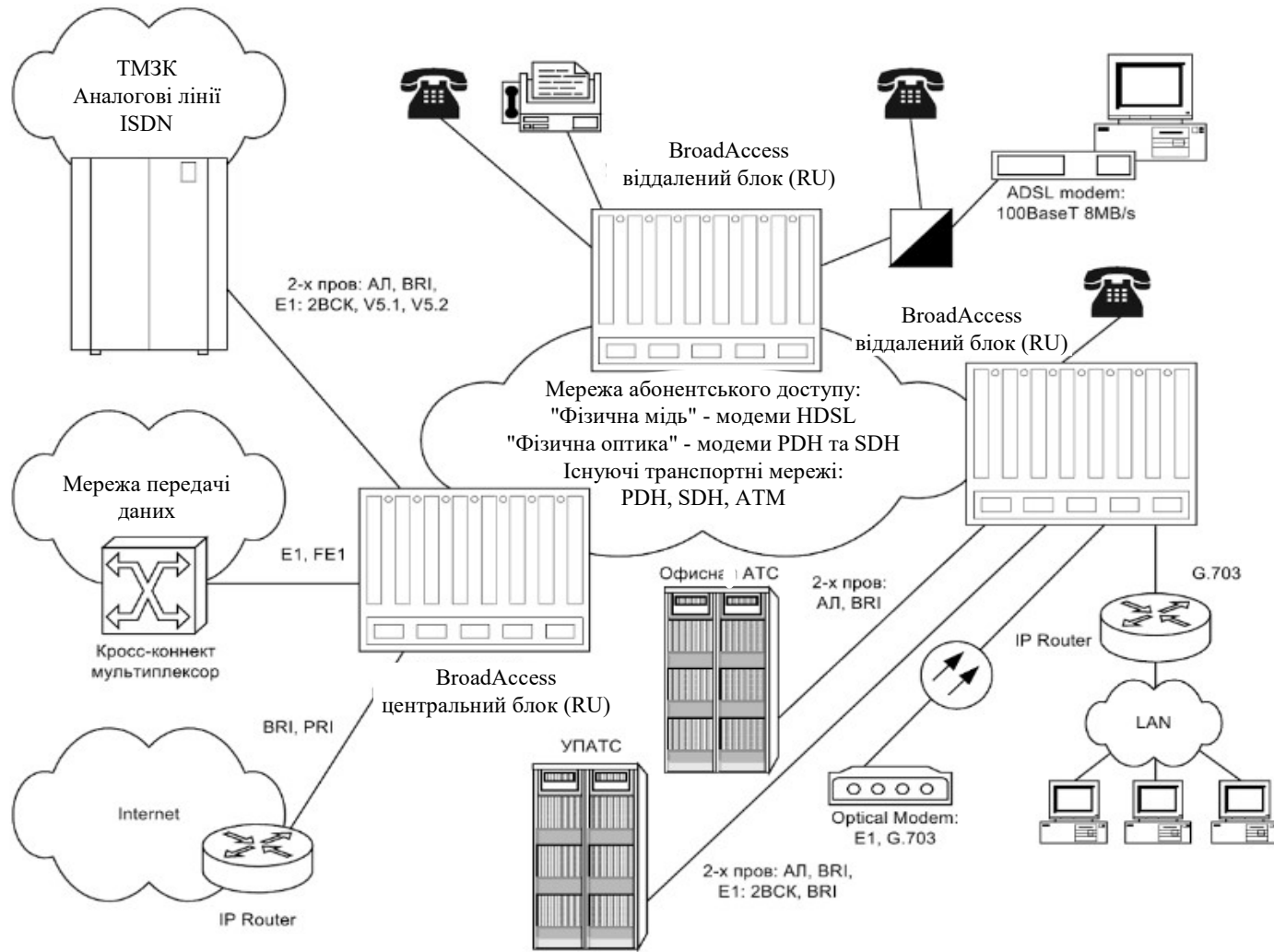


# **Оптичне волокно в абонентській лінії**

Суть технології абонентського доступу з використанням середовища передачі оптичного кабелю полягає в тому, що між центральним вузлом і віддаленими абонентськими вузлами створюється **пасивна оптична мережа PON (Passive Optical Network)**, що має **топологію «дерево»**.

У проміжних вузлах дерева розміщуються **пасивні оптичні розгалужувачі (спліттери)** - компактні пристрої, що не потребують електроживлення та обслуговування. Ця технологія відповідає всім сучасним та перспективним вимогам до мережі абонентського доступу.

Розумним поєднанням використання оптичних та металевих абонентських ліній відрізняється **обладнання абонентського доступу BroadAccess**, що підключається через інтерфейс V5. Успіх цього обладнання зумовлений комбінованими рішеннями для найрізноманітніших телекомунікаційних послуг від традиційної телефонії до можливостей мереж Ethernet та ATM/IP, потужною системою експлуатаційного керування через будь-яку мережу передачі даних, включаючи TCP/IP, X.25 та SNMP та різними xDSL-технологіями.



## Fiber to the x

Загальним терміном для широкосмугової мережі передачі даних, що використовує у своїй архітектурі волоконно-оптичний кабель для забезпечення всієї або частини абонентської лінії, є **Fiber To The X** або **FTTX** (**оптичне волокно до точки X**).

Цей термін охоплює кілька конфігурацій прокладки оптоволокна.

**FTTX** є в першу чергу фізичним рівнем передачі даних, проте водночас охоплює велику кількість технологій канального та мережевого рівня.

Залежно та умовами використання розрізняють кілька окремих конфігурацій **FTTX**.

## Види FTTH:

**FTTN (Fiber to the Node)** – **волокно до мережного вузла**. Оптоволокну закінчується у вуличній комунікаційній шафі, на відстані до 1-2 км від споживача, з подальшим прокладанням кабелю.

Територія, що обслуговується з однієї вуличної розподільної шафи, може включати кілька сотень абонентів. Якщо від розподільної шафи обслуговується територія з радіусом менше 300 метрів, то таке підключення буде відноситися до **FTTC/FTTK**.

**FTTN** дозволяє надавати широкопasmові послуги зв'язку, такі як високошвидкісний доступ до Інтернету. На ділянці від кінця оптоволокну до споживача послуг використовуються високошвидкісні протоколи передачі даних подібні до тих, що застосовуються при роботі по широкопasmовим кабелям зв'язку або деякі види xDSL. Швидкість передачі даних варіюється в залежності від протоколу і від того, наскільки близький абонент від розподільної шафи.

## Види FTTH:

**FTTC/FTTK (Fiber to the Curb/Fiber to the kerb)** – **волокно до мікрорайону, кварталу або групи будинків**. Варіант схожий на *FTTN*, але вулична шафа ближче до приміщень клієнта і знаходиться в межах 300 метрів – відстані для широкосмугових мідних кабелів або бездротової технології Wi-Fi.

Волокно до мікрорайону, кварталу чи групи будинків є системою зв'язку, суть якої полягає у запуску платформи на основі оптоволоконних ліній зв'язку, що обслуговує кількох абонентів. Кожен із цих абонентів з'єднаний з платформою коаксильним кабелем або кручений парою. Це може бути встановлюваний виносний пристрій або комунікаційна шафа або навіс.

Коли можливо, під час прокладання нового кабелю проводять відразу оптичний та мідний кабелі ethernet. Останній з'єднує районний вузол зв'язку з абонентом на швидкостях 100 Мбіт/с чи 1 Гбіт/с.

**Розгортання зв'язку з ЛЕП також відносять до FTTC.** Використання протоколу IEEE 1901 дозволяє по існуючих електромереж на швидкості до 1 Гбіт/с передавати дані від виносної районної комутаційної шафи до будь-якої розетки змінного струму в будинку - покриття мережею рівноцінно Wi-Fi з додатковою перевагою у вигляді одного кабелю для електроживлення та передачі даних.

**Основною відмінністю FTTC від FTTN або FTTP є місце розміщення комутаційної шафи.** У варіанті підключення FTTC комутація йде від несучого кабелю стовпа біля будинку клієнта, тоді як при FTTN комутаційна шафа далеко від абонента, а при варіанті FTTP комутація безпосередньо в зоні обслуговування клієнтів.

Вартість розгортання FTTC менша. У той же час цей варіант мережі має історично нижчий потенціал смуги пропускання, ніж FTTP.

## Види FTTH:

**FTTDP (Fiber To The Distribution Point)** — це волокно до точки розподілу.

Оптоволокно закінчується за кілька метрів від межі кінцевого споживача і останнє з'єднання кабелів відбувається в розподільчій коробці, яка називається точкою розподілу, що дозволяє надавати абонентам швидкість близьку до 1-гігабіту.

**FTTP (Fiber to the premises)** – волокно до приміщення. Це скорочення узагальнює терміни *FTTH* і *FTTB* або використовується у тих випадках, коли оптоволокно підведено туди, де одночасно є будинки та малий бізнес.

**FTTB (Fiber to the Building)** - волокно доходить до межі будівлі (фундамент будинку, підвальне приміщення або технічний поверх) з остаточним підключенням кожного житлового приміщення за допомогою альтернативних способів, як у конфігураціях *FTTN* або *FTTP*.

**FTTH (Fiber to the Home)** – волокно до будинку, квартири або окремого котеджу. Кабель доводиться до межі житлової площі, наприклад комунікаційної коробки на стіні житла.



## **FTTB**

У цій архітектурі волокно сягає комутаційного устаткування оператора. З обладнанням встановлюється єдиний термінал, а від нього до квартири або проводять мідний кабель або використовують бездротове з'єднання. У самій квартирі в основному є лише один кабель, який підключається до комп'ютера. Архітектура FTTB набула найбільшого поширення, оскільки при будівництві мереж на базі Ethernet найчастіше це єдина технічно можлива схема. Витрати на експлуатацію мережі FTTB нижче ніж FTTC, а пропускна спроможність вища.

## **FTTN**

У квартирі встановлюється термінал, як від терміналу кабель до комп'ютера. Перевагами архітектури FTTN є те, що з усіх варіантів FTTx вона забезпечує найбільшу смугу пропускання, це повністю стандартизований і найбільш перспективний варіант, рішення FTTN забезпечують масове обслуговування абонентів на відстані до 20 км від вузла зв'язку, вони дозволяють суттєво скоротити експлуатаційні витрати.

# Цифрові абонентські лінії DSL

Поняття *цифрової абонентської лінії DSL (digital subscriber line)* вперше з'явилося в контексті мережі ISDN. Пізніше воно трансформувалося в загальний термін для технологій, що реалізують передові методи формування та обробки сигналів з метою ефективно використовувати смугу пропускання абонентських ліній та отримати швидкості передачі, що значно перевищують ті, які можна досягти при використанні модемів.

Вперше технологію *цифрової абонентської лінії DSL* запропонувала компанія Bellcore у 1989 році як спосіб передачі «відео на вимогу» за стандартним абонентським кабелем. Пізніше основна сфера застосування DSL змістилася до забезпечення швидкісного доступу до Інтернету. Найпершим поширеним варіантом технології DSL стала **асиметрична цифрова абонентська лінія ADSL**.

Особливість ADSL, **асиметричність**, означає, що **швидкості передачі у напрямку до абонента й у напрямі від абонента різні**.

Існують **повношвидкісна ADSL (full-rate ADSL)** та **ADSL lite** - більш дешева та проста в реалізації технологія. Є ще ряд технологій DSL, тому вони часто позначаються як **xDSL**, де **x - прикметник, що характеризує конкретний тип DSL**. Згодом було запропоновано безліч варіантів DSL із різноманітними значеннями x. Деякі з них є власністю компаній, які їх винайшли, деякі стандартизовані на міжнародному рівні або перебувають у процесі стандартизації.

Всі ці технології – цифрові, і в них застосовуються складні методи компресії та мультиплексування, спрямовані на те, щоб отримати в умовах двопровідної абонентської лінії найкращі характеристики.

Кожна технологія має свою специфіку та потребує спеціального обладнання на обох кінцях лінії. **Більшість технологій xDSL підтримує передачу як мови, так і даних**, причому мовленню віддається перевагу, але дані передаються з відносно високою швидкістю. Деякі з цих технологій пов'язані із застосуванням централізованих розгалужувачів, званих також модемами або фільтрами, які включається лінія на стороні користувача. Мовні сигнали в діапазоні частот 0.3 - 3.4 кГц у разі відмови живлення від електромережі проходять через розгалужувачі, що отримують місцеве живлення, наскрізь, завдяки чому і в цій ситуації забезпечується телефонний зв'язок.

При включеному живленні **всі технології xDSL підтримують постійний доступ до Інтернету**, оскільки завжди існує з'єднання PC користувача через розгалужувач у його приміщенні з центральним розгалужувачем та мультиплексором доступу DSLAM, що сполучає лінію xDSL з мережею передачі даних, зокрема, з Інтернет. **На відміну від ISDN або аналогових модемів, xDSL при зв'язку з Інтернетом не вносить жодної затримки.**

## Види технологій DSL

Назва	Швидкість прийому/передачі	Максимальна відстань
ADSL (Asymmetric DSL)	24 Мбит/с / 1,4 Мбит/с	5,5 км
IDSL (ISDN DSL)	144 кбит/с	5,5 км
HDSL (High Data Rate DSL)	2 Мбит/с	4,5 км
IDSL (Symmetric DSL)	2 Мбит/с	3 км
VDSL (Very High Data Rate DSL)	62 Мбит/с / 26 Мбит/с	1,3 км
SHDSL (Symmetric High speed (DSL)	2,32 Мбит/с	7,5 км
UADSL (Universal Asymmetric DSL)	1,5 Мбит/с / 384 кбит/с	3,5 км

## Принцип роботи технології ADSL

**В ADSL доступна смуга пропускання каналу розподілена між вихідним і вхідним трафіком несиметрична.** Телефонна лінія використовує передачі голосу смугу частот 0,3...3,4 кГц. У ADSL нижня межа діапазону частот становить 26 кГц, верхня - 1,1 МГц. Ця смуга пропускання ділиться на частини - частоти від 26 кГц до 138 кГц відведено вихідному потоку даних, а частоти від 138 кГц до 1,1 МГц - вхідному. Смуга від 26 кГц до 1,1 МГц була обрана не випадково. У діапазоні частот ADSL коефіцієнт загасання майже залежить від частоти.

Передача до абонента ведеться на швидкостях до 10 Мбіт/с. У системах ADSL під службову інформацію відведено 25 % загальної швидкості, на відміну ADSL2, де кількість службових бітів у кадрі може змінюватися від 5,12 % до 25 %. Максимальна швидкість лінії залежить від ряду факторів, таких як довжина лінії, перетин та питомий опір кабелю.

Для **боротьби з негативним впливом сигналу DSL на мовний сигнал** у телефонну мережу безпосередньо в квартирі абонента встановлюється **фільтр низьких частот (частотний роздільник, Splitter)**, що пропускає до звичайних телефонів лише низькочастотну складову сигналу та усуває можливий вплив телефонів на лінію. Такі фільтри не потребують додаткового живлення, тому мовний канал залишається в строю при відключеній електричній мережі та у разі несправності обладнання ADSL.

При використанні ADSL дані передаються за загальною крученою парою в дуплексній формі. **Для того, щоб розділити потік даних, що передається і приймається, існують два методи:**

- **частотний поділ каналів (FDM)**
- **ехокомпенсація (Echo Cancellation, EC)**

## Технологія *ADSL lite*

**ADSL lite**, також звана **ADSL без розгалужувача, G.lite**, є спрощеною версією звичайної ADSL, що передбачає встановлення у користувача фільтра нижніх частот, який відокремлює аналоговий мовний сигнал в основній смузі частот від сигналів високошвидкісної передачі даних. Зазвичай це вимагає додаткових витрат на внутрішню проводку у приміщенні користувача.

У **G.lite** такого фільтра немає, і це може, взагалі кажучи, викликати негативні наслідки, наприклад, **поява пачок помилок при передачі даних у той момент, коли телефонує або знімається трубка**, що, однак, окупається значним спрощенням установки та монтажу системи. Технологія G.lite була стандартизована ІТУ-Т у Рекомендації G.992.2 як розширення специфікації ADSL



## **RADSL (Rate Adaptive DSL)** **цифрова абонентська лінія з адаптацією швидкості**

Технологія є модифікацією ADSL. Пристрої, що реалізують цю технологію, здатні адаптувати швидкість передачі в залежності від стану лінії передачі зв'язку.

ADSL-лінія працює на заявленій швидкості, або не працює взагалі. **Модеми RADSL, своєю чергою, підбирають максимально можливу у даних умовах швидкість передачі.**

При використанні технології RADSL з'єднання різних телефонних лініях може мати різну швидкість передачі. **Швидкість передачі даних вибирається при синхронізації лінії, під час з'єднання або за спеціальним сигналом, що надходить від станції.**

## Високошвидкісна цифрова абонентська лінія HDSL

Потреба технології HDSL виникла тоді, коли сильно зріс попит на пряме підключення трактів E1 до офісів корпоративних користувачів. Технологія ІКМ-передачі була розроблена досить давно (ще в 1960-х роках) та спочатку призначалася для застосування на міжстанційних ділянках міських телефонних мереж.

Основна **складність застосування цієї технології на абонентських парах полягала в тому, що системи ІКМ вимагали встановлення регенераторів через кожні 1000 – 1500 метрів**. Ця вимога не підходила для мережі абонентського доступу, яка проектувалася в припущенні, що кожна абонентська установка підключається до АТС по простій парі проводів, що не містить будь-яких електронних пристроїв, принаймні при довжині лінії до 5.5 км. **Головною ж вимогою до системи HDSL було забезпечення доступу до користувачів лініями без регенераторів**. Версія HDSL, стандартизована ІТУ-Т у Рекомендації G.991.1 у 1998 році, забезпечує передачу інформації зі швидкістю 2.048 Мбіт/с по двопровідним абонентським лініям завдовжки до 3.7 км без застосування регенераторів.

**Системи HDSL використовують або три, або, як і КМ, дві пари дротів.** Однак замість того, щоб використовувати кожен пару для передачі зі швидкістю 2.048 Мбіт/с в одному напрямку (одну пару - у прямому, а другу - у зворотному), **у технології HDSL кожна пара служить для передачі інформації в обидві сторони, але з меншою швидкістю (784 Кбіт/с при використанні трьох пар), що знижує потужність сигналу на високих частотах. Завдяки цьому і загасання набагато менше, і напруженість випромінюваного електромагнітного поля набагато нижча.** В результаті збільшується дальність передачі без застосування регенераторів і зменшуються спотворення.

HDSL може оперувати як швидкістю T1 (1,544 Мбіт/с) або E1 (2 Мбіт/с). Нижчі швидкості обслуговуються використанням 64 Кбіт/с каналів усередині T1/E1 пакета. Це зазвичай називається потоком T1/E1 і використовується для надання низькошвидкісних каналів користувачам. У таких випадках швидкість каналу буде повною (T1/E1), але абонент отримає лише обмежену швидкість 64 Кбіт/с (або кілька по 64 Кбіт/с) зі свого боку.

## **IDSL (цифрова абонентська лінія ISDN)**

**DSL-технологія, заснована на ISDN**, дозволяє забезпечити канал зв'язку передачі даних по існуючим телефонним лініям на швидкості 144 Кбіт/с, трохи більшої, ніж під час використання подвійного каналу ISDN зі швидкістю 128 Кбіт/с. Цифрова передача даних оминає телефонну компанію, яка обробляє аналогові сигнали.

## **SDSL (Symmetric Digital Subscriber Line)**

**Симетрична цифрова абонентська лінія** є **варіантом HDSL, в якому використовується лише одна пара кабелю**. SDSL забезпечує однакову швидкість передачі як у бік користувача, і від нього. Відомі дві модифікації цього обладнання: MSDSL (багатошвидкісна SDSL) та HDSL2, що мають вбудований механізм адаптації швидкості передачі до параметрів фізичної лінії.

## Симетрична високошвидкісна цифрова абонентська лінія SHDSL (Symmetric High-speed DSL)

**Одна з xDSL-технологій, що забезпечують симетричну дуплексну передачу даних по парі мідних провідників.** Використовується переважно з'єднання абонентів із вузлом доступу провайдера. Основні ідеї взяті із технології HDSL2.

За стандартом технологія SHDSL забезпечує симетричну дуплексну передачу даних зі швидкостями від 192 Кбіт/с до 2.3 Мбіт/с (з кроком 8 Кбіт/с) по одній парі проводів, відповідно від 384 кбіт/с до 4,6 Мбіт/с.м. . по двох парах.

При використанні **методів кодування TC-PAM128** (*Trellis Coded Pulse Amplitude Modulation - амплітудно-імпульсна модуляція із застосуванням коригувального коду*) стало можливим підвищити швидкість передачі до 15,2 Мбіт/сек за однією парою та до 30,4 Мбіт/сек за двома парами відповідно .

**Технологія SHDSL допускає застосування регенераторів**, що дозволяє операторам обслуговувати користувачів на відстані до 18.5 кілометрів від вузла. Для передачі мови в SHDSL-системі, на відміну від ADSL, немає необхідності мати POTS/ISDN-спліттер, що розділяє інформацію аналогових телефонів і терміналів ISDN, оскільки мовний сигнал сегментується так само, як і сигнал даних, передається як АТМ-пакет і знову збирається на іншому кінці лінії.

Новий стандарт відповідає Рекомендації G.991.2 ITU-T і є результатом тривалого шляху від ІКМ-30 (коди HDB-3, АМІ) до HDSL (код 2B1Q, CAP) та, нарешті, до SHDSL (кодування TC-PAM). Технологія SHDSL обрана ІТУ-Т як єдиний стандарт для високошвидкісної симетричної передачі по одній парі.

*Варіанти SHDSL, що використовують одну пару проводів, забезпечують суттєвий виграш за апаратними витратами та, відповідно, надійності виробу, порівняно з двопарними варіантами.*

## Універсальний ADSL UADSL (Universal ADSL)

**Технологія є спрощеним аналогом ADSL та орієнтована на абонентів квартирного сектора.** Обладнання цієї технології дешевше та простіше в установці.

**Максимальні швидкості обміну даними становлять:**

- 1,5 Мбіт/с у напрямку до абонента та 384 кбіт/с у зворотному напрямку при довжині абонентської лінії до 3,5 км;
- 640 кбіт/с у напрямку до абонента та 196 кбіт/с у зворотному напрямку при довжині абонентської лінії до 5,5 км.

## **Понадвисокошвидкісна цифрова абонентська лінія VDSL ( Very-high data rate Digital Subscriber Line)**

**Порівняно з ADSL, VDSL має значно більшу швидкість передачі даних:**

- від 13 до 52 Мбіт/с від мережі до користувача та до 11 Мбіт/с від користувача до мережі при роботі в асиметричному режимі;
- максимальна пропускна здатність лінії VDSL під час роботи у симетричному режимі становить приблизно 26 Мбіт/с у кожному напрямі передачі.

Залежно від необхідної пропускної спроможності та типу кабелю довжина лінії VDSL лежить у межах від 300 метрів до 1,3 км.

**Надання користувачеві таких високих пропускних здібностей можливе лише у змішаній мідно-оптичній мережі доступу.**



## **Понадвисокошвидкісна цифрова абонентська лінія 2 VDSL2 ( Very-high data rate Digital Subscriber Line 2)**

Технологія доступу, що використовує існуючу інфраструктуру мідних проводів, спочатку розгорнута для ТМЗК. Мережа може бути розгорнута з центральних офісів, з волокном, що живляться кабінетів, розташованих біля споживчого приміщення, або в будівлях.

**VDSL2 є найновішим стандартом xDSL широкосмугових провідних комунікацій.** Призначений для підтримки широкого розгортання послуг Triple Play, таких як **передача голосу, відео, даних, телебачення високої чіткості (HDTV)** і т.д. VDSL2 дозволяє операторам та постачальникам послуг гнучко та економічно ефективно модернізувати існуючі xDSL інфраструктури.

Протокол був стандартизований як ITU G.993.2 17 лютого 2006 року.

ITU-T G.993.2 (VDSL2) є розширенням G.993.1 (VDSL), що дозволяє передавати асиметричний та симетричний трафік на кручений парі з сумарною швидкістю до 200 Мбіт/с з використанням смуги пропускання до 30 МГц.

Швидкість VDSL2 починає швидко падати з теоретичного максимуму 250 Мбіт/с до 100 Мбіт/с з відривом 0.5 км і до 50 Мбіт/с з відривом від 1 км. При цьому падіння швидкості по відношенню до відстані відбувається значно повільніше, ніж VDSL.

**Великий радіус дії – одна з переваг VDSL2.** Системи LR-VDSL2 підтримують швидкість приблизно 1-4 Мбіт/с з відривом 4-5 км, поступово збільшуючи бітрейт до симетричних 100 Мбіт/с, оскільки відстань до абонентської лінії скорочується. Це означає, що VDSL2-системи, на відміну від VDSL1, не обмежуються лише короткими місцевими лініями або MTU/MDUs, але можуть бути використані для середніх заявлених діапазонів.

## **Лектор:**

Старший викладач кафедри Електроніки и комп'ютерної техніки Сумського державного університету

**Горячев О. Є.**

## **В лекції використано матеріали авторів:**

**Гольдштейн Б.С., Дузь В. І.**