, приймає пакет, то, переконавшись у правильності пакета, він відправляє квитанцію про його успішне передання. Якщо впродовж 125 мс квитанція до IMP-відправника не надійшла, то передавання пакета повторюється.

У місці призначення останній IMP компонує з пакетів повідомлення, передає його HOST-отримувачу, а той передає HOST-відправнику квитанцію про завершення передачі.

Заголовок пакета включає до свого складу адреси ІМР-відправника, ІМР-отримувача, біти управління послідовністю передавання пакетів і виділенням буферної пам'яті, іншу керуючу інформацію.

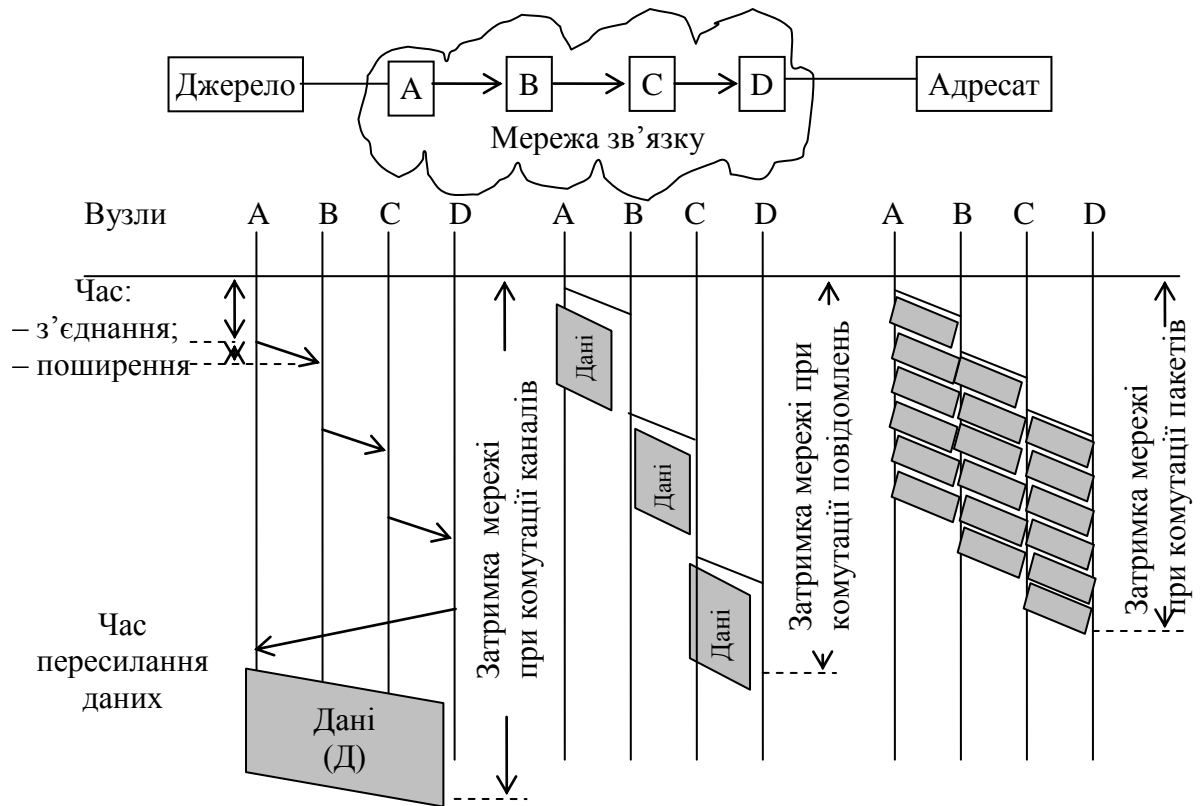


Рис.19.5. Порівняння затримок у мережі зв'язку при різних видах комутації

Пакет у проміжному ІМР можна передавати далі, не чекаючи прийняття інших пакетів даного повідомлення, що заощаджує ресурс часу (див. рис. 19.5).

Вибираючи розмір пакета, можна оптимізувати використання буферної пам'яті зв'язкового ІМР-процесора. Пакети можна вводити в мережу і виводити з мережі в проміжних вузлах.

На практиці велика частина повідомлень складається з одного пакета 1008 *біт*. Стандартні 8-бітові символи обмежують початок і кінець пакета. Передана контрольна сума, за якою виявляються пакети з помилками, складається з 24 *біт*. Якщо помилка не виявлена, то позитивна квитанція вставляється в пакет, переданий у зворотному напрямку.

Пакети надходять до вузла призначення індивідуальними маршрутами і можуть прийти не в тій послідовності, у якій відправлялися. Після того, як ІМР-адресат отримав все повідомлення і передав його HOST-отримувачу, вихідному вузлу надсилається 118-бітний пакет RENM, який свідчить про готовність прийняти наступне повідомлення.

Кількість пакетних буферів у кожному вузлі обмежена. І якщо не взяти запобіжних заходів, то може виникнути явище – компоновочне блокування. Ці заходи полягають у тому, що ІМР-відправник перш, ніж відправити мультипакетне повідомлення, надсилає запит на резервування пам'яті і відправляє пакет тільки тоді, коли отримає підтвердження щодо виділення пам'яті.

Таким чином, сукупність обчислювальних машин, комутаційних процесорів і каналів зв'язку є мережею з комутацією пакетів і колективним використанням обчислювальних ресурсів, ресурсів ліній зв'язку і комутаторів.

**Досвід експлуатації ARPANET** свідчить, що лише 2–3% повідомлень були мультипакетними. При середній довжині повідомлення 243 *біта* середня довжина пакета становила 218 *біт*, а в буферній пам'яті під збереження пакета виділялося 1008 *біт*.

Затримка в передаванні повідомлень складала від 50 до 250 *мс* (не враховуючи супутникових ділянок, що вносять затримку 270 *мс*). Середній час доставляння повідомлення складав 93 *мс* замість припустимих за нормою 200 *мс*, причиною чого була мала довжина повідомлень. Під час передавання довгих повідомлень (файлів) у разі малого і середнього завантаження мережі вони досить швидко досягали адресата, а у разі великого завантаження мережі швидкість передавання помітно знижувалася через блокування окремих ділянок мережі. Через це до програми ІМР вносилися зміни.

Внутрішньовузловими виявилися 22% трафіка, 18% – міжсусідніми вузлами. Середня інтенсивність трафіка в період найбільшого навантаження становила всього 7% від пропускної спроможності мережі.

Помилки виникали в основному через шум у лініях зв'язку. Імовірність враження пакетів помилками у разі використання звичайних Тлф ліній становили  $10^{-3}$ – $10^{-5}$ . Для виявлення помилок успішно застосовувались стандартні циклічні коди. Виявлені помилки усувалися шляхом повторного передавання пакета між сусідніми процесорами ІМР. Під час проведення експерименту невиявлених помилок не було. (Підраховано, що збільшення у кодї кількості перевірочних бітів до 24 дало б змогу знизити кількість невиявлених помилок до однієї в 1–100 років).

**Розвиток ARPANET.** У ARPANET уперше була застосована локальна адаптивна маршрутизація, тобто кожен вузол сам приймає рішення, який вузол на шляху пакета буде наступним. Для цього будь-який вузол містить таблицю маршрутів, у якій кожному вузлу призначення записаний єдиний найкоротший за часом шлях. Ця таблиця складається на підставі обміну даними (через 625–640 *мс*) про мінімальні часові затримки під час передання пакетів кожному адресату, а також на підставі місцевої інформації, наприклад, про стан каналів процесора ІМР. При помірних рівнях трафіка цей метод виявився досить ефективним. У разі виходу з ладу лінії чи процесора процедура вибору маршруту автоматично пристосовується до нових умов, запобігаючи тим самим можливому перевантаженню.

До 1972 року для пересилання квитанцій використовувався окремий пакет. Але через те, що фізична лінія містить в собі по 8 логічних каналів (з часовим поділом) у кожному напрямку, з 1972 року квитанції стали “навішувати” на пакети, що йдуть у зворотному напрямку. Це дало змогу підвищити коефіцієнт використання лінії на 10–20%.

Подальший розвиток ARPANET був пов’язаний з введенням нових типів IMP (багатошинних і супутникових), а також з ростом мережі. Через велику затримку сигналу (0,27 с), що виникає внаслідок руху радіосигналу до супутника і назад до Землі, не менш як 32 пакети можуть бути послані до надходження підтвердження на перший пакет. Для цих пакетів має бути забезпечений простір у буферній пам’яті.

Реалізовані також деякі ідеї з повторного передавання пакетів, зруйнованих через те, що два чи кілька вузлів одночасно використовують канал. У багатошинному IMP за рахунок об’єднання можливостей 14 процесорів вдалося збільшити в 10 разів пропускну спроможність, а багатомодульна конструкція забезпечила адаптацію до зростання кількості підключених ліній і потоків інформації. Були вдосконалені формати типів пакетів: даних, управління мережею, управління переключенням у мережі (маршрутизацією) і спецпакети.

На першому етапі доступ до мережі здійснювався через термінал, підключений до машини HOST, що, у свою чергу, приєднана до процесора IMP. Введення в дію процесора TIP забезпечило прямий доступ терміналів до мережі ARPANET. Процесор TIP (у вигляді міні-EOM Honeywell 316 чи 516) виконує подвійну функцію, функціонуючи як машина HOST і як процесор IMP. До процесора TIP можна приєднати до 63 віддалених чи місцевих терміналів різних типів, а сам він може мати до трьох сполучень з модемами чи машинами HOST.

Деякі удосконалення в роботу мережі ARPANET були внесені ще на етапі налагодження для усунення виявлених у процесі налагодження недоліків, а саме:

- можливості появи циклів, тобто явища, коли пакет, пройшовши ряд вузлів, повертається до вузла, через який він проходив раніше. Це явище усунуте шляхом удосконалення алгоритмів маршрутизації;

- компоновочного блокування як одного з найвідоміших тупикових явищ. Блокування виникало тоді, коли частково скомпоноване повідомлення не завершувало компонування через те, що перевантажена мережа не надавала змоги пакетам, які залишилися, досягти ППрз. Перевантаження виникало внаслідок того, що кожен із сусідів ППрз надавав свої буфери іншим повідомленням, що йдуть до того самого ППрз, і в ньому не залишалось жодного вільного буфера для завершення компонування. Саме через це пакети, що залишилися, не могли пройти через бар’єр блокуваних IMP-процесорів. Для подолання цих труднощів була розроблена нова процедура управління потоками в мережі ARPANET, суть якої полягає у попередньому резервуванні

буферів за запитом і пересиланні наступного повідомлення лише після отримання квитанції від адресата, щодо отримання всього попереднього;

– виникли труднощі, коли постало питання щодо передавання разом з даними оцифрованої мови. У цьому випадку неприйнятні затримки, що перевищують 6 мс, які виникали через те, що у разі порушення правильної послідовності надходження пакетів приходилося усе повторювати спочатку. Подоланням цих труднощів було зменшення ємності пакета.

Головним у ARPANET було введення комутації пакетів як нового способу зв'язку, який робить високошвидкісний канал доступним одночасно для багатьох користувачів.

### 19.3. Короткі відомості про MILNET, Internet та інші комплекси

Після запуску в СРСР першого ШСЗ США стали приділяти більше уваги викладанню математики і природознавства в школах, а в Міністерстві оборони створили Управління перспективних розробок ARPA, відповідальне за розроблення ракетних і космічних проектів для армії [19]. Для об'єднання зусиль організацій і вищих навчальних закладів, що працюють у цій області, у 1969 році під егідою ARPA була створена і почала функціонувати перша мережа передавання даних з комутацією пакетів, названа ARPANET. Це був прообраз і прародителька нинішньої Internet. Ця мережа пройшла ряд етапів розвитку. У 1975 році вона була передана під опіку Управління зв'язку МО США. Згодом стали виникати і поєднуватися інші мережі, у тому числі, комерційні мережі з поділом часу TYMNET і GE; всесвітньо відома мережа для резервування місць на авіалініях і пересилання різного роду повідомлень SITA. У 1984 році була створена магістральна мережа NSFNET для з'єднання регіональних суперкомп'ютерних мереж, що згодом була перейменована в Internet. Спочатку вона представляла з'єднання мереж із пропускнуою спроможністю 56 кбіт/с.

У 1984 року ARPANET розділилася на дві частини, одна з яких, усе ще названа ARPANET, стала цивільною і була задіяна для об'єднання дослідницьких і академічних сайтів, а інша (MILNET), була задіяна для військових потреб і стала частиною оборонної мережі пересилання даних США (DDN, Defence Data Network).

Internet, створення якої почалося з експериментів ARPA з використання технології передавання пакетів, як відкрита система, що щедро фінансується, стала швидко розвиватися, поєднуючи все більше HOST і вузлів. За 1986 рік вона зросла у 2 рази, за 1987 рік – ще у 4 рази. У 1989 році її модернізували до пропускнуої спроможності 1,544 Мбіт/с.

Упродовж останніх десятиліть виникали, існували і суперничали між собою низка мереж (CSNET, BINET, TELENET, DATAPAC – у Північній Америці; EUNET, EIN, EPSS – в Європі; JUNET – в Японії тощо). З часом, не

витримавши конкуренції, вони приєдналися до ARPANET чи до Internet. У 1990 році та ж доля спіткала і цивільну частину ARPANET. Оскільки сайти і трафік перекочували в Internet, то ARPANET була розформована.

Internet продовжувала зростати. У 1994 році вона поєднувала 3 млн HOST у 65 країнах, у 1996 році – 9 млн HOST. Для стимулювання розроблення наступного поліпшеного покоління системи Internet у 1994 році 34 дослідницьких університети почали роботу над проектом Internet-2. За станом на 2003 рік консорціум з розвитку Internet нараховував більше 180 організацій.

Військова частина ARPANET, тобто MILNET, продовжує функціонувати і розвиватися у складі оборонної мережі пересилання даних DDN США. Повідомлялося про її успішне використання в сполученні з комерційною ССЗ IRIDIUM під час бойових дій в Афганістані та Іраку. MILNET успішно взаємодіє з тактичною пакетною УКХ радіомережею передового району сухопутних військ, пакетною УКХ радіомережею підвищеної живучості SURAN, пакетною КХ радіомережею ITF оперативного об'єднання ВМС США, відкриваючи їм доступ до великих баз даних стратегічної обчислювальної мережі.

Головним ворогом великих систем зв'язку є атаки вірусів.

Викладений у главі 19 досвід побудови, випробування, удосконалення та експлуатації пакетних радіомереж з динамічною топологією, ARPANET, Internet та інших мереж може бути корисним під час створення і удосконалення інформаційно-телекомунікаційної мережі Збройних Сил України.

## ЗАКІНЧЕННЯ

Зазираючи разом з [26; 69 та ін.] у майбутнє, можна відзначити таке. Основною тенденцією для усіх типів мереж – Тлф, радіомовних, комп'ютерних, телевізійних та інших – є інтегрування, яке відбувається зараз.

Трохи стримує цей процес передання зображення, яке вимагає високої пропускної спроможності, тому застосовується поки що в менших масштабах. Але при швидкості доступу 64–128 *кбіт/с* можна дивитись в реальному часі телепередачу на невеличкому екрані.

*Таким чином*, ТКМ майбутнього – це мережа, яка якісно передає пульсуючий трафік даних і чутливі до затримок потокові трафіки звуку, відео- і трафіки управління технологічним процесом. На думку фахівців, робота такої мережі має ґрунтуватись на техніці комутації пакетів і широкому застосуванні протоколу IP, але з рядом удосконалень.

До цих удосконалень, перш за все, увійде термінальний пристрій нового типу, який дасть можливість натисканням кількох клавіш увійти до Internet, організувати Тлф розмову, відеоконференцію, відправити електронний лист, замовити демонстрацію на екрані потрібного відеофільму тощо. Попередниками такого пристрою є органайзер, персональний секретар, сучасний мобільний телефон. Такий термінальний пристрій дасть потужний імпульс розвитку телекомунікацій.

Потребу у надшвидкісному та якісному пересиланні інформації задовольнить технологія керованих віртуальних шляхів на базі стандартів DWDM і MPLS. Магістралі цієї мережі будуть побудовані на ВОК з великою кількістю оптичних волокон, що забезпечить мультитерабітну пропускну спроможність. Технологія SDH буде відтиснута в мережі доступу до DWDM-комутаторів.

Ще одним революційним перетворенням стане керованість магістралей на базі технології MPLS, коли шляхи складених волокон, довжин хвиль і контейнерів SDH створюються динамічно за допомогою єдиного протоколу сигналізації.

Низька швидкість доступу, особливо для масових абонентів, є сьогодні перешкодою на шляху широкого надання їм мультимедійних послуг. Існує декілька шляхів розв'язання цієї проблеми: використання мультитоновної модуляції; xDSL технологій і мідних абонентських закінчень, що найкраще під-



ходить для масового індивідуального доступу; безпроводовий доступ як стаціонарний, так і мобільний; прокладка волоконно-оптичних абонентських закінчень з використанням економічної пасивної PON-технології. Для розділення пропускнуєї спроможності каналів доступу буде застосовуватись технологія віртуальних з'єднань для мікропотоків у формі ATM чи IP/ MPLS.

Для якісного передавання трафіка в мережах майбутнього широко застосовуватимуться технології OFDMA, MC-DS-CDMA, методи підтримки QoS.

Зміняться й локальні комп'ютерні мережі. Замість пасивного кабелю, що з'єднує комп'ютери, будуть широко застосовуватись комутатори, маршрутизатори і шлюзи. Це зробить можливим побудову великих корпоративних мереж, що нараховують тисячі комп'ютерів і мають складну структуру. З іншого боку, відроджуватиметься зацікавленість до потужних комп'ютерів – мейнфреймів, оскільки, як виявилось, обслуговувати декілька мейнфреймів легше, ніж сотні серверів і хостів. Тому на новому витку еволюційної спіралі на підприємства почали повертатись мейнфрейми, але вже як повноправні мережні вузли, що підтримують технологію Ethernet, FDDI чи Token Ring, а також стек протоколів TCP/IP, що завдяки Internet став мережним стандартом де-факто. Ось деякі напрями розвитку ТКМ, які можна побачити вже сьогодні.

Військовий зв'язок Збройних Сил України теж робить важливі кроки у напрямі свого майбутнього. Про це свідчить застосування цифрових АТС, модернізація засобів зв'язку, прийняття на озброєння елементів автоматизованої телекомунікаційно-інформаційної системи (АТІС), створеної за сучасними технологіями та ін. Це робить актуальним засвоєння слухачами змісту даного посібника.

## Сучасні і перспективні системи супутникового зв'язку (ССЗ) військового призначення (ВП) провідних країн НАТО

Системи супутникового зв'язку відіграють важливу роль в управлінні ЗС НАТО, оскільки цей рід зв'язку є якісним, широкодоступним і відрізняється високим коефіцієнтом готовності. За станом на 2009 рік основними ССЗ ВП США є “Мілстар”, DSCS, “Флітсатком”, “Афсатком”. Усі вони забезпечують абонентів захищеним зв'язком [75].

**ССЗ “Мілстар”** призначена для командирів усіх ланок управління. На цей час це найдосконаліша система ВП. Вона базується на використанні 5-ти геостаціонарних (ГЕО) супутників-ретрансляторів (СР) (2-х “Мілстар-1” і 3-х “Мілстар-2”). Ще три СР цієї системи працюють на нахилених високоеліптичних орбітах (ВЕО) для забезпечення зв'язком у високих широтах. На лініях вверх/вниз використовуються відповідно частоти (43,5–45,5)/(20,2–21,2) ГГц з ЧРК/ЧсРК. На лінії міжсупутникового зв'язку використовують частоту 60 ГГц. Для зв'язку з ССЗ “Афсатком”, “Флітсатком” є транспондери, що працюють в діапазоні 0,2–0,4 ГГц. “Мілстар-1” здатні пересилати інформацію з каналними швидкостями 75–2400 біт/с, достатніми для передавання мови, телеграфних і факсимільних даних. “Мілстар-2” здатні пересилати інформацію з каналними швидкостями 0,0048–1,544 Мбіт/с, достатніми для передавання мови, даних, зображень, а також для організації відеотелеконференції. “Мілстар-2” обладнані адаптивними антенами, здатними обнуляти ДС у напрямку на джерело завад.

У період 2009–2017 рр. ССЗ “Мілстар” буде поступово замінена перспективною ССЗ АЕНФ.

**ССЗ DSCS** – це система стратегічного зв'язку МО США (до бригади включно). Її використовують також для передавання розвідувальної, дипломатичної, воєнної і державної інформації. DSCS базується на використанні 6-ти оперативних і 6-ти резервних ГЕО СР DSCS-3В. ССЗ DSCS працює в діапазоні (7,25–7,75)/(7,9–8,4) ГГц з ЧРК/ЧсРК, КРК. Пропускна спроможність одного СР залежить від його номера і становить 100–900 Мбіт/с. Сис-

тема добре захищена від радіозавад і електромагнітного імпульсу, що виникає під час ядерного вибуху. Починаючи з 2007 р., ССЗ DSCS поступово замінюються перспективною ССЗ WGS.

ССЗ “Флітсатком” створювалась для потреб флоту. Зараз її дециметрові канали використовують в ОТЛУ усіх видів ЗС США. Система базується на використанні 8-ми оперативних і 2–3-х резервних ГЕО СР “Уфо”. Крім транспондерів дециметрових хвиль, містить від 11 до 20 транспондерів ММХ (60 ГГц), комутатор для комутації антен з вузькою і широкою ДС. Пропускна спроможність СР “Уфо” 400 кбіт/с. Частина незалежного ресурсу СР “Уфо” виділена для ССЗ “Афсатком” і для телерадіомовлення.

ССЗ “Афсатком” призначена виключно для обслуговування вищих ланок управління ЗС США і стратегічних наступальних сил.

**Концепція “мережецентричної війни”** [74; 75]. Для зменшення часу доведення даних цілевказання від розвідзасобів до засобів ураження важливо доповнити вертикальні зв’язки мережі горизонтальними зв’язками. Серйозною перешкодою для цього є різниця в стандартах представлення та обміну інформацією в різних мережах. Тому в США у 2003 році прийнято рішення про перехід до трансформаційної комунікаційної архітектури (ТКА) усіх ССЗ ВП, які увійдуть до складу глобальної інформаційно-управлінської системи (ГІУС) як сегменти. У цій системі і мережі реалізується обмін трансформованою інформацією за ІР-протоколом за принципом “машина – машині” з мінімальною участю оператора або зовсім без нього. Міжмашинний обмін зменшить час обміну даними між ланками “розвідзасоби – пункт управління – засоби ураження” і час на організацію каналу “розвідзасоби – засоби ураження”. Він стане основним під час застосування ВТЗ і забезпечення інформаційної переваги над противником, що буде відповідати вимогам ширшої концепції – концепції “мережецентричної війни”, яка передбачає ведення бойових дій в умовах єдиного інформаційно-телекомунікаційного простору. Ця концепція забезпечить повну ситуаційну поінформованість командирів усіх ланок управління, дасть можливість перейти від простого знищення цілей до такого управління поведінкою противника, при якому він змушений буде приймати катастрофічні для нього рішення [74].

Найважливішими вимогами до ТКА і ГІУС є такі: гарантований доступ; формування різних за призначенням і топологією мереж; взаємодія мереж зв’язку різнорідних сил; глобалізм; забезпечення зв’язку під час руху, використання портативних абонентських терміналів, режиму радіомовлення.

До складу ТКА як космічного сегменту ГІУС увійдуть такі ССЗ різного призначення:

- трансформаційна комунікаційна система (TCS, Transformational Communications System);
- глобальна широкопasmовога ССЗ (WGS, Wideband Global Satcom);
- перспективна ССЗ ММХ (AEHF, Advanced Extremely-High-Frequency);

– надійна система для мобільних абонентів (MUOS, Mobile User Objective System).

**ССЗ TCS.** Космічний сегмент цієї системи складатиметься з 2-х типів КА: TSAT на ГЕО і APS на полярній ВЕО. Для КА TSAT і APS вперше передбачають реалізувати технологію оптичного (лазерного) міжсупутникового зв'язку, який забезпечить пропускну спроможність 28 Гбіт/с одного КА TSAT. Це дасть можливість зменшити час передавання кадру чи відеозображення з РЛС бокового огляду (БО) з 2–88 хв (“Мілстар-2”) до часток секунди.

Космічний сегмент TSAT явить собою кільце з 5-ти КА на ГЕО, замкнуте системою захищеного радіо- і оптичного зв'язку, призначене для розвідзасобів повітряного і космічного базування, забезпечене маршрутизацією пакетів, як в Internet, і комутацією каналів на борту КА в інші частотні діапазони. Це переводить ССЗ TSAT у розряд ключового елемента при реалізації бойового управління “мережецентричного типу”. Запуск КА TSAT планується розпочати у 2013 р. (табл.).

Таблиця

**Перспективи розвитку систем супутникового зв'язку військового призначення США**

ССЗ ВП США	Роки													
	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
DSCS	-----													
WGS	-----													
“Мілстар”	-----													
AEHF	-----													
”Флітсатком”	-----													
MUOS	-----													
TSAT	-----													
APS	-----													

Умовні позначення:

----- : розгортання; ————— : функціонування; - - - - - : згортання.

Космічний сегмент APS являтиме собою три КА на полярній ВЕО, замкнутих в кільце між собою і з орбітальним угрупованням КА TSAT системою захищеного радіо- (60 ГГц) і оптичного зв'язку. Розгортання розпочнеться у 2013 р., а зараз використовують 3 блоки з низькою швидкістю передавання даних, що встановлені на “Мілстар-2”. Космічний сегмент дуже важливий для стратегічної авіації, атомного підводного флоту, РЛС раннього виявлення пусків міжконтинентальних балістичних ракет тощо.

**ССЗ WGS.** До 2011 р. космічні апарати DSCS-3В і “Уфо” повністю вичерпають свій ресурс. У зв'язку з цим для задоволення підвищених вимог до дальнього магістрального зв'язку за завадозахищеністю і пропускнуою спро-

можністю МО США у 2001 р. прийняло рішення про розроблення нової широкосмугової ССЗ WGS. Заміна КА розпочалась у 2007 р.

Підвищення пропускної спроможності досягається за рахунок додаткових транспондерів MMX і багаторазового використання одних і тих самих частот, завдяки доповненню традиційних методів розділення каналів просторовим і поляризаційним методом їх розділення. Підвищення завадозахищеності досягається застосуванням гнучких смугових фільтрів і переключенням каналів у інші частотні діапазони.

Було замовлено 6 КА, кожен з яких містить десятки транспондерів, розосереджених по воєнних діапазонах 7/8 та 40/20 ГГц і по деяких цивільних діапазонах, наприклад, Ка-діапазону (20/30 ГГц). Пропускна спроможність одного КА становить 2,2 Гбіт/с, що на декілька порядків вище, ніж у КА “Уфо”. Стартова маса КА – 5000 кг, гарантійний термін – 10 років.

**ССЗ АЕНФ.** Це глобальна, живуча і добре захищена система для командирів ОТЛУ. Замовлено 5 КА (4 оперативних і 1 резервний). Апаратура зв'язку буде суміщена з існуючим парком (“Мілстар-1” і “Мілстар-2”) і новим парком (“Мілстар-3”), у якого канална швидкість пересилання інформації може досягати 8,139 Мбіт/с. Канали зв'язку типу “Земля – КА” і “КА – КА” використовуватимуть діапазон частот ЕНФ (60 ГГц), канали зв'язку типу “КА – Земля” – діапазон частот SHF (3-30) ГГц. Виведення КА на ГЕО заплановано на 2009–2011 рр., гарантійний термін – 15 років.

**ССЗ MUOS.** Розроблення системи розпочалась у 2004 р., розгортання заплановано на 2009–2013 рр. Замовлено 6 КА (5 оперативних і 1 резервний), пропускна спроможність частотного каналу – 1,5 Мбіт/с, пропускна спроможність одного КА – 5 Мбіт/с, що на порядок перевищує пропускну спроможність КА “Уфо”. Система працюватиме в діапазонах UHF(0.3-3 ГГц)/ЕНФ, X (7/8) ГГц, Ка (20/30) ГГц, буде забезпечений високонадійний, завадостійкий, завадозахищений зв'язок. Для підвищення ефективності використання канали зв'язку будуть надаватись за вимогою.

**Європейські країни НАТО.** До структури їх ССЗ ВП входять: засоби об'єднаних ЗС НАТО, коаліційні системи декількох країн, національні ССЗ. Нині в оперативному використанні європейських країни НАТО перебувають 4 військових ССЗ, ще 3 ССЗ – в стадії проектування і розроблення. Крім того, на основі оренди використовуються не менш ніж 3 комерційних ССЗ.

У Великобританії три КА “Скайнет-4” будуть замінені 3-ма КА “Скайнет-5”. Можливе створення ще одного КА. Маса кожного з них – 4700 кг, гарантійний термін – 15 років.

МО Італії у 2001 р. вивело на орбіту важкий високопродуктивний КА “Сікрал”, а в 2009 р. заплановано виведення на орбіту КА “Сікрал-1В”. КА “Сікрал” містить в собі 9 транспондерів, що працюють в діапазонах SHF, UHF, ЕНФ (60 ГГц). В оренді частини ресурсу КА “Сікрал” зацікавлена Франція.

*МО Франції* удосконалює ССЗ “Сіракуз”: модернізує наземний сегмент, оновлює склад КА. Перший КА нового покоління “Сіракуз-3А” був виведений на ГЕО (47° сх. д.) у 2005 р., другий – “Сіракуз-3В” – у 2006 р., третій – перебуває у стадії розроблення. ССЗ “Сіракуз” працює в діапазоні SHF, гарантійний термін КА – 15 років.

*ЗС ФРН* орендують канали супутникового зв’язку X-діапазону у сусідів по НАТО, С (6/4 ГГц) і Ka-діапазонів – у комерційних ССЗ, зокрема канали мобільного зв’язку у системи “Інмарсат”. Бундесвер планує створити власну ССЗ “SATCOMB”. Вона складатиметься з 2-х КА на ГЕО (37° зах. д. і 63° сх. д.), 2-х стаціонарних телепортів і багатодіапазонних мобільних станцій супутникового зв’язку. Виведення першого КА на орбіту заплановано на 2009 р. Гарантійний термін для КА – 15 років.

У подальшому можливе об’єднання національних ССЗ ВП у загальноєвропейську ССЗ ВП.

#### **Тенденції розвитку ССЗ європейських країн НАТО [75]:**

- перенесення фронту робіт з Тлф зв’язку на пересилання даних і зображень;
- перехід від створення національних і регіональних ССЗ до створення глобальної ССЗ;

- зростання обсягу робіт в області мобільного зв’язку;
- втілення у цифровий зв’язок міжнародних стандартів;
- втілення у технічні засоби зв’язку багатопромених антен, бортових комутаторів, високопродуктивних мікропроцесорів, штучного інтелекту;
- переоцінка оптимальних технологій з точки зору стандартів, економіки, узгодження систем, складності обслуговування, мобільності, можливості використання для телерадіомовлення;

- пересилання по каналах ССЗ ВП інформації, особливо важливої для управління бойовими діями, а по орендованих каналах комерційних ССЗ – воєнної інформації загального призначення, що не потребує високого рівня захисту.

Аналіз технічних параметрів створюваних нині ССЗ дає змогу відзначити, що вони:

- забезпечать глобальне охоплення земної поверхні (у тому числі і приполярні області);

- практично всі розраховуються на роботу в діапазоні 30–40 ГГц, а міжсупутникові лінії – в діапазоні 60 ГГц і навіть в оптичному діапазоні;

- передбачають інтегрування космічних сегментів до єдиної системи з метою надшвидкого забезпечення глобального зв’язку з оптимальною маршрутизацією сигналу;

- нададуть абонентам канали доступу з пропускною спроможністю від одиниць до сотень Мбіт/с, що забезпечить отримання послуг практично усіх видів зв’язку.

Примітка. Діапазони (в ГГц): UHF(0,3-3), SHF(3-30), C(6/4), X(7/8), Ku (11/17), Ka(20/30), EHF(30-300).

## Питання для самоконтролю

### Вступ

Питання для самоконтролю згруповані по главам. Під час самоконтролю необхідно дати відповідь на поставлене питання. Для переконання у правильності відповіді треба звернутись до параграфа, вказаного в дужках після питання.

#### Глава 1

1. Що таке фізична лінія зв'язку, канал, лінійний тракт? (П. 1.1).
2. Назвіть основні складові системи передачі. (П. 1.1).
3. Які завдання і з якою метою вирішують КУА і КЦ? (П. 1.1).
4. В чому полягають переваги сітчастих топологій ТКМ над деревоподібними? (П. 1.1).
5. Назвіть нові чинники доцільності втілення сітчастих систем зв'язку. (П. 1.1).
6. Назвіть підсистеми ОТЛУ і ТЛУ СВ США. (П. 1.1).
7. Дайте характеристику телекомунікаційної транспортної системи, що забезпечує ОТЛУ і ТЛУ СВ США. (П. 1.1).
8. Дайте визначення первинній і вторинній мережам, транспортній мережі і мережі доступу. (П. 1.2).
9. Зміст поняття, переваги і недоліки комутації каналів. (П. 1.3).
10. Зміст поняття, переваги і недоліки комутації пакетів. (П. 1.3).

#### Глава 2

1. Складові якості військового зв'язку, їх визначення. (П. 2.1).
2. Різновиди скритності військового зв'язку, як вони забезпечуються. (П. 2.1).
3. Що таке достовірність зв'язку, як вона забезпечується? (П. 2.1).
4. Різновиди характеристик якості системи військового зв'язку, їх сутність. (П. 2.2).
5. Складові бойової готовності системи ВЗв, їх сутність. (П. 2.2).
6. Складові стійкості системи ВЗв, їх сутність. (П. 2.2).
7. Складові безпеки системи ВЗв, їх сутність. (П. 2.2).
8. Складові функціональної сумісності систем ВЗв. (П. 2.2).
9. Дайте визначення пропускної спроможності системи ВЗв. (П. 2.3).
10. Як впливають характеристики системи ВЗв на якість ВЗв? (П. 2.2 і 2.3).

#### Глава 3

1. Що таке інформація, повідомлення, сигнал? (П. 3.1).
2. Дайте визначення різновидам сигналів. (П. 3.1).
3. Характеристики дискретних повідомлень. (П. 3.1).
4. Як здійснюється перетворення аналогових сигналів у цифрові сигнали? (П. 3.1).
5. Охарактеризуйте різновид кодувань. (П. 3.1).

6. Дайте визначення пропускну́ї спроможності каналу зв'язку, її математичного описання в каналах з завадами і без завад. (П. 3.2).
7. Від чого залежить завадостійкість каналу зв'язку? (П. 3.2).
8. Взаємозв'язок протирозвідкової захищеності з широкосмуговістю сигналу. Способи розширення спектра сигналу. (П. 3.3).
9. Принципи забезпечення безошукового і безпідстроювального зв'язку. (П. 3.4).
10. Наведіть структурні схеми передавача, приймача і синтезатора частот. (П. 3.4).
11. В чому полягає і для чого здійснюється економна модуляція цифрових сигналів? (П. 3.5).
12. Сутність, переваги і недоліки кореляційного приймання цифрових сигналів. (П. 3.6).

#### Глава 4

1. В чому полягає принцип частотного ущільнення і розділення каналів? (П. 4.1).
2. Сутність принципів часового ущільнення і розділення каналів. (П. 4.2).
3. Сутність принципів кодового ущільнення і розділення каналів. (П. 4.3).
4. Значення ортогональності сигналів для ущільнення і розділення каналів. (П. 4.3).
5. Призначення тактової і циклової синхронізації в КУА. (П. 4.5).
6. Особливості синхронізації в системах багатостанційного доступу. (П. 4.6).
7. Особливості асинхронно-адресних систем передачі цифрових сигналів. (П. 4.7).
8. Які адресно-кодові послідовності і чому найбільш придатні для застосування в ААСП? (П. 4.7).
9. Що таке частотно-часова матриця, від чого залежить об'єм ансамблю частотно-часових матриць? (П. 4.7).
10. Як формується частотно-часова матриця в передавачі і використовуються у приймачі? (П.4.7).

#### Глава 5

1. В чому полягають основні функції комутаційного центра? (П. 5.1).
2. Наведіть узагальнену структурну схему комутаційного центра. (П. 5.2).
3. Яке призначення елементів комутаційного центра? (П. 5.2).
4. Основні відмінні риси центра комутації каналів. (П. 5.3).
5. Основні відмінні риси центра комутації повідомлень. (П. 5.3).
6. Для чого і якими засобами здійснюється логічна структуризація ЛОМ? (П. 5.4).
7. Наведіть топологію інформаційно-телекомунікаційної мережі. (П. 5.5).
8. Різновиди комутаторів каналів для волоконно-оптичних СП і їх характеристики. (П.5.5).
9. Яку проблему треба розв'язати для створення комутаторів пакетів типу «ООО»? (П. 5.5).
10. Маршрутизатори і маршрутизація в складених глобальних мережах. (П. 5.5).

#### Глава 6

1. Назвіть діапазон частот військового радіозв'язку (ВРз), перерахуйте його в довжини хвиль. (П. 6.1).
2. Охарактеризуйте середовище поширення і різновиди коротких радіохвиль. (П. 6.1).
3. Дайте визначення МЗЧ, ОРЧ, НЗЧ, ЙОЧ і їх застосування. (П. 6.1).
4. Дайте визначення адаптивних радіоліній і їх різновидів. (П. 6.2).
5. Наведіть структурні схеми ЧАРЛ, її складових і принципи їх роботи. (П. 6.2).
6. Принципи побудови радіорелейного зв'язку прямої видимості. (П. 6.3).
7. Вплив середовища поширення радіохвиль на якість РРЗ. (П. 6.3).
8. Принципи побудови тропосферних ліній військового зв'язку. (П. 6.4).
9. Принципи побудови тропосферних радіостанцій і обробки сигналів у них. (П. 6.4).
10. Особливості побудови систем супутникового зв'язку. (П. 6.5).
11. Характеристики волоконних світлодіодів і волоконно-оптичних кабелів. (П. 6.6).



12. Структурна схема, принцип роботи і характеристики волоконно-оптичного тракту та його елементів. (П. 6.6).

#### Глава 7

1. Загальні принципи побудови первинних мереж зв'язку. (П. 7.1).
2. Принципи побудови апаратури тональної телеграфії. (П. 7.3).
3. Загальна характеристика телекомунікаційного комплексу MSE ОТЛЮ армії США. (П. 7.4).
4. Загальна характеристика телекомунікаційної системи EPLRS ТЛЮ армії США. (П. 7.5).
5. Загальна характеристика тактичної системи радіозв'язку JTRS. (П. 7.5).
6. Особливості побудови і роботи об'єднаної системи розподілу тактичної інформації JTIDS. (П. 7.6).
7. Кореляційна обробка сигналу на конвольвері в JTIDS. (П. 7.6).

#### Глава 8

1. Функціональна схема системи стільникового зв'язку. (П. 8.1).
2. Наведіть структурну схему і поясніть принципи роботи абонентської станції. (П. 8.2).
3. Особливості обробки мовної інформації в абонентській станції. (П. 8.3).
4. Аналогові і цифрові транкінгові системи. (П. 8.4).
5. пейжинговий і твейджинговий зв'язок. (П. 8.5).
6. Особливості побудови і роботи безпроводового телефону. (П. 8.5).
7. Використання різних видів мобільного зв'язку у військовій справі. (П. 8.6).

#### Глава 9

1. Особливості орбіт зв'язкових і навігаційних супутників. (П.П. 9.1, 9.3, 9.4).
2. Новітні розробки в галузі супутникового зв'язку США. (П. 9.2).
3. Використання комерційних супутників зв'язку у військових цілях. (П. 9.3).
4. Принципи побудови і роботи супутникових систем визначення місцеположення. (П. 9.4).
5. Дайте загальну характеристику системам GPS, ГЛОНАСС, «Галілео», EGNOS. (П. 9.4).
6. Як і чому впливає диференціальний режим на точність визначення місцеположення? (П. 9.5).
7. Що ви знаєте про військові застосування апаратури супутникової навігації? (П. 9.6).

#### Глава 10

1. Сутність поняття відкритих телекомунікаційних систем (ТКС). (П. 10.1).
2. Наведіть структурну схему моделі взаємодії відкритих ТКС. (П. 10.2).
3. Сутність понять інтерфейс, протокол, стек протоколів, декомпозиції і що вона дає. (П. 10.2).
4. Дайте характеристику рівнів базової моделі взаємодії відкритих ТКС. (П. 10.3).
5. Комутація і маршрутизація в системах управління на перспективних ТКМ. (П. 10.4).

#### Глава 11

1. Наведіть структурну схему і розкажіть принцип роботи ЛОМ Ethernet. (П. 11.1).
2. Особливості різновидів Ethernet і їх характеристики. (П. 11.2).
3. Новітні розробки по удосконаленню Ethernet. (П. 11.3).
4. Сутність і характеристики мереж, побудованих за технологією Token Ring. (П. 11.4).
5. Сутність і характеристики мереж, побудованих за технологією FDDI. (П. 11.5).

#### Глава 12

1. Загальна характеристика технологій і мереж з інтегруванням видів зв'язку. (П. 12.1).
2. Сутність і схема початкового доступу до мережі ISDN. (П. 12.2).
3. Сутність основного методу доступу до мережі ISDN. (П. 12.2).
4. Принцип поділу користувачького обладнання на групи. (П. 12.3).

5. Наведіть структурну схему підключення різних груп користувацького обладнання до мережі ISDN. (П. 12.4).
6. Схеми адресування в технології ISDN. (П. 12.5).

#### Глава 13

1. Загальні відомості про пакетні мережі. (П. 13.1).
2. Різновиди технологій передачі пакетів у пакетній мережі, їх переваги і недоліки. (П. 13.2).
3. Архітектура глобальної мережі з комутацією пакетів. (П. 13.3).
4. Призначення і загальна характеристика мережі, що реалізує технологію X.25. (П. 13.4).
5. Структура, принцип дії і режими роботи комплексу X.25. (П. 13.4).
6. Призначення і загальна характеристика мережі, що реалізує технологію Frame Relay. (П.13.5).
7. Структура, принцип дії і режими роботи комплексу Frame Relay (П. 13.5)
8. Призначення і загальна характеристика мережі, що реалізує технологію ATM. (П. 13.6).
9. Структура, принцип дії і режими роботи комплексу ATM. (П.13.6).
10. Особливості маршрутизації в мережах, побудованих за технологією ATM. (П. 13.6).

#### Глава 14

1. Призначення і загальна характеристика Інтернет-технології. (П. 14.3).
2. Характеристика стека протоколів TCP/IP і чотирирівневої моделі. (П. 14.3).
3. Особливості системи IP-адресування. (П. 14.3).
4. Автономні системи в Інтернет. (П. 14.3).
5. Особливості технології MPLS і перспективи її застосування. (П. 14.4).
6. Зміст понять віртуальний шлях і віртуальний маршрут (канал). (П. 14.4).

#### Глава 15

1. Загальна характеристика і можливості технології PDH. (П. 15.1).
2. Загальна характеристика і можливості технології SDH. (П. 15.2).
3. Зміст поняття «синхронний транспортний модуль». (П.15.2).
4. Загальна характеристика і можливості технології хвильового мультиплексування WDM. (П.15.3).
5. Загальна характеристика і можливості технології щільного хвильового мультиплексування DWDM. (П.15.3).
6. Загальна характеристика і можливості технології надщільного хвильового мультиплексування HDWDM. (П.15.3).
7. Перспективи створення повністю оптичних мереж AON. (П.15.3).
8. Принципи побудови елементної бази для реалізації технологій DWDM, HDWDM, AON. (П.15.3).
9. Загальна характеристика і можливості технології побудови регіональних мереж. (П.15.4).

#### Глава 16

1. Зміст поняття «багатопозиційний код», його відмінність від двопозиційного коду. (П. 16.1).
2. Наведіть амплітудно-фазові діаграми BPSK, QPSK, QAM-16, QAM-64. (П. 16.1).
3. Сутність мультитоновної модуляції. (П. 16.2).
4. Порівняйте xDSL технології для телефонних і кабельних мереж доступу. (П. 16.3).
5. Технології радіо- і оптичного доступу. (П. 16.4).
6. Гібридна коаксіально-волоконно-оптична мережа доступу. (П. 16.5).
7. Волоконно-оптичні мережі доступу. (П. 16.5).
8. Різновиди пасивних волоконно-оптичних мереж доступу. (П. 16.5).

## Глава 17

1. Характеристики реального УКХ-каналу і вплив їх значень на спотворення сигналів. (П. Д1.1).
2. Методи боротьби з різними видами завмирань сигналів. (П. Д1.1).
3. Кандидатні технології на застосування в системах мобільного УКХ-зв'язку 4-го покоління. (П. Д1.2).
4. Результати випробувань експериментального зразка системи мобільного УКХ-зв'язку 4-го покоління. (П. Д1.2).
5. Загальна характеристика і варіанти реалізації технології OFDMA. (П. Д1.3).
6. Загальна характеристика і варіанти реалізації технології MC-DS-CDMA. (П. Д1.4).
7. Загальна характеристика технології Wi-Fi широкосмугового радіодоступу абонентського рівня. (П. Д1.5).
8. Загальна характеристика технології WiMax широкосмугового радіодоступу операторського рівня. (П. Д1.5).

## Глава 18

1. Якість обслуговування і її різновиди за рівнем «суворості». (П. 18.1).
2. Що треба передбачити в угоді з постачальником послуг про якість обслуговування? (П. 18.2).
3. Вимоги до якості обслуговування при різних видах застосувань. (П. 18.3).
4. Що відноситься до параметрів якості обслуговування? (П. 18.3).
5. Загальна характеристика служби якості обслуговування. (П. 18.4).
6. Різновиди алгоритмів управління чергами. (П. 18.5).
7. Різновиди алгоритмів профілювання і формування трафіка. (П. 18.6).
8. В чому полягають недоліки традиційних методів оптимізації роботи мережі? (П. 18.7).
9. Сутність інжинірингу трафіка, методи розв'язання задач інжинірингу для різних класів трафіка. (П. 18.7).

## Глава 19

1. Загальна характеристика і різновиди пакетних радіомереж з динамічною топологією і децентралізованим управлінням. (П. 17.1).
2. Що корисного можна запозичити з досвіду побудови, випробування, експлуатації і розвитку ARPANET. (П. 17.2).
3. Історія виникнення і розвитку INTERNET і MILNET. (П. 17.3).

## Додаток 1

1. Сучасні системи супутникового зв'язку США, їх час згорання. (П. Д2).
2. Сутність концепції «мережецентричної війни». (П. Д2).
3. Перспективні системи супутникового зв'язку США, їх час розгорання. (П. Д2).
4. Новітні розробки в перспективних системах супутникового зв'язку США. (П. Д2).
5. Тенденції розвитку і перспективні системи супутникового зв'язку європейських країн НАТО. (П. Д2).

## Предметний покажчик

### А

Абонентська станція, 47, 168  
Автономні системи, 275-276  
Адаптивні радіолінії, 86  
Адресно-кодова послідовність, 56  
Алгоритми управління чергами, 326-329  
Аналоговий сигнал, 21  
Апаратура тональної телеграфії, 139  
Асинхронно-адресні системи, 56

### Б

Багатоканальна система, 4  
Багатопозиційні цифрові коди, 294, 295  
Багатостанційний доступ, 55, 119  
Базова модель взаємодії відкритих ТКС, 207  
Базова станція, 47, 169  
Безпека, 19  
Безпошуковий і безпідстроювальний зв'язок, 29  
Безпроводова оптика, 302  
Безпроводовий телефон, 180  
Біт інформації, 22  
Бойова готовність системи ВЗв, 18

### В

Великі вузли доступу, 142  
Відкриті телекомунікаційні системи, 206  
Віртуальний канал, 239, 245, 246, 252  
Віртуальний шлях, 258  
Волоконний світловод, 126  
Волоконно-оптичний кабель, 124, 128  
Волоконно-оптичний лінійний тракт, 130  
Волоконно-оптична мережа доступу, 303-305  
Вторинна мережа, 11

### Г

„Галілео”, 198  
Гібридна мережа доступу, 302  
Глобальна мережа, 11  
Глобальна територіальна мережа, 9

ГЛОНАСС, 188, 196

## Д

Дейтаграмна передача, 238  
Диференціальний режим місцевизначення, 198-200  
Дискретизація, 22  
Дискретне повідомлення, 21  
Достовірність, 14  
Драйвер, 69  
Дуплексний зв'язок, 31

## Е

Економна модуляція цифрових сигналів, 34, 35  
Ентропія повідомлень, 21

## Ж

Живучість, 18

## З

Завадозахищеність, 18, 25  
Завдостійкість, 18, 25  
Збирач-розбирач пакетів, 244, 248, 249  
Земна радіохвиля, 77, 78  
Зона видимості, 117  
Зона обслуговування, 117  
Зона покриття, 117

## І

Інжиніринг трафіка, 332-337  
Інтерфейс, 208, 239  
Іоносферна радіохвиля, 77, 78

## Й

Ймовірно-оптимальна частота, 83

## К

Канал тональної частоти, 137  
Каналотвірна апаратура, 4, 136  
Квантування, 22  
Кількість інформації, 21  
Кінцевий засіб, пристрій, апаратура, 4, 136  
Кодове розділення каналів, 4, 44  
Кодування, 22  
Комерційні супутникові системи зв'язку, 191-194  
Комутатор, 68, 240  
Комутаційний центр, 5, 59, 60, 61, 167, 170  
Комутаційні засоби, 65  
Комутація каналів, 12, 62-64, 71, 315  
Комутація пакетів, 13, 72, 315  
Комутація повідомлень, 62-64, 315  
Конвольвер, 163  
„Контейнерне” транспортування інформації, 282  
Кореляційне приймання, 35, 36  
Критична частота при вертикальному зондуванні іоносфери, 70

## Л

Лінійний тракт, 4

Логічна структуризація мережі, 66  
Локальна мережа, 11  
Локальна територіальна мережа, 9

## М

Максимальна застосовувана частота, 79, 80  
Малі вузли доступу, 143  
Маршрутизатор, 74, 267  
Маршрутизація, 74, 212, 261, 267  
Мережа мобільного зв'язку, 9  
Мережа доступу, 11, 71  
Мережний адаптер, 69  
Механізми профілювання і формування трафіка, 329, 330  
Міст, 67  
Мобільність системи, 20  
Модем, 294, 298-301  
М-послідовності, 57  
Мультиплексор, 239, 241

## Н

Навстар, 197  
Надійність, 18  
Напівдуплексний зв'язок, 31  
Неперервне повідомлення, 21  
Нижня застосовувана частота, 80

## О

Об'єм алфавіту, 21  
Оптимальна радіочастота, 80  
Оптимальна субчастота, 88  
«Остання миля», 293

## П

Пакетна мережа, 238  
Пакетна мережа з динамічною топологією, 306-311  
Параметри якості обслуговування, 324  
Пейджинговий зв'язок, 179  
Первинна (опорна) мережа, 10, 134  
Пристрій перетворення сигналів. 4, 136  
Проводовий зв'язок, 124  
Продуктивність джерела повідомлень, 22  
Пропускна спроможність, 19, 20, 24  
Протирозвідкова захищеність, 27  
Протокол, 208  
Псевдовипадкове перестроювання робочої частоти, 27, 28, 160

## Р

Радіорелейний зв'язок, 94, 102  
Рівні базової моделі, 209-211, 269-271  
Різновиди Ethernet, 218-220, 291  
Рознесення приймання сигналів, 106-109

## С

Середовище поширення сигналів (радіосигналів), 77, 96, 97, 102-105  
Симплексний зв'язок, 30

Синтезатор частот, 34  
Синхронізація, 50, 164  
Синхронний транспортний модуль, 282  
Синхронний мультиплексор, 283  
Система передачі, 4, 135  
Сітчаста телекомунікаційна мережа, 6  
Складена мережа, 72, 267  
Скритність, 14  
Служба якості обслуговування, 325  
Стек протоколів, 208, 268  
Стійкість системи, 18  
Супутниковий зв'язок, 113  
Супутникові системи місцевизначення, 194-198  
Супутник-ретранслятор, 117, 118

## Т

Телеграфний сигнал, 137  
Телекомунікаційна транспортна система, 9  
Технологія AON, 287, 287-289, 292  
Технологія ATM, 255-258, 266  
Технологія DWDM, 285, 287-289, 291  
Технологія Ethernet, 215  
Технологія FDDI, 222  
Технологія Frame Relay, 247, 248, 265  
Технологія HDWDM, 287, 287-289, 291  
Технологія Internet, 266  
Технологія ISDN, 224, 264  
Технологія MPLS, 277, 289  
Технологія PDN, 280, 281  
Технологія радіодоступу, 301  
Технологія SDN/ SONET, 281, 285, 291  
Технологія Token Ring, 221  
Технологія WDM, 285  
Технологія X.25, 242, 264  
Технологія xDSL, 293  
Точки радіодоступу, 143  
Транкінговий зв'язок, 175-178  
Транспортна мережа, 11, 71  
Тропосферний радіозв'язок, 94, 102

## У

Угода про якість обслуговування, 321

## Ф

Фізична лінія зв'язку, 4  
Фіксована частота, 88  
Функціональна сумісність, 19

## Х

Характеристики орбіт, 115, 193

## Ц

Цифровий сигнал, 21  
Цифрові абонентські лінії, 296

Часовий розподіл каналів, 4, 42  
Частотний розподіл каналів, 4, 38  
Частотно-адаптивна радіолінія, 86-90  
Частотно-часова матриця, 57, 58, 59

## **Ч**

Якість військового зв'язку 13, 14  
Якість обслуговування, 320  
Якість системи військового зв'язку, 14

## **Я**

ADSL, 271, 296-299, 305, 306  
AEHF, 352-354  
ANSI, 226, 290  
AON, 287-289  
ARPANET, 311-318  
ATM, 239, 255-263, 266, 271, 324

## **A**

BECN, 250  
BPSK, 345, 349  
Bridge, 67

## **B**

CDMA, 44-49, 341  
CIDR, 274  
CIR, 251, 239, 330  
CSU/DSU, 249

## **C**

DAMA, 349  
DARPA, 308-309  
DCE, 241  
DECT, 182  
DLCI, 250, 253  
DNS, 274  
DS-CDMA, 345  
DSCS, 351, 353  
DSL, 230, 237  
DSSS, 347  
DTE, 240, 245  
DTM, 291  
DWDM, 281, 285-290, 299

## **D**

EGNOS, 198  
EPLRS, 146, 154  
ERMES, 180  
Ethernet, 69  
ETSI, 226, 344

## **E**

Fast Ethernet, 219  
FDDI, 70, 222, 338

## **F**



FDMA, 38-42, 341  
FECN, 250  
FH-OFDMA, 350  
FHSS, 347  
FIFO, 326  
FRAD, 249, 252  
Frame Relay, 239, 247, 251, 255, 265, 271, 324  
FTR, 269, 270

## **G**

Gigabit Ethernet, 220  
GMPLS, 289  
GPS, 188, 197  
GSM, 166, 187

## **H**

HDWDM, 287-289, 299  
HOSTID, 272, 273  
HTTP, 269

## **I**

IAVA, 270  
ICMP, 269, 271  
Internet, 266-276, 318-319  
IP, 269, 270  
Iridium, 193  
ISDN, 224-226, 264, 271  
IS-IS, 334  
ISO, 207, 269  
ITU-T, 207, 290

## **J**

JTIDS, 28, 154, 157-165

## **L**

LAPB, 243  
Larde Extension Node, 142  
LER, 278  
LLC, 70  
LSR, 278

## **M**

MAC, 70  
MC-CDMA, 342  
MC-DS-CDMA, 342, 345, 346, 350  
MIDS, 28, 154  
MILNET, 318-319  
MMDS, 301  
Mobil Subscriber Radio Terminal, 144  
MPLS, 277-279, 289, 334, 338  
MSE, 142  
MUX, 239  
MUOS, 352-354

## **N**

NAVSTAR, 157

NETID, 272, 273  
NID, 297  
NNI, 252, 260  
NTDR, 151  
NTTP, 269

## O

OFDMA, 342-345, 350  
OSI, 207, 209, 269  
OSPF, 269, 271, 334  
OTN, 292

## P

Packet Switch, 145  
PAD, 243, 244  
PBX, 239  
PDH, 239, 241, 280, 281  
PON, 303-305

## Q

QAM, 295, 343  
QoS, 320-326, 338  
QPSK, 294, 345, 349

## R

Radio Access Unit, 143  
RADSL, 298  
RAN, 290  
RIP, 269, 270  
Router, 74

## S

SATCOM, 188  
SATCOMB, 354  
SDH, 239, 241, 263, 281-285, 338  
SDMA, 343  
SDSL, 298-299  
Singars, 151  
SLA, 321  
Small Extension Node, 143  
SMTP, 269, 270  
SMUX, 283  
SNMP, 269, 270  
STDM, 257, 264, 300  
STM, 282  
Switch, 68

## T

TCP/IP, 233, 268-270, 338  
TCS, 352  
TDM, 263-264  
TDMA, 42-44, 341  
Telnet, 269, 270

TETRA, 176  
Thuraya, 192  
Token Ring, 70, 221, 338  
TSAT, 353

**U**

UDP, 269, 270  
UNI, 252, 253, 260, 261

**V**

VCI, 260, 261, 262  
VDSL, 298  
VPI, 260-262  
VSAT, 192  
VSF-OFCDM, 343

**W**

WDM, 285, 299  
WGS, 352, 353  
Wi-Fi, 347-348, 350  
WiMax, 347-350  
WLL, 306

**X**

X.21, 242, 244  
X.25, 227, 242, 244, 246, 248, 254, 255, 265  
X.28, 244  
X.29, 245  
X.75, 243, 244  
X.121, 234  
xDSL, 293, 338

## Список літератури

1. *Андреев Г.* Организация связи в дивизиях сухопутных войск США / Г. Андреев // Зарубежное военное обозрение. – 1987. – № 7. – С. 21–26.
2. *Апаратура П-327-12.* – М. : Воениздат, 1985. – 40 с.
3. *Артюшин Л. М.* Аерокосмічна розвідка в локальних війнах сучасності / Л. М. Артюшин, С. П. Мосов, Д. В. П'яковський, В. Б. Толубко. – К. : НАОУ, ЖВІРЕ ім. С. П. Корольова, 2002. – 208 с.
4. *Астраханцев Л. Н. и др.* Военные системы многоканальной электросвязи ; под ред. А. Т. Лебедева / Л. Н. Астраханцев. – Л. : ВАС, 1979. – 456 с.
5. *Багатоканалний зв'язок та телекомунікаційні технології ;* за ред. проф. В. В. Поповського. – Харків : Компанія СМІТ, 2003. – 512 с.
6. *Барабаш О. В.* Построение функционально устойчивых распределенных информационных сетей : монография. – К. : НАОУ, 2004. – 226 с.
7. *Бейли Д.* Волоконная оптика : теория и практика ; пер. с англ. / Д. Бейли, Э. Райт. – М. : КУДИЦ-ОБРАЗ, 2006. – 320 с.
8. *Біла книга 2006: оборонна політика України.* – К. : МО України, 2006. – 94 с.
9. *Борисов В. И.* Помехозащищенность систем радиосвязи с расширением спектра сигналов методом псевдослучайной перестройки рабочей частоты / В. И. Борисов, В. М. Зинчук, А. Е. Лимарев и др. – М. : Радио и связь, 2000. – 384 с.
10. *Бочков В. В. и др.* Военные системы космической связи. Часть 2 (с альбомом схем) / В. В. Бочков. – К. : КВИУС, 1996. – 228 с.
11. *Волков О.* Сучасні закордонні та вітчизняні цифрові системи передавання, їх призначення та застосування / О. Волков. – К. : НЦЗІ ЗС України, 2003. – С. 1–24.
12. *Дектябрь В.* Новое поколение американских войсковых радиостанций УКВ диапазона / В. Дектябрь // Зарубежное военное обозрение. – 1991. – № 6. – С. 26–30.
13. *Державна програма розвитку ЗС України на 2006–2011 роки (основні положення).* – К. : МО України, 2006. – 40 с.
14. *Засоби та комплекси військових телекомунікаційних мереж країн НАТО : в 2-х томах /* Ю. Д. Чайка, В. Д. Кудрицький, Ю. М. Семенов та ін. – К. : НАОУ, 2002.
15. *Захаров А. И.* Основы передачи данных / А. И. Захаров. – Л. : ВАС, 1985. – 156 с.
16. *Зв'язок військовий.* Терміни та визначення : ДСТУ В 3265-95 – К. : Держстандарт, 1996. – 23с.
17. *Игнатов В. А.* Теория информации и передачи сигналов / В. А. Игнатов. – М. : Сов. радио, 1979. – 280 с.
18. *Йоргачев Д. В.* Волоконно-оптические кабели и линии связи / Д. В. Йоргачев, О. В. Бондаренко. – М. : Эко-Трендз, 2002. – 284 с.

19. *Клейнрок Л.* Вычислительные сети с очередями / Л. Клейнрок. – М. : Мир, 1979. – 600 с.
20. *Коваленко С.* Средства помехозащищенной радиосвязи / С. Коваленко, В. Чашин, Ю. Иванов // Зарубежное военное обозрение. – 1987. – № 7. – С. 16–20.
21. *Макаров С. Б.* Передача дискретных сообщений по радиоканалам с ограниченной полосой пропускания / С. Б. Макаров, И. А. Цыкин. – М. : Радио и связь, 1988. – 304 с.
22. *Матеріали виставок “Інформатика та зв’язок” 2004–2006 рр.*
23. *Мур М. и др.* Телекоммуникации / М. Мур и др. – С-Пб. : БХВ–Петербург, 2003. – 622 с.
24. *Огороднійчук М. Д.* Інтегровані та мобільні телекомунікаційні системи / М. Д. Огороднійчук. – К. : НАОУ, 2002. – 72 с.
25. *Огороднійчук М. Д.* Системотехніка засобів і комплексів військових телекомунікаційних мереж. Ч. 3. Системи супутникового зв’язку та визначення місцеположення / М. Д. Огороднійчук, Л. І. Слепов. – К. : НАОУ, 2005. – 140 с.
26. *Олифер В. Г.* Компьютерные сети : учебник для ВУЗов / В. Г. Олифер, Н. А. Олифер. – М. : Питер, 2003. – 864 с.
27. *Ошерович Л. Г.* Радиорелейная и тропосферная связь ; под ред. И. П. Леонова / Л. Г. Ошерович, В. В. Куликов, Е. А. Вояков. – Л. : ВАС, 1972. – 476 с.
28. *Палий А. И.* Радиоэлектронная борьба / А. И. Палий [2-е изд.]. – М. : Воениздат, 1989. – 350 с.
29. *Паршин С.* Системы боевого управления и связи морской пехоты США – проблемы и решения / С. Паршин // Зарубежное военное обозрение. – 2006. – № 1. – С. 63–69.
30. *Полевые кабели связи.* – К. : КВИУС, 1985.
31. *Помехозащищенность радиосистем со сложными сигналами* / под ред. Г. И. Тузова. – М. : Радио и связь, 1985. – 264 с.
32. *Протоколы информационно-вычислительных сетей* : справочник / под ред. И. А. Мизина, А. П. Кулешова. – М. : Радио и связь, 1990. – 504 с.
33. *Радецький В. Г.* Розвиток військового мистецтва у війнах періоду другої половини ХХ століття : монографія. – К. : НАОУ, 2006. – 244 с.
34. *Радіозв’язок радіорелейний.* Терміни та визначення. ДСТУ 3610-97. – К. : Держстандарт, 1997. – 9 с.
35. *Радиосвязь.* Термины и определения. ГОСТ 24375-80 / Издание официальное. – М. : Издательство стандартов, 1980. – 57 с.
36. *Ратынский М. В.* Основы сотовой связи / М. В. Ратынский. – М. : Радио и связь, 2000. – 248 с.
37. *Свиридов Ю.* Разведывательное сообщество США на пути реформ / Ю. Свиридов // Зарубежное военное обозрение. – 2006. – № 10. – С. 10–16.
38. *Семенов А. М.* Широкополосная радиосвязь / А. М. Семенов, А. А. Сикарев. – М. : Воениздат, 1970. – 278 с.
39. *Скородумов А.* Автоматизированная система связи MSE / А. Скородумов // Зарубежное военное обозрение. – 1991. – № 11. – С. 25–29.
40. *Соловьев Ю. А.* Системы спутниковой навигации / Ю. А. Соловьев. – М. : Эко-трендз, 2000. – 268 с.
41. *Таненбаум Э.* Компьютерные сети / Э. Таненбаум. – М. : Питер, 2005. – 992 с.
42. *Теория передачи сигналов.* / А. Г. Зюко, Д. Д. Кловский, М. В. Назаров и др. – М. : Связь, 1980. – 288 с.
43. *Тропосферная связь* / Л. И. Яковлев, Г. В. Дерюкин, Э. С. Каграманов и др. – М. : Воениздат, 1984. – 256 с.

44. Хелд Г. Технологии передачи данных / Г. Хелд. – М. : Питер, 2003. – 716 с.
45. Шапиро Д. Н. Основы теории синтеза частот / Д. Н. Шапиро, А. А. Паин. – М. : Радио и связь, 1981. – 264 с.
46. Шварц М. Сети ЭВМ. Анализ и проектирование / М. Шварц. – М. : Радио и связь, 1981.–336 с.
47. Шебшаевич В. С. Сетевые спутниковые радионавигационные системы / В. С. Шебшаевич, П. П. Дмитриев, Н. В. Иванцевич. – М. : Радио и связь, 1993. – 408 с.
48. Щербина Л. П. Основы функционирования коммутируемых сетей связи / Л. П. Щербина. – Л. : ВАС, 1981. – 156 с.
49. Якубайтис Э. А. Архитектура вычислительных сетей / Э. А. Якубайтис. – М. : Статистика, 1980. – 279 с.
50. *Janes Military Communications* / Edited by John Williamson. 19-th Edition. 1998–1999.
51. *Field manual 11–55. Mobile subscriber equipment (MSE) operations.* – Washington : Department of the Army, 1999.
52. *Field manual 24–41. Tactical tactics, techniques, and procedures for Enhanced Position Location reporting System (EPLRS).* – Washington: Department of the Army, 1997.
53. *Field manual 24–7. Tactical local area network (LAN) management.* – Washington: Department of the Army, 1996.
54. *Field manual 24–32. Tactical tactics, techniques, and procedures for the Tactical Internet.* – Washington: Department of the Army, 1996.
55. *Field manual 11–43. The signal leaders guide.* – Washington: Department of the Army, 1996.
56. Mannel W. Future communications concepts in support of the U.S. Army command and control – IEEE Transactions on Communications, 1980, v. 28. – № 9. – P. 1540–1550.
57. *Tactical communication system STORCZUK – 2000. The present state.* – Poland : 2000. – 19 p.
58. Гринфилд Д. Оптические сети / Д. Гринфилд. – М. : Diasoft, 2002. – 256 с.
59. Кувшинов О. В. Принципи багатоканального зв'язку і розподілу інформації / О. В. Кувшинов, О. П. Лежнюк, С. П. Лівенцев. – К. : МО України, ВІТІ НТТУ “КПІ”, 2002. – 66 с.
60. Кульгин М. В. Компьютерные сети. Практика построения. Для профессионалов / М. В. Кульгин. – С-Пб. : Питер, 2003. – 462 с.
61. *Радиолокационные методы исследования Земли* / Ю. А. Мельник, С. Г. Зубкович, В. Д. Степаненко и др. – М. : Советское радио, 1980. – 264 с.
62. Склад Б. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение ; пер с англ. / Б. Склад. – М. : Вильямс, 2003. – 1104 с.
63. Леонидов Е. Исследования в США по созданию головных частей для стратегических баллистических ракет / Е. Леонидов // Зарубежное военное обозрение. – 2007. – № 9. – С. 32–34.
64. Ливанов И. Средства радиорелейной связи в вооруженных силах иностранных государств / И. Ливанов // Зарубежное военное обозрение. – 2007. – № 10. – С. 29–31.
65. Молитвин А. О реализации концепции единого информационного пространства НАТО / А. Молитвин // Зарубежное военное обозрение. – 2008. – № 1. – С. 23–27.
66. Разгуляев А. Перспективные мобильные адаптивные сети передачи информации для СВ США / А. Разгуляев // Зарубежное военное обозрение. – 2008. – № 1. – С. 35–39.

67. *Волков Л. Н.* Системы цифровой радиосвязи: базовые методы и характеристики / Л. Н. Волков, М. С. Немировский, Ю. С. Шинаков. – М. : Эко-Трендз, 2005. – 392 с.
68. *Військовий стандарт 01.112.001: Військова система стандартизації. Військовий зв'язок. Терміни та визначення.* – К. : МО України, 2006. – 25 с.
69. *Гепко И. А.* Комплементарные и спектрально-эффективные коды в радиотехнологиях четвертого поколения / И. А. Гепко. – К. : Зв'язок, 2008. – 224 с.
70. *Варакин Л. Е.* Теория сложных сигналов / Л. Е. Варакин. – М. : Советское радио, 1970. – 376 с.
71. *Слободянюк П. В.* Довідник з радіомоніторингу ; під заг. ред. П. В. Слободянюка / П. В. Слободянюк, В. Г. Благодарний, В. С. Ступак. – Ніжин : Аспект-Поліграф, 2008. – 588 с.
72. *Паршин С.* Совершенствование сети «Тактический Интернет» Сухопутных войск США / С. Паршин // Зарубежное военное обозрение. – 2008. – № 6. – С. 39–45.
73. *Вепринцев В.* Средства индивидуальной радиосвязи в ВС США / В. Вепринцев // Зарубежное военное обозрение. – 2008. – № 10. – С. 42–45.
74. *Кондратьев А.* Реализация концепции “сетевая война” в ВВС США / А. Кондратьев // Зарубежное военное обозрение. – 2009. – № 5. – С. 44–49.
75. *Строгов. С.* Перспективные системы спутниковой связи военного назначения ведущих зарубежных стран / С. Строгов // Зарубежное военное обозрение. – 2009. – № 5. – С. 50–58.

## Зміст

Умовні скорочення .....	3
Передмова .....	8
<b>Розділ I. СИСТЕМОТЕХНІКА СУЧАСНИХ ТА ПЕРСПЕКТИВНИХ ЗАСОБІВ І КОМПЛЕКСІВ ВІЙСЬКОВОГО ЗВ'ЯЗКУ</b>	
<b>1. Телекомунікаційні мережі .....</b>	<b>9</b>
1.1. Обґрунтування необхідності ущільнення, розділення і комутації каналів .....	9
1.2. Різновиди топологій телекомунікаційних мереж .....	10
1.3. Переваги сітчастої структури над деревоподібною .....	12
1.4. Класифікація мереж .....	16
1.5. Зміст понять “комутація каналів” і “комутація пакетів” в сучасних ТКМ .....	19
<b>2. Характеристики військового зв'язку і їх взаємозв'язок з характеристиками систем військового зв'язку .....</b>	<b>20</b>
2.1. Характеристики військового зв'язку .....	20
2.2. Характеристики системи військового зв'язку .....	24
2.3. Пропускна спроможність системи військового зв'язку .....	27
2.4. Потенціально досяжні значення характеристик ефективності .....	28
<b>3. Цифрова обробка сигналів і її вплив на якість зв'язку .....</b>	<b>31</b>
3.1. Відображення різних видів повідомлень цифровими сигналами .....	31
3.2. Завадостійкість і пропускна спроможність каналів цифрового зв'язку .....	37
3.3. Розвідзахищеність цифрових радіоліній .....	41
3.4. Принципи забезпечення безпошукового і безпідстроювального радіозв'язку .....	42
3.5. Економна модуляція цифрових сигналів .....	47
3.6. Кореляційне приймання цифрових сигналів .....	48
<b>4. Системотехнічні властивості каналотвірних засобів військового зв'язку .....</b>	<b>51</b>
4.1. Каналотвірна апаратура з частотним розділенням каналів .....	51
4.2. Каналотвірна апаратура з часовим розділенням каналів .....	55
4.3. Каналотвірна апаратура з кодовим розділенням каналів .....	57
4.4. Синхронізація під час паралельного пересилання даних .....	63
4.5. Синхронізація під час послідовного пересилання даних .....	64
4.6. Особливості синхронізації в системах багатостанційного доступу .....	68
4.7. Асинхронні системи багатостанційного доступу з кодовим розподілом каналів .....	69
<b>5. Системотехнічні властивості комутаційних засобів військового зв'язку .....</b>	<b>76</b>
5.1. Основи побудови комутаційних центрів аналогового зв'язку .....	76
5.2. Узагальнена структурна схема комутаційного центру аналогового зв'язку ...	77
5.3. Алгоритми функціонування комутаційного центру аналогового зв'язку .....	78
5.4. Комутаційні засоби локальних мереж цифрового зв'язку .....	81
5.5. Комутаційні засоби глобальних мереж цифрового зв'язку .....	86



<b>6. Системотехнічні властивості ліній військового зв'язку .....</b>	<b>92</b>
6.1. Лінії короткохвильового радіозв'язку .....	92
6.2. Системотехніка частотно-адаптивних радіоліній .....	101
6.3. Системотехніка радіорелейних ліній військового зв'язку .....	108
6.4. Системотехніка тропосферних ліній військового зв'язку .....	117
6.5. Системотехніка ліній супутникового радіозв'язку .....	127
6.6. Лінії військового провідного зв'язку .....	137
<b>7. Системотехнічні властивості сучасних однофункціональних і перспективних інтегрованих комплексів військового зв'язку .....</b>	<b>147</b>
7.1. Загальні принципи побудови первинних мереж зв'язку .....	147
7.2. Комплекси передачі мовних повідомлень .....	149
7.3. Комплекси передачі телеграфних повідомлень .....	149
7.4. Телекомунікаційні комплекси ОТЛУ армії США .....	152
7.5. Телекомунікаційні комплекси тактичної ланки управління армії США .....	158
7.6. Об'єднана система розподілу тактичної інформації .....	169
<b>8. Системотехнічні принципи побудови систем мобільного зв'язку .....</b>	<b>177</b>
8.1. Функціональна схема системи стільникового зв'язку .....	177
8.2. Елементи комплексу: базова і абонентські станції, центр комутації .....	179
8.3. Взаємодія елементів і оброблення інформації в системі стільникового зв'язку .....	182
8.4. Транкінговий зв'язок .....	186
8.5. Пейджинговий зв'язок і безпроводовий телефон .....	189
8.6. Порівняння різних видів мобільного зв'язку і їх використання у військовій справі .....	193
<b>9. Супутникові системи зв'язку та визначення місцеположення .....</b>	<b>197</b>
9.1. Загальні положення .....	197
9.2. Військові системи супутникового зв'язку США та інших країн НАТО .....	198
9.3. Використання комерційних систем супутникового зв'язку у військових цілях .....	201
9.4. Принципи побудови, характеристика елементів ГЛОНАСС, Навстар та інших систем місцевизначення .....	204
9.5. Диференціальний режим і його вплив на точність визначення місцеположення .....	208
9.6. Апаратура користувача і її військові застосування .....	210

## Розділ II. СУЧАСНІ ТА ПЕРСПЕКТИВНІ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ І КОМПЛЕКСИ

<b>10. Базова модель взаємодії відкритих телекомунікаційних систем .....</b>	<b>215</b>
10.1. Сутність поняття відкритих телекомунікаційних систем .....	215
10.2. Базова модель взаємодії відкритих телекомунікаційних систем .....	216
10.3. Характеристика рівнів моделі .....	218
10.4. Управління на перспективних телекомунікаційних мережах .....	220
<b>11. Технології побудови локальних мереж .....</b>	<b>224</b>
11.1. Технологія Ethernet .....	224
11.2. Різновиди Ethernet .....	226
11.3. Розвиток технології Ethernet .....	228
11.4. Технологія Token Ring .....	229
11.5. Технологія FDDI .....	230

<b>12. Технологія побудови мереж з інтегруванням видів зв'язку .....</b>	<b>233</b>
12.1. Загальна характеристика технології і мереж ISDN .....	233
12.2. Методи доступу до мережі ISDN .....	235
12.3. Функціональні групи користувачького обладнання .....	237
12.4. Структурні схеми підключення користувачького обладнання до мережі ISDN .....	238
12.5. Методи кодування і схеми адресування .....	240
12.6. Стек протоколів і структура мережі ISDN .....	242
12.7. Розвиток ISDN і використання її служб .....	243
<b>13. Технології побудови глобальних мереж з комутацією пакетів .....</b>	<b>246</b>
13.1. Пакетні мережі .....	246
13.2. Дейтаграмна передача і віртуальні канали .....	247
13.3. Архітектура і термінологія .....	248
13.4. Комплекси, що реалізують технологію X.25 .....	250
13.5. Комплекси, що реалізують технологію ретрансляції кадрів (Frame Relay) ...	255
13.6. Комплекси, що орієнтовані на використання асинхронного режиму передачі (ATM) .....	263
<b>14. Internet-технологія і її місце серед інших технологій побудови глобальних мереж .....</b>	<b>272</b>
14.1. Технології TDM, STDM, ISDN .....	272
14.2. Технології X.25, FR, ATM .....	273
14.3. Internet-технологія .....	275
14.4. Технологія MPLS .....	284
<b>15. Новітні розроблення для транспортних мереж .....</b>	<b>288</b>
15.1. Технологія плезіохронної цифрової ієрархії (PDH) .....	288
15.2. Технологія синхронної цифрової ієрархії (SDH) .....	290
15.3. Технології щільного та надщільного хвильового мультиплексування (DWDM, HDWDM) і створення повністю оптичних мереж (AON) .....	293
15.4. Технології побудови регіональних мереж .....	298
<b>16. Новітні розроблення для мереж доступу .....</b>	<b>301</b>
16.1. Багатопозиційні цифрові коди .....	301
16.2. Цифрові абонентські лінії .....	303
16.3. xDSL-модеми і технології .....	305
16.4. Технології безпроводового доступу .....	308
16.5. Волоконно-оптичні і гібридні мережі доступу .....	309
<b>17. Новітні радіотехнології для систем мобільного УКХ-зв'язку .....</b>	<b>313</b>
17.1. Вплив середовища поширення УКХ на якість зв'язку .....	313
17.2. Мобільний зв'язок на шляху від 2-го до 4-го покоління .....	315
17.3. Технологія OFDMA і її модифікації .....	317
17.4. Технологія MC-DS-CDMA та інші на основі CDMA .....	319
17.5. Технології широкосмугового радіодоступу .....	321
<b>18. Якість обслуговування в пакетних мережах .....</b>	<b>326</b>
18.1. Основні поняття і типи якості обслуговування .....	326
18.2. Угода про якість обслуговування .....	327
18.3. Вимоги до QoS при різних видах застосувань і параметри якості обслуговування .....	328
18.4. Служба якості обслуговування і її загальна характеристика .....	331
18.5. Алгоритми управління чергами .....	332
18.6. Механізми профілювання і формування трафіка .....	335

18.7. Планування якості обслуговування .....	336
18.8. Недоліки традиційних підходів .....	337
18.9. Інжиніринг трафіка .....	338
<b>19. Сучасні цифрові комплекси військового і цивільного призначення .....</b>	<b>343</b>
19.1. Пакетні радіомережі з динамічною топологією .....	343
19.2. ARPANET .....	347
19.3. Короткі відомості про MILNET, Internet та інші комплекси .....	354
Закінчення .....	356
Додаток 1. Сучасні і перспективні системи супутникового зв'язку (ССЗ) військового призначення (ВП) провідних країн НАТО.....	358
Додаток 2. Питання для самоконтролю.....	363
Додаток 3. Предметний покажчик.....	368
Список літератури .....	376

Навчальний посібник

*ОГОРОДНІЙЧУК Микола Дмитрович*

*ЧАЙКА Юрій Дмитрович*

*ОКСІЮК Олександр Глібович*

**КОМПЛЕКСИ І ЗАСОБИ ВІЙСЬКОВИХ  
ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ МЕРЕЖ**

Редактор	<i>Л. І. Єрмолаєва</i>
Технічний редактор	<i>О. В. Трусова</i>
Комп'ютерна верстка	<i>Т. І. Кузнєцової</i>

---

Підписано до друку Формат 60×84<sup>1</sup>/<sub>16</sub>.  
Папір офсетний. Обл.-вид. арк. 21,392. Друк арк. 23,25.  
Зам. 17. Вид. № 3. Наклад 60 прим. Друкарня НУОУ.

---