

Тема 2. Середовища передачі даних в комп'ютерних мережах

Середовище передачі даних – фізична субстанція, по якій відбувається передача (перенесення) тієї чи іншої інформації (даних) від джерела (передавача, відправника) до приймача (одержувача). Інформація переноситься за допомогою сигналів. Сигнали можуть мати різну природу:

- електричну (потік електронів);
- електромагнітну (радіохвилі);
- оптичну (світло).

Виділяють провідні та безпроводні середовища передачі даних.

2.1 Провідні середовища передачі даних

Телефонний провід – двох- або чотирьохпровідний телефонний кабель, призначений для стаціонарної прихованої і відкритої абонентської телефонної або трансляційної розподільної мережі всередині приміщень (рис. 2.1).



Рисунок 2.1 – Двох- та чотирьохжильний телефонний кабель

Вважається застарілим через ненадійність, низьку перешкодозахищеність, неможливість високошвидкісної передачі даних, незручностей при обтисканні. Однак з огляду на свою низьку вартість знаходить застосування в телефонному розведенні всередині приміщень, також є найдешевшим рішенням у багатьох

ситуаціях. На відміну від більш сучасних аналогів витої пари, струмопровідні жили не скручуються (жили розташовуються паралельно, кабель плоский), завдяки чому він отримав назву «локшина» по схожості зовнішнього вигляду з макаронними виробами.

Коаксіальний кабель – електричний кабель, що складається з центрального провідника і екрану, розташованих співвісно і розділених ізоляційним матеріалом або повітряним проміжком. Використовується для передачі радіочастотних електричних сигналів (рис. 2.2).

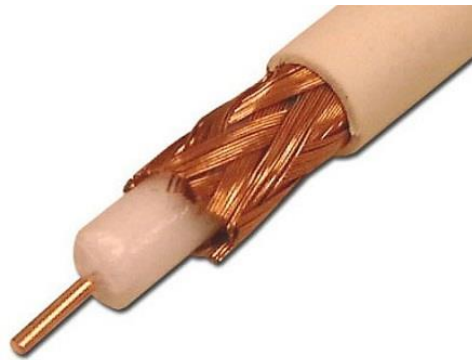


Рисунок 2.2 – Коаксіальний кабель

Весь корисний сигнал передається по внутрішньому провіднику. Найбільшого застосування набув коаксіальний кабель з хвильовим опором 50 та 75 Ом. В наш час рідко використовується для реалізації комп'ютерних мереж, однак набув широкого поширення для побудови систем відеонагляду.

Тонкий Ethernet (Thin Ethernet)

Був найбільш поширеним кабелем для побудови локальних мереж. Діаметр приблизно 6 мм і значна гнучкість дозволяли йому бути прокладеним практично в будь-яких місцях. Кабелі з'єднувалися один з одним і з мережевою платою в комп'ютері за допомогою T-коннектора BNC (рис. 2.3a). Між собою кабелі могли з'єднуватися за допомогою I-коннектора BNC (пряме з'єднання, рис. 2.3b). На обох кінцях сегмента повинні бути встановлені термінатори (рис. 2.3c). Підтримує передачу даних до 10 Мбіт/с на відстань до 185 м.



Рисунок 2.3 – З'єднувачі для коаксіального кабелю:
а) Т-конектор BNC; б) І-конектор BNC; в) термінатор

Товстий Ethernet (Thick Ethernet)

Більш товстий, в порівнянні з попереднім, кабель – до 12 мм в діаметрі, мав більш товстий центральний провідник. Погано гнучся і мав значну вартість. За рахунок більш товстого провідника передачу даних можна було здійснювати на відстань до 500 м із швидкістю до 10 Мбіт/с. Однак складність і висока вартість установки не дали цьому кабелю такого широкого поширення. Історично фірмовий кабель мав жовте забарвлення, і тому іноді можна зустріти назву «Жовтий Ethernet».

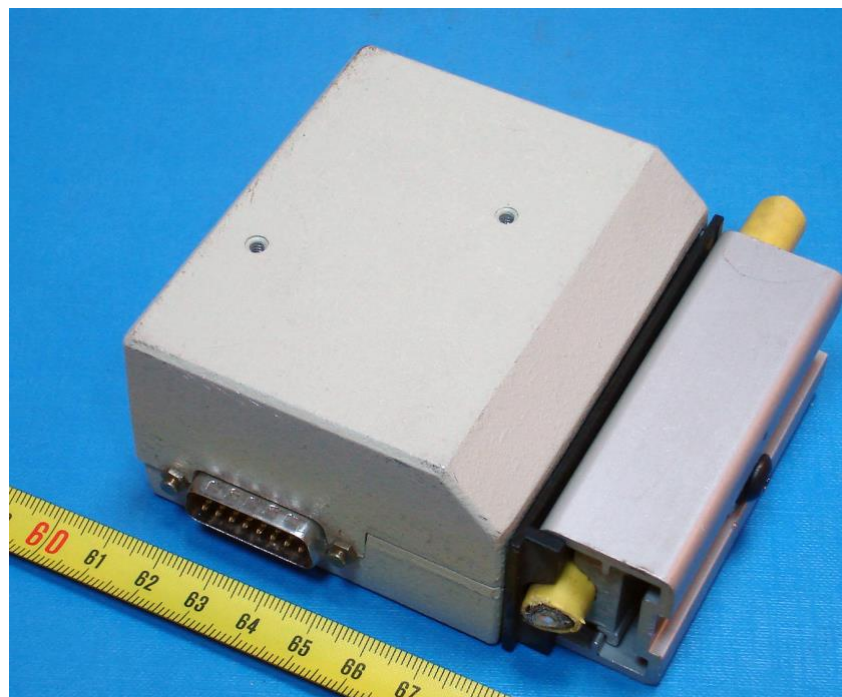


Рисунок 2.4 – Підключення до кабелю товстий Ethernet

Оскільки кабель мав більшу товщину для підключення до нього використовувались спеціальні трансивери, які «прокушували» кабель трьома зубцями (центральный контактував з центральною жилою, а бокові – з екраном), за що отримали назву «вампірчик» (рис. 2.4).

Вита пара – вид кабелю, що являє собою одну або кілька пар ізольованих провідників, скручених між собою (з невеликим числом витків на одиницю довжини), покритих пластиковою оболонкою (рис. 2.5).

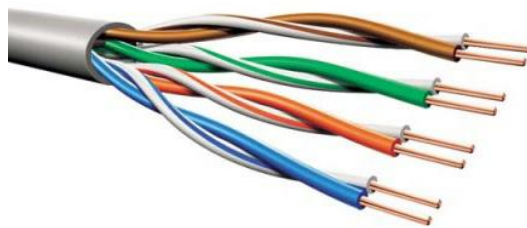


Рисунок 2.5 – Вита пара

Звивання провідників проводиться з метою підвищення ступеня зв'язку між собою провідників однієї пари (електромагнітні перешкоди однаково впливають на обидва дроти пари) і подальшого зменшення електромагнітних перешкод від зовнішніх джерел, а також взаємних наведень при передачі диференціальних сигналів.

В даний час, завдяки своїй дешевизні і легкості монтажу, є найпоширенішим рішенням для побудови провідних локальних мереж.

Кабель підключається до мережевих пристроїв за допомогою роз'єму 8P8C (який помилково називають RJ45, рис. 2.6).

Для механічного захисту кабелю використовують особливо міцні оболонки і оплітку з мідного дроту. Оболонка з чорного поліетилену захищає кабель від сонячного світла (спеціальний захист, що застосовується для кабелів, призначених для прокладки на відкритому повітрі).



Рисунок 2.6 – Витя пара, обтиснута під роз’єм RJ45 (8P8C)

Для хімічного захисту кабелю використовують фольгу і поліетилен. Кабелі, захищені фольгою, позначають терміном foiled – фольговані.

Для захисту від електричних перешкод при використанні високочастотних сигналів в кабелях використовується екранування. Екранування застосовується як до окремих витих пар, які обертаються в алюмінієву фольгу (металізовану алюмінієм поліетиленову стрічку), так і до кабелю в цілому у вигляді загального екрану з фольги та/або оплітки з мідного дроту. Екран також може бути з’єднаний з неізолюваним дренажним проводом, який служить для заземлення та механічно підтримує екран в разі поділу на секції при зайвому вигині або розтягуванні кабелю.



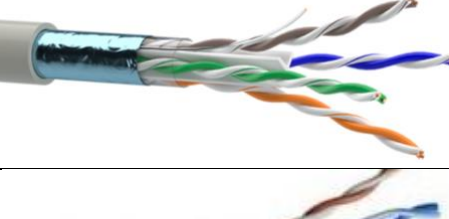
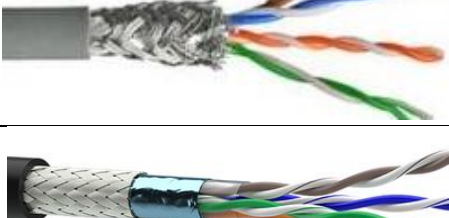
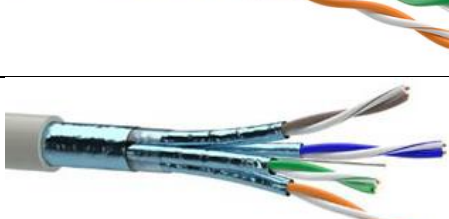
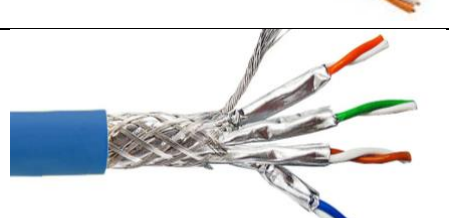

Згідно з міжнародним стандартом ISO/IEC 11801 додаток E, для позначення конструкції екранованого кабелю використовується комбінація з трьох літер: U – неекранований, S – металева оплітка (загальний екран), F – металізована стрічка (алюмінієва фольга). З цих літер формується аббревіатура виду xx/xTP, що позначає тип загального екрану і тип екрану для окремих пар (табл. 2.1).


Екрановані кабелі категорій 5e, 6/6A та 8/8.1 найчастіше використовують конструкцію F/UTP (загальний екран з фольги), тоді як екрановані кабелі категорій 7/7A і 8.2 використовують конструкцію S/FTP (із загальною металевою опліткою і фольгою для кожної пари).

Кабелі для зовнішньої прокладки обов’язково мають вологостійку оболонку з поліетилену, яка наноситься (як правило) другим шаром поверх звичайної. Крім цього, можливе заповнення пустот в кабелі

водовідштовхувальним гелем і бронювання за допомогою гофрованої стрічки або сталевого дроту.

Таблиця 2.1 – Позначення для поширених типів кабелів витвої пари

Загальноприйнята назва	Позначення по ISO/IEC 11801	Загальний екран	Екран для пар	Приклад
UTP	U/UTP	немає	немає	
STP, ScTP, PiMF	U/FTP	немає	фольга	
FTP, STP, ScTP	F/UTP	фольга	немає	
STP, ScTP	S/UTP	оплітка	немає	
SFTP, SFTP, STP	SF/UTP	оплітка, фольга	немає	
FFTP	F/FTP	фольга	фольга	
SSTP, SFTP, STP	S/FTP	оплітка	фольга	

SSTP, SFTP	SF/FTP	оплітка, фольга	фольга	
------------	--------	--------------------	--------	---

Існує декілька категорій кабелю вита пара (табл. 2.2), які нумеруються від 1 до 8 і визначають ефективний частотний діапазон. Кабель вищої категорії зазвичай містить більше пар провідників і кожна пара має більше витків на одиницю довжини.

Таблиця 2.2 – Категорії кабелів витаї пари

Категорія	Застосування	Примітки
1	Телефонні і старі модемні лінії	1 пара, використовується тільки для передачі голосу або даних за допомогою модему (не підходить для сучасних систем)
2	Старі термінали (такі як IBM 3270)	2 пари провідників, старий тип кабелю, підтримував передачу даних на швидкостях до 4 Мбіт/с, використовувався в мережах Token Ring і Arcnet (не підходить для сучасних систем).
3	10BASE-T, 100BASE-T4 Ethernet	4-парний кабель, використовується при побудові телефонних і локальних мереж 10BASE-T і Token Ring, підтримує швидкість передачі даних до 10 Мбіт/с або 100 Мбіт/с за технологією 100BASE-T4 на відстані не більше 100 метрів. Зараз використовується в основному для телефонних ліній.
4	Token Ring, зараз не використовується	кабель складається з 4-х пар, використовувався в мережах Token Ring, 10BASE-T, 100BASE-T4, швидкість передачі даних не перевищує 16 Мбіт/с по одній парі.
5	100BASE-TX, 1000BASE-T	4-парний кабель, використовується при побудові локальних мереж 10BASE-T, 100BASE-TX і 1000BASE-T та для прокладки телефонних ліній, підтримує швидкість передачі даних до 100 Мбіт/с при використанні 2 пар і до 1000 Мбіт/с при використанні 4 пар.
5e	1000BASE-T, 2.5GBASE-T	4-парний кабель, вдосконалена категорія 5. Кабель категорії 5e є найпоширенішим і використовується для побудови комп'ютерних мереж. Іноді зустрічається двопарний кабель категорії 5e. Переваги даного кабелю в нижчій собівартості і меншій товщині.

6	5GBASE-T, 10GBASE-T	неекраниваний кабель (UTP) складається з 4 пар провідників і здатний передавати дані на швидкості до 10 Гбіт/с на відстань до 55 м.
6A	5GBASE-T, 10GBASE-T	складається з 4 пар провідників і здатний передавати дані на швидкості до 10 Гбіт/с на відстань до 100 метрів. Кабель цієї категорії має або загальний екран (F/UTP), або екрани навколо кожної пари (U/FTP).
7/7A	10GBASE-T	швидкість передачі даних до 10 Гбіт/с. Кабель цієї категорії має загальний екран і екрани навколо кожної пари (F/FTP або S/FTP).
8/8.1	25GBASE-T, 40GBASE-T	повністю сумісний з кабелем категорії 6A. Швидкість передачі даних до 40 Гбіт/с при використанні стандартних конекторів 8P8C. Кабель цієї категорії має або загальний екран, або екрани навколо кожної пари (F/UTP або U/FTP).
8.2	25GBASE-T, 40GBASE-T	повністю сумісний з кабелем категорії 7A. Швидкість передачі даних до 40 Гбіт/с при використанні стандартних конекторів 8P8C або GG45/ARJ45 і TERA. Кабель цієї категорії має загальний екран і екрани навколо кожної пари (F/FTP або S/FTP).

Існує два варіанти обтискання роз'єму на кабелі:

- для створення прямого кабелю (рис. 2.7) – для з'єднання портів чи інтерфейсів одного типу (MDI-MDI або MDIX-MDIX),
- для створення перехресного кабелю (рис. 2.8), що має інвертоване розведення контактів роз'єму для з'єднання безпосередньо двох портів чи інтерфейсів різних типів (MDI-MDIX).

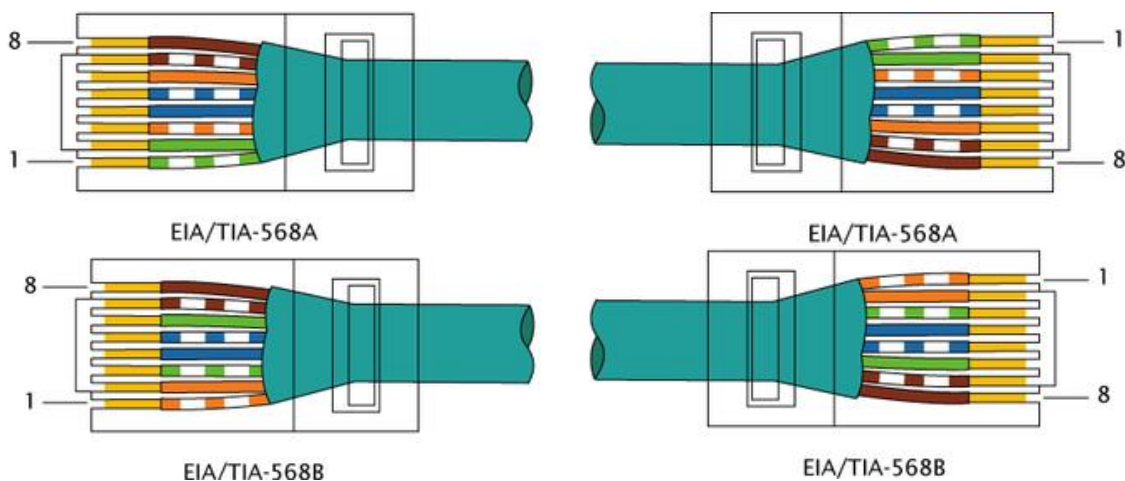


Рисунок 2.7 – Схема прямого обжиму по стандарту TIA/EIA-568B та TIA/EIA-568B

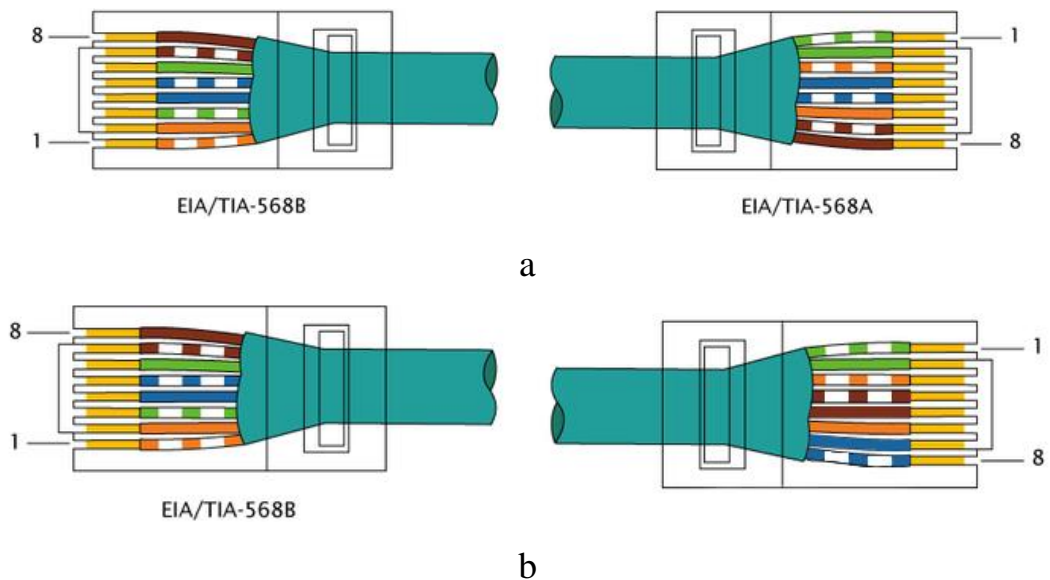


Рисунок 2.8 – Схема перехресного обтискання:

а) до 100 Мбіт/с; б) до 1000 Мбіт/с

Для обтискання кабелю використовується спеціальний інструмент – кримпер (2.9).



Рисунок 2.9 – Інструмент для обтискання витої пари (кримпер)

Оптичне волокно – нитка з оптично прозорого матеріалу (скло, пластик), яка використовується для перенесення світла всередині себе за допомогою повного внутрішнього відбивання (рис. 2.10).



Рисунок 2.10 – Волоконно-оптичний кабель

Кабелі на основі оптичних волокон використовуються для волоконно-оптичного зв'язку, що дозволяє передавати інформацію на великі відстані з більш високою швидкістю передачі даних, ніж за допомогою інших середовищ передачі даних.

Скляні оптичні волокна виготовляються з кварцового скла, але для дальнього інфрачервоного діапазону можуть використовуватися інші матеріали, такі як фторцирконат, фторалюмінат і халькогенідне скло.

В наш час активно розвивається використання пластикових оптичних волокон. Серцевини в такому волокні виготовляють з поліметилметакрилату (РММА), а оболонку з фторованих РММА (фторполімерів).

Оптичне волокно, як правило, має круглий переріз і складається з двох частин – серцевини і оболонки. Для забезпечення повного внутрішнього відбивання абсолютний показник заломлення серцевини трохи вищий показника заломлення оболонки. Серцевина виготовляється з чистого матеріалу (скла або пластику) і має діаметр 9 мкм (для одномодового волокна), 50 або 62,5 мкм (для багатомодового волокна). Оболонка має діаметр 125 мкм і складається з матеріалу з легуючими добавками, що змінюють показник заломлення.

Оптичні волокна, що використовуються в телекомунікаціях, як правило, мають діаметр 125 ± 1 мікрон. Діаметр серцевини може відрізнитися в залежності від типу волокна і національних стандартів.

Оптичне волокно може бути одномодовим і багатомодовим (рис. 2.11).

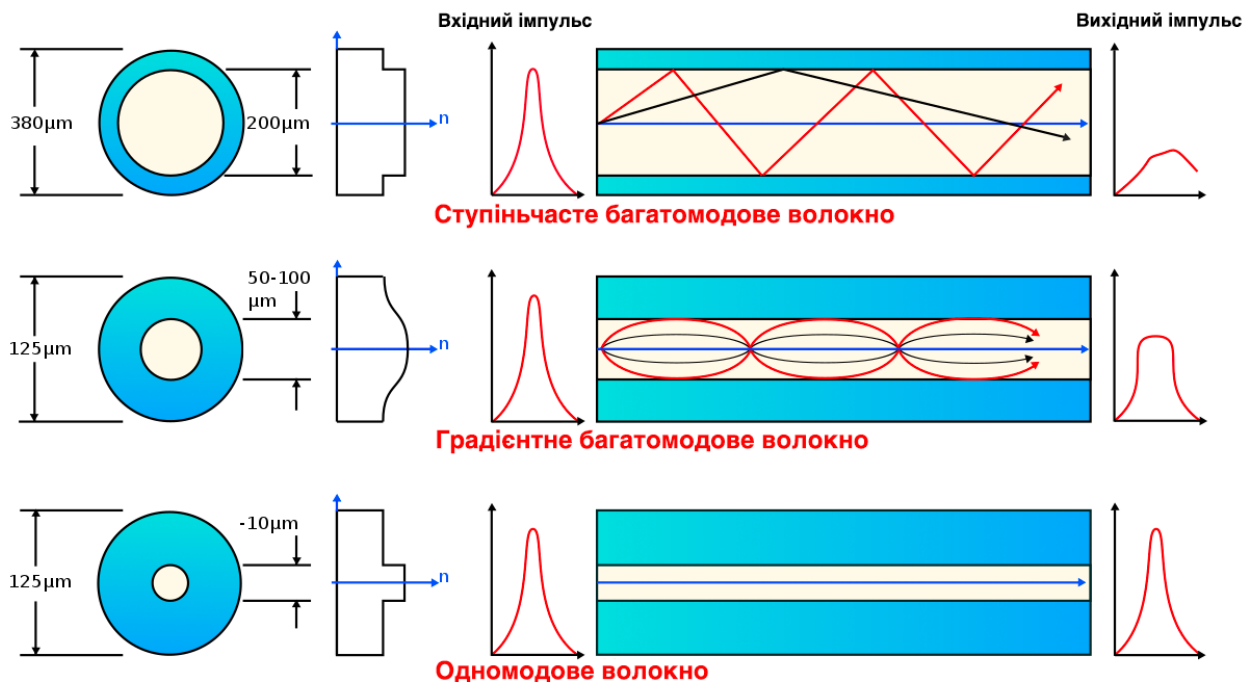


Рисунок 2.11 – Одномодове та багатомодове волокно

Діаметр серцевини одномодових волокон становить від 7 до 10 мікрон. Завдяки малому діаметру серцевини оптичне випромінювання поширюється по волокну в одній (основній, фундаментальній) моді.

Багатомодові волокна відрізняються від одномодових діаметром серцевини, який становить 50 мікрон в європейському стандарті і 62.5 мікрон в північноамериканському і японському стандартах. Через великий діаметр серцевини по багатомодовому волокну поширюється кілька мод випромінювання – кожна під своїм кутом.

Багатомодові волокна поділяються на ступінчасті і градієнтні. У ступінчастих волокнах показник заломлення від оболонки до серцевини змінюється стрибкоподібно. В градієнтних волокнах ця зміна відбувається інакше – показник заломлення серцевини плавно зростає від краю до центру.

Для будь-якого кабелю важливими характеристиками є межа його міцності на розрив, твердість, термін служби, гнучкість, захищеність від зовнішніх впливів, діапазон робочих температур.

Конструкція кабелів може бути досить різноманітною, але загальними є такі компоненти: оптичне волокно, буферна оболонка, силовий елемент, зовнішня оболонка.

Найпростіший вид буфера являє собою пластикову оболонку, розташовану поверх оптичної оболонки. Існує два види кабельних буферів: пустотілий і щільний.

Пустотілий буфер використовує тверду пластикову трубку з внутрішнім діаметром, що у декілька разів перевищує діаметр волокна. Одне або кілька волокон укладаються в цій трубці. Буферна трубка ізолює волокно від іншої частини кабелю і від механічних впливів.

Щільний буфер передбачає безпосередній контакт пластикового елемента з волоконною оболонкою. Ця конструкція забезпечує кращий захист від механічних впливів, але не так добре захищає волокно від зміни температури.

Крім того, слід зазначити, що кабель із щільним буфером більш гнучкий і згинається з меншим радіусом кривизни. Остання перевага робить кабель із щільним буфером особливо цінним для внутрішньої проводки, коли вплив температури не є настільки істотним, а гнучкість кабелю дозволяє легко укладати його всередині стін.

Силові елементи підвищують механічну міцність кабелю. Найбільш розповсюдженими силовими елементами є кевларова нитка, сталеві і епоксидні стрижні. Кевлар використовується тоді, коли кожне волокно міститься всередині індивідуальної оболонки. Сталеві нитки і скловолокна застосовуються в багатожильних кабелях. Сталь характеризується кращою механічною стійкістю у порівнянні зі скловолокном, але в ряді випадків необхідним є виготовлення цілком діелектричних кабелів. Сталь, наприклад, притягує розряди блискавки, а скло позбавлене цього недоліку.

Зовнішня оболонка, подібно ізоляції проводу, забезпечує захист від механічного тертя, мастил, озону, кислот, розчинників тощо. Вибір матеріалу зовнішньої оболонки залежить від ступеня необхідного захисту і вартості.

Існує кілька видів волоконно-оптичних кабелів, які класифікуються за сукупністю робочих параметрів заломлення і співвідношення діаметра оболонки оптоволокна до його серцевини. Ці параметри визначають експлуатаційні характеристики кабельної продукції, відповідно і сфери її застосування. Розрізняють наступні типи:

- Магістральний – використовується для ліній зв'язку, що передають інформацію на великі відстані. Відрізняється високою пропускнуною спроможністю. Конструкція характеризується застосуванням одномодового оптичного волокна, яке дозволяє прокладку в різних типах ґрунту;
- Міський – використовується для передачі інформації в межах порівняно невеликої локальної зони. Максимальна довжина не повинна перевищувати 100 км;
- Об'єктовий – використовується на невеликих за площею об'єктах комерційного або промислового призначення. Забезпечує високошвидкісне з'єднання локальної мережі.

Основна класифікація оптоволоконного кабелю здійснюється за способом застосування: внутрішній і зовнішній. Однак, внутрішній кабель зустрічається досить рідко, адже технічна складність прокладки і висока вартість робить його застосування доцільне тільки в дата-центрах.

Внутрішні волоконно-оптичні кабелі поділяються на два типи:

- Розподільні – формують загальну локальну мережу передачу даних на об'єкті (рис. 2.12);



Рисунок 2.12 – Розподільний оптоволоконний кабель

- Абонентські – застосовуються для укладання в приміщенні, де розташовані абоненти і їх безпосереднього підключення (рис. 2.13).



Рисунок 2.13 – Абонентський оптоволоконний кабель

Оптоволоконний кабель, призначений для використання всередині споруд, має спрощену будову. Він складається з оптичного волокна, захисного покриття і силового стрижня, в якості якого виступають кевларові нитки.

Види оптичних кабелів, призначених для зовнішнього застосування:

Підвісні. Мають посилену конструкцію, що складається з кевларової оболонки, посиленого внутрішнього або окремого виносеного троса (рис. 2.14). Допускається використання такого кабелю поблизу залізничних силових ліній, низьковольтних ліній електропередач, опорах освітлення.

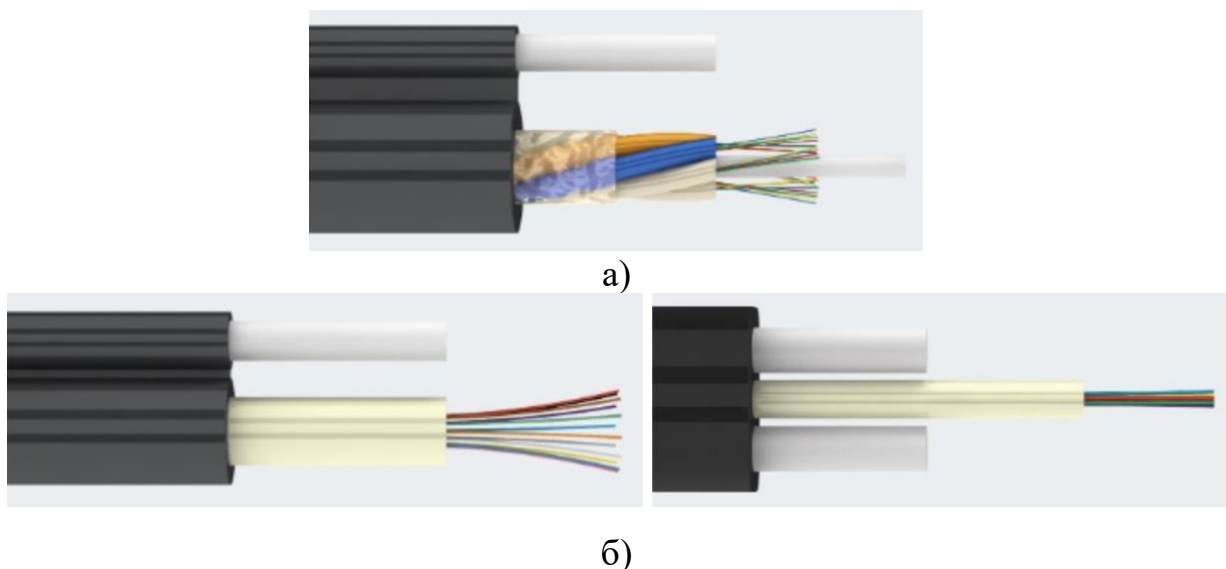


Рисунок 2.14 – Підвісний оптоволоконний кабель: а) стандартний з виносним силовим елементом; б) легкий з виносним силовим елементом

Для укладання на високовольтних ЛЕП. Є різновидом підвісного кабелю. Має захист від коротких замикань і ударів блискавки. Як конструктивний елемент використовується газозахисна оболонка, що являє собою оплітку з алюмінієвих дротів. Використання забезпечує збереження стабільної температури всередині кабелю при зовнішніх впливах високовольтної електрики.

Для прокладання в комунікаційних колодязях. Використовується для прокладки в підземних інженерних кабель-каналах (рис. 2.15). Як захисна оболонка використовується металева гофрострічка, призначена, в основному, для запобігання пошкодження сердечника гризунами.

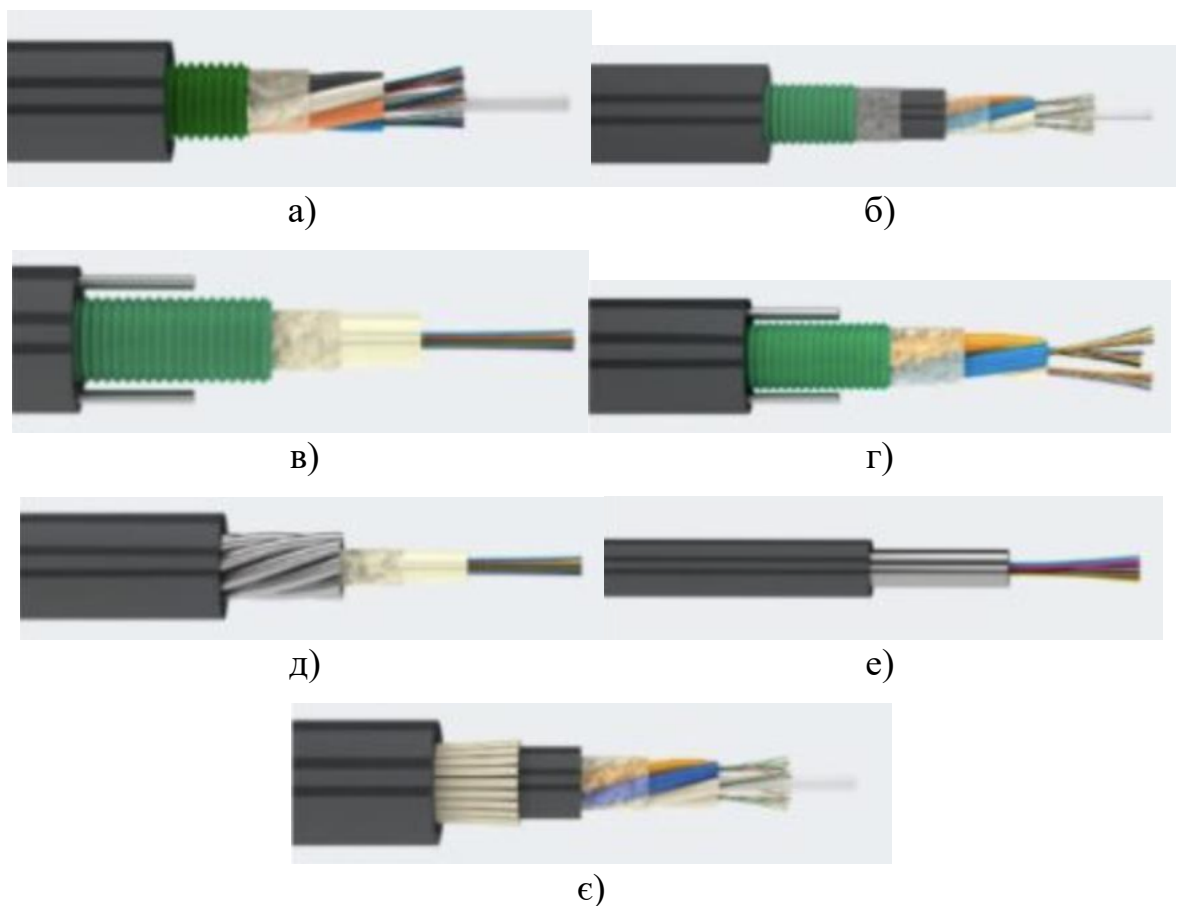


Рисунок 2.15 – Оптоволоконний кабель для прокладання в комунікаційних колодязях: а) стандартний; б) стандартний з проміжною оболонкою; в) легкий; г) легкий модульний; д) спеціальний з бронею; е) спеціальний зі сталевим модулем; є) спеціальний діелектричний

Підземні. Мають посилене бронювання, що складається з металевого дроту, розміщеного у вигляді зовнішньої оболонки (рис. 2.16). Крім того, при підземному прокладанні кабелю на деякій відстані зверху розташовується сигнальна стрічка яскравих кольорів, а також відповідні таблички.

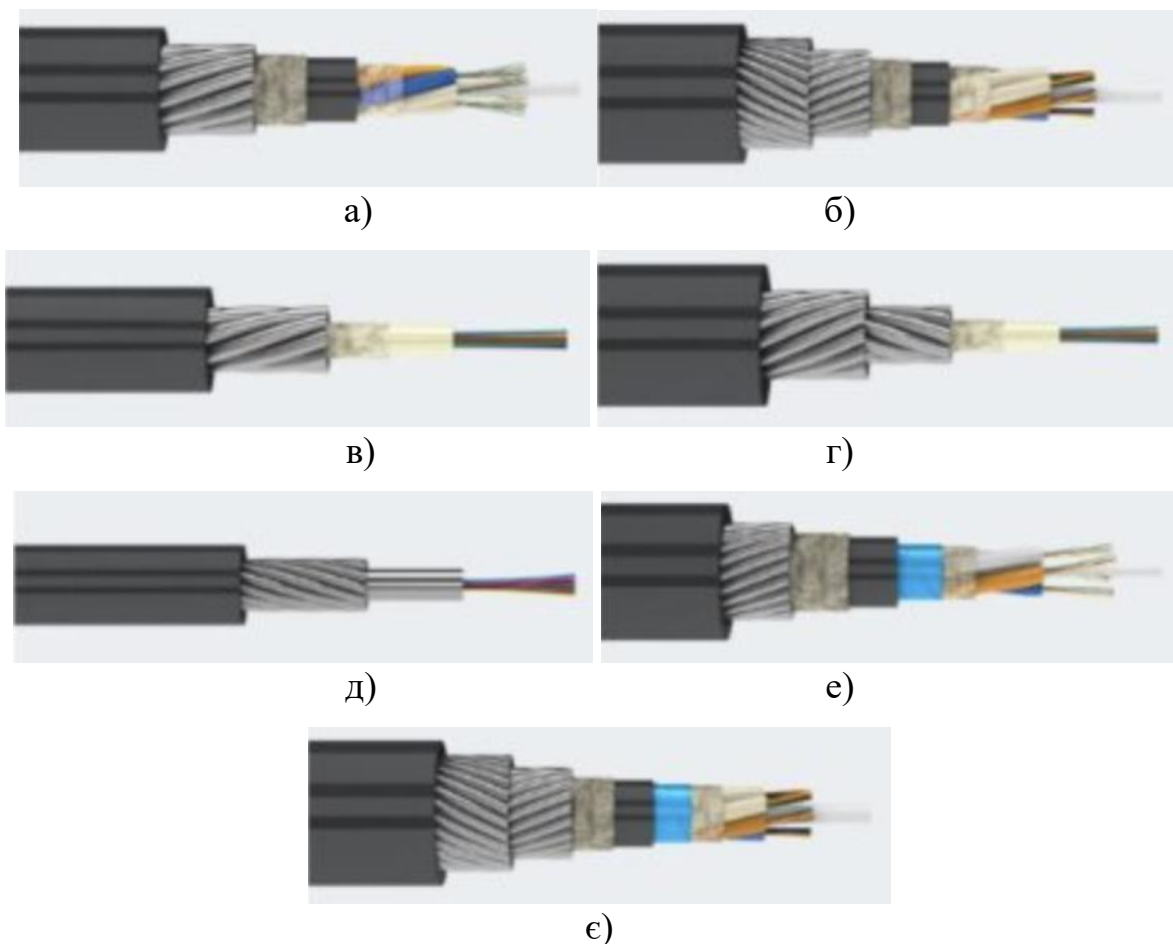
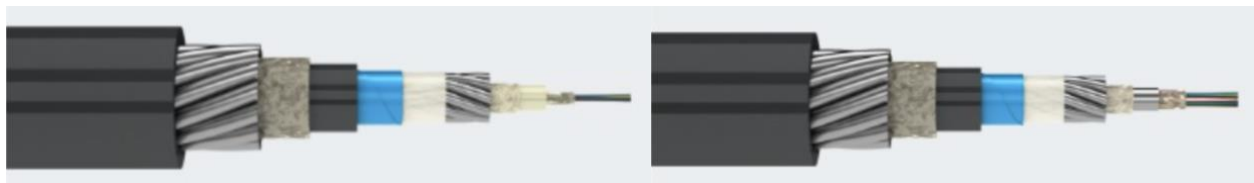


Рисунок 2.16 – Підземний оптоволоконний кабель: а) стандартний; б) стандартний підсилений; в) легкий; г) легкий підсилений; д) спеціальний зі сталевим модулем; е) спеціальний для ґрунту, боліт та рік; е) спеціальний підсилений для ґрунту, боліт та рік

Підводні. Використовуються для прокладки на будь-яких типах морських ділянок, як прибережних, шельфових, так і глибоководних (рис. 2.17). Також допускається їх використання в будь-яких типах ґрунту. Також такий вид кабелю використовується в особливо складних інженерних конструкціях, при необхідності прокладки через естакади, тунелі, каналізаційні колектори тощо.



а)

б)

Рисунок 2.17 – Підводний оптоволоконний кабель:

а) стандартний; б) зі сталевим модулем

Для монтажу в труби. Має спрощену конструкцію з мінімальним захистом від зовнішніх впливів. Для захисту сердечника від зовнішніх пошкоджень використовуються спеціальні склоники, а товщина зовнішньої оболонки зменшена (рис. 2.18). Застосовуються для монтажу в сталевих трубах, які і захищають їх від механічних впливів.



а)

б)

Рисунок 2.18 – Оптоволоконний кабель для монтажу в труби:

а) стандартний; б) мікро









Виділяють кілька основних видів роз'ємів оптики (табл. 2.3):

- FC, ST та SC з наконечниками товщиною 2.5 мм;
- LC, MU та E2000 з наконечниками товщиною 1.25 мм;
- SMA, BICONIC та DIN з нестандартними ферулами;
- дуплексні з 2 волокнами – MTRJ, ESCON та Opti-Jack;
- стрічкові з понад 4 волокнами – MTP/MPO.

У практиці найбільш популярними є 2.5 мм оптичні патч-корди SC, FC і ST. У свою чергу кожен з позначених може бути одинарним (часто використовується позначення симплексні) або подвійним (дуплексним). LC – це найбільш поширені серед 1.25 мм конекторів.

Таблиця 2.3 – Основні види оптичних роз'ємів

Роз'єм	Тип	Діаметр наконечника	Зображення
FC	симплексний	2.5 мм	
ST	симплексний		
SC	симплексний		
	дуплексний		
LC	симплексний	1.25 мм	
	дуплексний		
MU	симплексний		
	дуплексний		

E2000	симплексний	2.5 мм	
SMA	симплексний	2.3 – 3 мм	
BICONIC	симплексний	6.32 мм	
DIN (LSA)	симплексний	0.9, 2, 3 мм	
MTRJ	дуплексний	2.45 × 4.4 мм	
ESCON	дуплексний	2.5 мм	
Opti-Jack	дуплексний	2.5 мм	
MTP/MPO	багатоканальний	2.5 × 6.4 мм	

Роз'єм SC – це основний тип конектора, що використовується у кабельних системах структурованого типу та телекомунікаціях. З переваг варто відзначити високу швидкість і щільність з'єднання. Недоліком оптичного роз'єму є його пластиковий корпус. Міцність у нього недостатня та слабка стійкість до вібрацій.

Відмінність роз'єму FC від SC полягає в круглому перерізі та металевому корпусі. До переваг належить великий термін служби завдяки металу та висока стійкість до вібрацій. Недоліком є менша щільність з'єднання та більш складна комутація. Конектори такого типу застосовуються в основному для приєднання телекомунікаційного обладнання.

За зручністю роз'єм ST знаходиться посередині між SC та FC. Висока зносостійкість, корпус з металу і має середній показник щільності комутації. Активно застосовується для закінчення багатомодових кабелів.

Оптичним конекторам LC властива простота закріплення та зручність комутації. Тільки вони легко піддаються механічним впливам та деформаціям. Конектор LC – найбільш популярний серед патч кордів, так як використовується в комп'ютерному мережевому обладнанні. До того ж невеликий розмір роз'єму та його прямокутна форма дає можливість легко зібрати дуплексний варіант з двох однакових конекторів.

Протяжність кабельних ліній волоконно-оптичного зв'язку (ВОЛЗ) може досягати сотні кілометрів. При монтажі неминуче виникає необхідність з'єднання довжин кабелю, які становлять кілька кілометрів.

Зрощування оптоволокна – це складний технологічний процес, який вимагає високої кваліфікації та застосування спеціального дороговартісного обладнання та інструментів.

Механічний спосіб з'єднання волокна є найпростішим і найдешевшим, але має найгірші характеристики в місці з'єднання в порівнянні зі зварним стиком. Тому механічні з'єднання використовують тільки при аварійних роботах як тимчасове відновлення лінії зв'язку.

Зварювання волоконно-оптичного кабелю є найпоширенішим та надійним методом з'єднання. Зрощування кабелю виконується з мікронною точністю, щоб забезпечити мінімальні втрати у місці з'єднання (рис. 2.19).

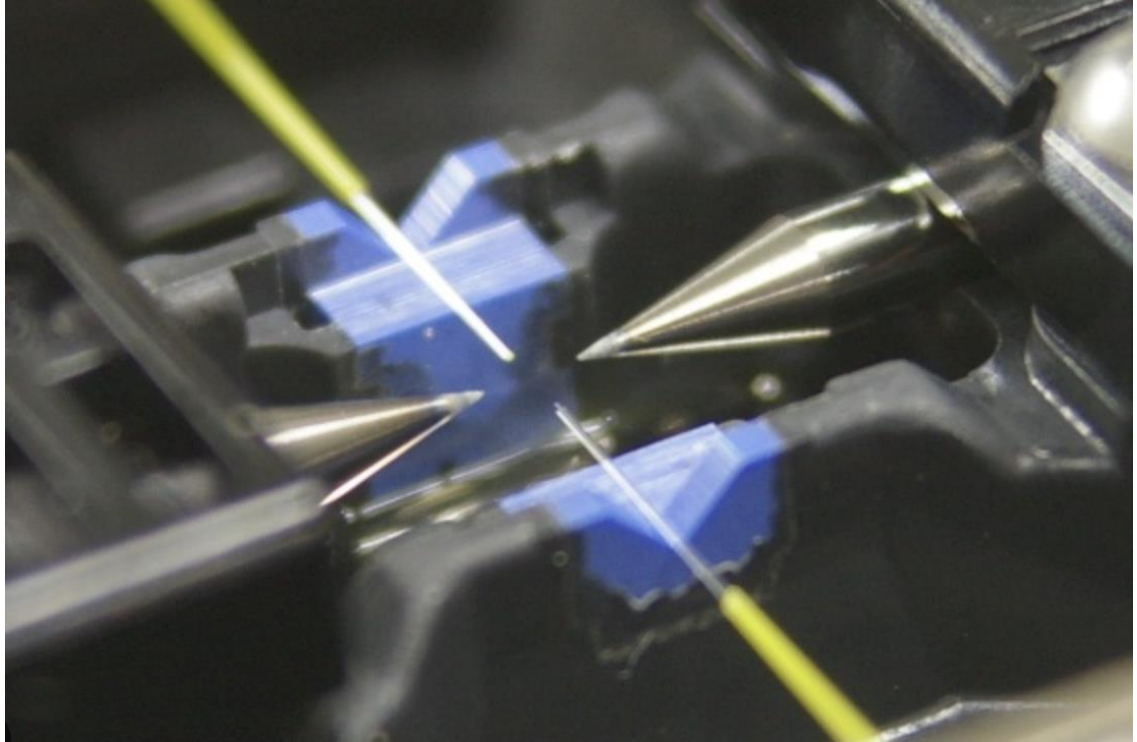


Рисунок 2.19 – Зварювання оптоволоконна

2.2 Безпроводні середовища передачі даних

Безпроводна комп'ютерна мережа – мережа, яка побудована на безпроводному (без використання кабельної проводки) принципі, що повністю відповідає стандартам для звичайних провідних мереж (наприклад, Ethernet). В якості носія інформації в таких мережах найчастіше виступають радіохвилі.

Існує два основних напрямки застосування безпроводних КМ:

- робота в замкнутому просторі (наприклад, офіс);
- з'єднання віддалених локальних мереж (або віддалених сегментів локальної мережі).

Для організації безпроводної мережі в замкнутому просторі застосовуються передавачі зі всенаправленими антенами.

Для з'єднання віддалених локальних мереж (або віддалених сегментів локальної мережі) використовується обладнання зі спрямованими антенами, що дозволяє збільшити дальність зв'язку до 20 км (а при використанні спеціальних підсилювачів і великій висоті розміщення антен – до 50 км). Якщо безпроводна мережа використовується для об'єднання сегментів локальної мережі, віддалених на великі відстані, антени, як правило, розміщуються за межами приміщення і на великій висоті.

На даний час існує дуже багато безпроводних технологій, найчастіше відомих користувачам за їх маркетинговими назвами, такими як Wi-Fi, WiMAX, Bluetooth. Кожна технологія має певні характеристики, які визначають її область застосування (табл. 2.4).

Таблиця 2.4 – Порівняльна характеристика безпроводних середовищ передачі даних

Технологія	Стандарт/Версія	Швидкість передачі даних	Радіус дії	Частоти	
Інфрачервоний канал зв'язку	IrDA	9,6 – 115,5 кбіт/с до 15 Мбіт/с	5 – 50 см до 10 м	Інфрачервоне випромінювання	
NFC	ISO 14443	до 340 кбіт/с	до 20 см	13.56 МГц	
Bluetooth	802.15.1	1.2	до 721 кбіт/с	до 10 м	2.4 ГГц
		2.0/2.1	до 2,1 Мбіт/с	до 100 м	2.4 ГГц
		3.0	3 – 24 Мбіт/с	до 100 м	2.4 ГГц
		4.1 (LE)	до 1 Мбіт/с	до 10 м	2.4 ГГц
		5 (LE)	до 2 Мбіт/с	до 10 м	2.4 ГГц
Zigbee	802.15.4	до 250 кбіт/с	10 – 100 м	2.4 ГГц	
Wi-Fi	802.11b	до 11 Мбіт/с	до 300 м	2.4 ГГц	
	802.11g	до 54 Мбіт/с	до 300 м	2.4 ГГц	
	802.11n (Wi-Fi 4)	до 150 (600) Мбіт/с	до 300 м	2.4 або 5 ГГц	
	802.11ac (Wi-Fi 5)	до 1 Гбіт/с	до 300 м	2.4 або 5 ГГц	
	802.11ax (Wi-Fi 6)	до 11 Гбіт/с	до 300 м	2.4 або 5 ГГц	
	802.11be (Wi-Fi 7)	до 30 Гбіт/с	до 300 м	2.4, 5 або 6 ГГц	
WiGig	802.11ad	до 7 Гбіт/с	до 300 м	2.4, 5 або 60 ГГц	
	802.11ay	до 40 Гбіт/с	до 500 м	2.4, 5 або 60 ГГц	
WiMax	802.16d	до 75 Мбіт/с	25 – 80 км	1.5 – 11 ГГц	
	802.16e	до 40 Мбіт/с	1 – 5 км	2.3 – 13.6 ГГц	
WiMax 2	802.16m	до 1 Гбіт/с	120 – 150 км	до 11 ГГц	

IrDA (InfraRed Data Association) – інфрачервоний порт, група стандартів, що описує протоколи фізичного і логічного рівня передачі даних з використанням інфрачервоного діапазону світлових хвиль в якості середовища передачі.

Є різновидом оптичної лінії зв'язку ближнього радіусу дії.

Апаратна реалізація, як правило, являє собою пару з випромінювача, у вигляді інфрачервоного світлодіода, і приймача, у вигляді фотодіода розташованих на кожній зі сторін лінії зв'язку. Наявність і передавача і приймача на кожній зі сторін є необхідною для використання протоколів двосторонньої передачі даних.

У ряді випадків, наприклад при використанні в пультах дистанційного керування побутовою технікою, одна зі сторін може бути оснащена тільки передавачем, а інша тільки приймачем.

NFC (Near Field Communication) – технологія безпроводної передачі даних малого радіусу дії, яка дає можливість обміну даними між пристроями, що знаходяться на відстані близько 10 сантиметрів.

Ця технологія – розширення стандарту безконтактних карт (ISO 14443), який об'єднує інтерфейс смарт-карти і зчитувача в єдиний пристрій. Пристрій NFC може підтримувати зв'язок з існуючими смарт-картами, зі зчитувачами стандарту ISO 14443, з іншими пристроями NFC і, таким чином, – сумісно з існуючою інфраструктурою безконтактних карт, вже використовується в громадському транспорті і платіжних системах. NFC націлена перш за все на використання в цифрових мобільних пристроях.



Рисунок 2.20 – NFC-мітка

Так само, як і в стандарті ISO 14443, в NFC зв'язок підтримується за допомогою індукції магнітного поля, де дві рамкові антени розташовуються в межах ближнього поля один одного, ефективно формуючи трансформатор з повітряним сердечником (рис. 2.20).

Bluetooth – специфікація безпроводних персональних мереж. Bluetooth забезпечує обмін інформацією між такими пристроями, як персональні комп'ютери, мобільні телефони, принтери, цифрові фотоапарати, мишки, клавіатури, джойстики, навушники, гарнітури на надійній, безкоштовній, загальнодоступній радіочастоті для ближнього зв'язку.

Технологія створена у 1998 році групою компаній: Ericsson, IBM, Intel, Nokia, Toshiba. Нині розробки в області Bluetooth ведуться групою Bluetooth SIG (Special Interest Group), до якої входять також Lucent, Microsoft та інші компанії, чия діяльність пов'язана з мережевими технологіями.

Принцип дії заснований на використанні радіохвиль. Радіозв'язок Bluetooth здійснюється в ISM-діапазоні, який використовується в різних побутових приладах і безпроводних мережах (діапазон 2,4-2,4835 ГГц). У Bluetooth застосовується метод розширення спектру зі стрибкоподібною перебудовою частоти (FHSS – Frequency-Hopping Spread Spectrum). Метод FHSS простий в реалізації, забезпечує стійкість до широкосмугових перешкод, а обладнання недороге.

Відповідно до алгоритму FHSS, в Bluetooth несуча частота сигналу стрибкоподібно змінюється 1600 разів в секунду. Таким чином, якщо поруч працюють кілька пар приймач-передавач, то вони не заважають один одному. Цей алгоритм є також складовою частиною системи захисту конфіденційності інформації, що передається: перехід відбувається по псевдовипадковому алгоритму і визначається окремо для кожного з'єднання.

BLE (Bluetooth Low Energy) – технологія цифрової безпроводної передачі даних (різновид Bluetooth) з наднизьким енергоспоживанням і малим радіусом передачі (10 м), заснована на недорогих мікросхемах в передавальних пристроях.

Профіль – набір функцій або можливостей, доступних для певного пристрою Bluetooth. Для спільної роботи Bluetooth-пристроїв необхідно, щоб всі вони підтримували загальний профіль. Нижчезазначені профілі визначені і схвалені групою розробки Bluetooth SIG:

- *Advanced Audio Distribution Profile (A2DP)* розроблений для передачі двоканального стерео аудіопотоку, наприклад, музики, до безпроводної гарнітури або будь-якого іншого пристрою.
- *Audio/Video Remote Control Profile (AVRCP)* розроблений для керування стандартними функціями телевізорів, Hi-Fi обладнання та ін. Надає можливість дистанційного керування.
- *Device ID Profile (DIP)* дає змогу ідентифікувати клас пристрою, виробника, версію продукту.
- *General Audio/Video Distribution Profile (GAVDP)* є базовим для A2DP і VDP.
- *Generic Access Profile (GAP)* є базовим для всіх інших профілів.
- *Hands-Free Profile (HFP)* застосовується для з'єднання бездротової гарнітури й телефону, передає монозвук в одному каналі.
- *Human Interface Device Profile (HID)* забезпечує підтримку пристроїв з HID (Human Interface Device), таких як мишки, джойстики, клавіатури та ін. Використовує повільний канал, працює на зниженій потужності.
- *Headset Profile (HSP)* застосовується для з'єднання безпроводної гарнітури та телефону. Підтримує мінімальний набір AT-команд специфікації GSM 07.07 для забезпечення можливості здійснювати дзвінки, відповідати на дзвінки, завершувати дзвінок, налаштовувати гучність.
- *LAN Access Profile (LAP)* забезпечує можливість доступу Bluetooth-пристроїв до мереж LAN, WAN або Internet за допомогою іншого Bluetooth-пристрою, який має підключення до цих мереж.
- *Video Distribution Profile (VDP)* дає змогу передавати потокове відео.
- *Wireless Application Protocol Bearer (WAPB)* використовується для організації P-to-P (Point-to-Point) з'єднання через Bluetooth.

ZigBee – безпроводний стандарт передачі даних. Підтримується і розвивається однойменним альянсом ZigBee™, який був створений в 2002 році з метою об'єднання зусиль з розроблення найефективніших протоколів і забезпечення сумісності пристроїв різних виробників.

Мережі ZigBee є мережами з самоорганізуванням та самовідновленням, оскільки ZigBee-пристрої при вмиканні живлення, завдяки вбудованому програмному забезпеченню, вміють самі знаходити один одного й формувати мережу, а у разі виходу з ладу одного із вузлів можуть встановлювати нові маршрути для передачі повідомлень.

ZigBee призначений для мобільних пристроїв, де необхідна тривала робота від акумулятора і безпечність передачі даних у мережі.

Існують три різних типи пристроїв ZigBee.

- Координатор ZigBee (ZC) – найвідповідальніший пристрій, який формує основну топологію дерева мережі і може зв'язуватися з іншими мережами. У кожній мережі має бути хоча б один координатор ZigBee, який повинен запустити мережу на початку. Він має зберігати інформацію про мережі, та виконувати функцію довіреного центра та сховища секретних паролів.
- Маршрутизатор ZigBee (ZR) – даний маршрутизатор може виступати як проміжний маршрутизатор, передаючи дані з інших пристроїв. Він також може запускати додатки.
- Кінцевий пристрій ZigBee (ZED) – його функціональна навантаженість дозволяє йому обмінюватися інформацією з вузлом вищого рівня (координатором або з маршрутизатором), але він не може передавати дані з інших пристроїв. Така функціональність дозволяє вузлу перебувати в сплячому стані левову частину часу, що дозволяє економити енергоресурс батареї. ZED потребує мінімальної кількості пам'яті.

Wi-Fi – торгова марка Wi-Fi Alliance для безпроводних комп'ютерних мереж на базі стандарту IEEE 802.11. Під назвою Wi-Fi в даний час розвивається ціле сімейство стандартів передачі цифрових потоків даних по радіоканалах.

Не зважаючи на те, що Wi-Fi часто представляють як аббревіатуру Wireless Fidelity (безпроводна точність), за словами розробників ця назва офіційно ніяк не розшифровується, а є лише грою слів стосовно іншої аббревіатури – Hi-Fi.

Встановлення Wi-Fi доцільне для побудови мереж, де розгортання кабельної системи є неможливим або економічно недоцільним. Поточні реалізації Wi-Fi дозволяють отримати швидкість передачі даних понад 100 Мбіт/с, при цьому користувачі можуть переміщатися між точками доступу на території покриття мережі Wi-Fi, використовуючи мобільні пристрої (смартфони, ноутбуки), оснащені клієнтськими приймально-передавальними пристроями Wi-Fi та отримувати доступ до Інтернет.

Зазвичай схема Wi-Fi мережі містить не менше однієї точки доступу і не менше одного клієнта. Також можливе підключення двох клієнтів в режимі точка-точка (Ad-hoc), коли точка доступу не використовується, а клієнти з'єднуються за допомогою мережевих адаптерів «безпосередньо». Точка доступу передає свій ідентифікатор мережі (SSID) за допомогою спеціальних сигнальних пакетів на швидкості 0,1 Мбіт/с кожні 100 мс. Тому 0,1 Мбіт/с – найменша швидкість передачі даних для Wi-Fi. Знаючи SSID мережі, клієнт може з'ясувати, чи можливе підключення до даної точки доступу. При попаданні в зону дії двох точок доступу з ідентичними SSID приймач може вибирати між ними на підставі даних про рівень сигналу. Стандарт Wi-Fi дає клієнтові повну свободу при виборі критеріїв для з'єднання.

Ядром безпроводної мережі Wi-Fi є так звана точка доступу (Access Point), яка підключається до певної наземної мережевої інфраструктури (каналів Інтернет-провайдера) та забезпечує передачу радіосигналу. Зазвичай точка доступу складається із приймача, передавача, інтерфейсу для підключення до проводної мережі та програмного забезпечення для налаштування. Навколо точки доступу формується просторова область радіусом 50-100 метрів (її

називають хот-спотом або зоною Wi-Fi), у межах якої можна користуватися безпроводною мережею.

Wi-Fi Direct дозволяє комп'ютерам і портативним гаджетам зв'язуватися один з одним безпосередньо за протоколом Wi-Fi без використання маршрутизаторів і точок доступу. Тобто з'єднання встановлюється так само просто, як через Bluetooth.

За словами Всесвітньої організації охорони здоров'я «немає ризику від довгострокового впливу низького рівня випромінювання мереж Wi-Fi». Агентство з охорони здоров'я Великої Британії повідомляє, що сумарне випромінювання Wi-Fi протягом року еквівалентне випромінюванню від 20-хвилинної розмови мобільним телефоном.

WPA (Wi-Fi Protected Access) – один з протоколів безпеки для захисту безпроводних мереж. Створений для заміни застарілого протоколу WEP.

WiGig відноситься до набору протоколів безпроводної мережі. Фактично є розширенням технології Wi-Fi.

Специфікація WiGig дозволяє пристроям спілкуватися без проводів на мультигігабітних швидкостях. Вона забезпечує високоефективну безпроводну передачу даних, доповнюючи можливості попередніх пристроїв безпроводної локальної мережі.

Тридіапазонні пристрої WiGig, які працюють на частотах 2,4, 5 і 60 ГГц, забезпечують швидкість передачі даних до 7 Гбіт/с (для 11ad) та 20–40 Гбіт/с (802.11ay), приблизно таку ж швидкість, як 8-діапазонна передача 802.11ac, і більше ніж в одинадцять разів швидше, ніж найвища швидкість 802.11n, зберігаючи сумісність із існуючими пристроями Wi-Fi. Сигнал міліметрової хвилі 60 ГГц зазвичай не може проникати через стіни, але може поширюватися шляхом відбиття від стін, стелі, підлоги та об'єктів за допомогою формування променя, вбудованого в систему WiGig. Під час роумінгу поза основною кімнатою протокол може переключатися на використання інших нижніх діапазонів із значно нижчою швидкістю, обидва з яких можуть поширюватися крізь стіни.

WiMAX – телекомунікаційна технологія, розроблена з метою надання універсального безпроводного зв'язку на великих відстанях для широкого спектру пристроїв (від робочих станцій і портативних комп'ютерів до мобільних телефонів). Заснована на стандарті IEEE 802.16, який також називають *Wireless MAN*.

Кожна із специфікацій *WiMAX* визначає свої робочі діапазони частот, пропускну здатність, потужність випромінювання, методи передачі і доступу, способи кодування і модуляції сигналу, принципи повторного використання радіочастот та інші показники. А тому *WiMAX*-системи, засновані на версіях стандарту IEEE 802.16 e і d, практично несумісні.

Основна відмінність двох технологій полягає в тому, що фіксований *WiMAX* дозволяє обслуговувати тільки «статичних» абонентів, а мобільний орієнтований на роботу з користувачами, що пересуваються зі швидкістю до 150 км/год. В окремому випадку мобільний *WiMAX* може застосовуватися і для обслуговування фіксованих користувачів.

У загальному вигляді *WiMAX* мережі складаються з наступних основних частин: базових і абонентських станцій, а також обладнання, що зв'язує базові станції між собою, з постачальником сервісів та з Інтернетом.

В жовтні 2010 року було затверджено стандарт IEEE 802.16m, відомий як *WiMAX 2*. Він дозволяє підвищити пропускну здатність безпроводних мереж в кілька разів. Так, стаціонарне обладнання в мережах нового покоління зможе приймати дані на швидкості до 1 Гбіт/с, а мобільні пристрої та портативні комп'ютери – до 100 Мбіт/с. При цьому збережеться зворотна сумісність з існуючим устаткуванням *WiMAX*.

Стільниковий зв'язок – один з видів мобільного радіозв'язку, в основі якого лежить мережа. Ключова особливість полягає в тому, що загальна зона покриття ділиться на комірки (соти, стільники), що визначаються зонами покриття окремих базових станцій (рис. 2.21). Стільники частково перекриваються і разом утворюють мережу. На ідеальній (рівній і без забудови)

поверхні зона покриття однієї базової станції являє собою коло, тому складена з них мережа має вигляд соти з шестикутними комірками.

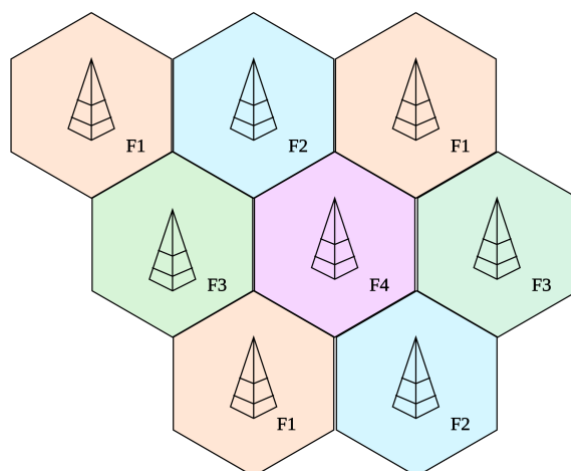


Рисунок 2.21 – Схема розміщення вишок стільникового зв'язку

Основні складові мережі – це мобільні телефони і базові станції, які зазвичай розташовують на дахах будинків і вишках. Телефон і станція підтримують постійний радіоконтакт, періодично обмінюючись пакетами. Зв'язок телефону зі станцією може йти по аналоговому протоколу або по цифровому (CDMA, GSM, UMTS). Якщо телефон виходить з поля дії базової станції (або якість радіосигналу погіршується), він налагоджує зв'язок з іншою.

Розвиток стільникових мереж пройшов кілька етапів розвитку, забезпечуючи не лише голосовий зв'язок між абонентами, а і передачу даних, перетворивши мережу стільникового зв'язку на глобальну комп'ютерну мережу.

2G (2nd Generation) – скорочення для позначення технологій безпроводного телефонного зв'язку другого покоління. Саме починаючи з другого покоління стільниковий зв'язок отримав передачу цифрових даних.

GSM (Global System for Mobile Communications – глобальна система мобільного зв'язку) – міжнародний стандарт для мобільного цифрового стільникового зв'язку з розділенням каналу за принципом TDMA (поділ каналу за часом) та високим рівнем безпеки за рахунок шифрування з відкритим

ключем. Стандарт був розроблений під патронатом Європейського інституту стандартизації електрозв'язку (ETSI) наприкінці 1980-х років.

Більшість мереж GSM працюють у діапазоні 900 МГц або 1800 МГц. Деякі країни Америки використовують діапазони 850 МГц та 1900 МГц, оскільки стандартні діапазони 900 та 1800 МГц зайняті іншими системами.

CSD (Circuit Switched Data) – технологія передачі даних, що була розроблена для мобільних терміналів стандарту GSM. CSD використовує один часовий інтервал для передавання даних на швидкості 9,6 кбіт/с у підсистему мережі та комутації.

HSCSD (High-Speed Circuit-Switched Data) – технологія передачі даних для мереж GSM, покращена версія CSD. Застосовується в мережах, де каналні інтервали поєднуються в групи, що дозволяє збільшити швидкість передачі даних в кілька разів порівняно з CSD.

GPRS (General Packet Radio Service – загальний сервіс пакетної радіопередачі) – стандарт, який використовує не зайняту голосовим зв'язком смугу частот для передачі інформації. Використовується в мобільних пристроях для передачі MMS, WAP-серфінгу та повноцінного з'єднання з Інтернетом.

При використанні GPRS дані формуються у пакети, які передаються одночасно кількома радіоканалами, при цьому дані радіоканали можуть послідовно використовуватись декількома користувачами. GPRS сумісна з усіма найпоширенішими протоколами пакетної передачі даних (TCP/IP).

WAP (Wireless Application Protocol – протокол безпроводної передачі даних) – технологія, що використовується для запуску Інтернет-додатків на мобільних терміналах. Інтернет-додатки, призначені для такого використання повинні бути підготовлені в спеціальному форматі і придатні для відпрацювання на мобільних терміналах з використанням низькошвидкісних каналів передачі даних існуючих мереж стільникового зв'язку.

EDGE (Enhanced Data Rates for GSM Evolution) – технологія передачі даних, що забезпечує передачу інформації в мережі мобільного зв'язку. Технологія EDGE підтримує у середньому втричі вищу швидкість передачі

даних, ніж GPRS, крім того, забезпечується ефективніше використання частотних ресурсів і поліпшення покриття мережі в порівнянні зі звичайною мережею GSM.

3G (3rd Generation – третє покоління технології мобільного зв'язку) – набір послуг, який включає високошвидкісний мобільний доступ до мережі Інтернет та технологію радіозв'язку.

UMTS (Universal Mobile Telecommunications System – універсальна мобільна телекомунікаційна система) – технологія стільникового зв'язку, розроблена Європейським Інститутом Стандартів Телекомунікацій (ETSI) для впровадження 3G у Європі. Як спосіб передачі даних через повітряний простір використовується технологія W-CDMA, стандартизована відповідно до проекту 3GPP.

W-CDMA (Wideband Code Division Multiple Access – широкопasmовий множинний доступ із кодовим розподілом каналів) – це стандарт для радіоінтерфейсу, що використовується у мережах мобільного зв'язку 3G, що використовує дві широкі смуги радіочастот по 5 МГц. Базується на технології, яку використовує японський оператор NTT DoCoMo для власного сервісу FOMA.

Технологія може бути додана до існуючих мереж GSM, що робить стандарт W-CDMA найперспективнішим з точки зору використання мережевих ресурсів та глобальної сумісності.

3GPP (3rd Generation Partnership Project) – партнерська асоціація груп телекомунікаційних компаній, головною метою створення якої є розробка і затвердження стандартів для мережевих технологій третього покоління (3G), стандартизація архітектури мереж та сервісів.

HSPA (High Speed Packet Access) – протокол високошвидкісного пакетного доступу мобільного зв'язку 3-го покоління. Забезпечує швидкий канал передачі та приймання даних з мобільного пристрою, що працює в системі UMTS.

HSPA поділяється на HSUPA для високошвидкісного каналу передачі даних з мобільного пристрою до мережі та HSDPA для високошвидкісного

приймання даних з мережі на мобільний пристрій. Наступним кроком в удосконаленні технології є HSPA+.

HSDPA (High-Speed Downlink Packet Access – високошвидкісний пакетний доступ у напрямку «вниз») – доступ високошвидкісного приймання пакетних даних стандарту мобільного зв'язку 3-го покоління.

HSUPA (High Speed Uplink Packet Access) – технологія високошвидкісної пакетної передачі даних аналогічно HSDPA, за напрямком «вгору», являє собою стандарт мобільного зв'язку, що дозволяє прискорити передачу даних від W-CDMA-пристроїв кінцевого користувача до базової станції за рахунок застосування досконаліших методів модуляції.

HSPA+ (Evolved High-Speed Packet Access – розвинутий високошвидкісний пакетний доступ) – стандарт мобільного зв'язку (3.75G), що є еволюцією HSPA, у який додано більш складні модулі та технологія MIMO.

MIMO (Multiple Input Multiple Output) – системи зв'язку з рознесеними передавальними і приймальними антенами. Їхнє використання дозволяє проводити просторову і часову обробку сигналів, ефективніше використовувати випромінювану передавачем потужність і знижувати негативний вплив завад.

EV-DO (Evolution Data Only або Evolution-Data Optimized) – технологія мереж мобільного зв'язку третього покоління 3G, стандартизована 3GPP в межах розвитку стандарту мобільного зв'язку CDMA2000 та забезпечення високошвидкісну передачу даних.

Швидкість передачі даних в EV-DO, залежно від поколінь (релізів) стандарту: Rev.0, Rev.A, Rev.B, Rev.C, Rev.D.

LTE (Long Term Evolution — довготерміновий розвиток) – назва мобільного протоколу передачі даних.

LTE розглядається як еволюція технології UMTS, є стандартом високошвидкісного безпроводного зв'язку передачі даних розроблений групою 3GPP. Формально LTE відноситься операторами мобільного зв'язку та виробниками до стандарту 4G, хоча не належить до нього фактично, оскільки не

відповідає технічним критеріям мобільного зв'язку 4-го покоління визначеного вимогами «IMT-Advanced»

4G (4th Generation) – четверте покоління мобільного радіозв'язку. 4G відрізняється швидкістю передачі даних, яка перевищує показники 3G в 200 – 500 разів, мережі четвертого покоління не використовують канал для передачі голосу, а працюють тільки з цифровими даними.

Міжнародний союз електрозв'язку ITU (International Telecommunication Union) до стандартів четвертого покоління відносить стандарти мобільної передачі, затверджені у специфікації ITM-Advanced: LTE-Advanced та WiMax Release 2.

LTE Advanced – стандарт мобільного зв'язку, стандартизований 3GPP як головне поліпшення стандарту LTE.

LTE-Advanced передбачає розширення смуги частот, агрегацію (декількох смуг, в тому числі не сусідніх) спектру, має розширені можливості багатоантенної передачі даних MIMO, підтримує функції ретрансляції сигналу LTE, а також розгортання гетерогенних мереж (HetNet).

5G (5th Generation) – п'яте покоління мобільних мереж. Технології 5G забезпечують більш високу пропускну здатність у порівнянні з технологіями 4G, що дозволяє забезпечити більшу доступність широкосмугового мобільного зв'язку, а також використання режимів device-to-device (пристрій до пристрою, пряме з'єднання між абонентами), більш надійні масштабні системи комунікації, менша витрата енергії, ніж у 4G-обладнання.

Радіоінтерфейс, визначений 3GPP для 5G, відомий як New Radio (NR), а специфікація поділяється на дві лінії частот: FR1 (600-6000 МГц) та FR2 (24-100 ГГц), кожна з різними можливостями.

6G (6th Generation) – шосте покоління мобільного зв'язку, впровадження якого очікується в 2026-2030 роках, на основі стандартів телекомунікацій, наступних за стандартами 5G.

Основні характеристики представлених технологій безпроводної передачі даних на базі стільникових мереж різних поколінь представлені в табл. 2.5.

Таблиця 2.5 – Порівняльна характеристика мереж стільникового зв'язку

Покоління	Технологія	Робоча частота (в Україні)	Швидкість прийому	Швидкість передачі
2G	CSD	900, 1800 MHz	14,4 кбіт/с	
2.5G	HSCSD		57,6 – 115 кбіт/с	
	GPRS		56 – 114 кбіт/с	
2.75G	EDGE		236 – 473,6 кбіт/с	
3G	W-CDMA	850, 1900 MHz	2 Мбіт/с	
	CDMA2000 1xEV-DO Rel.0	800 MHz	2,4 Мбіт/с	0,153 Мбіт/с
3.5G	HSPA (HSDPA, HSUPA)	850, 1900 MHz	14,4 Мбіт/с	5,76 Мбіт/с
	CDMA2000 1xEV-DO Rev.A	800 MHz	3,1 Мбіт/с	1,8 Мбіт/с
3.75G	HSPA+	850, 1900 MHz	42 Мбіт/с	11 Мбіт/с
	CDMA2000 1xEV-DO Rev.B	800 MHz	73,5 Мбіт/с	27 Мбіт/с
	CDMA2000 1xEV-DO Rev.C	800 MHz	280 Мбіт/с	75 Мбіт/с
	CDMA2000 1xEV-DO Rev.D	800 MHz	500 Мбіт/с	120 Мбіт/с
3.9G	LTE	800, 900, 1800,	326,4 Мбіт/с	172,8 Мбіт/с
4G	LTE Advanced	2600 MHz	1 Гбіт/с	
5G	NR FR1	410 – 7125 МГц	20 Гбіт/с	10 Гбіт/с
	NR FR2	24,25 – 71 ГГц		