

УДК 621.39

*В процесі розгортання послуг Triple Play Service на існуючій мережі абонентського доступу виникає ряд проблем, що перш за все зв'язані із недостатньою пропускнуою спроможністю абонентської лінії. В даній статті розглядаються методи та послідовність етапів оцінки швидкісного потенціалу з'єднань стандарту ADSL2+*

*Ключові слова: мережа абонентського доступу, швидкісний потенціал, абонентська лінія*

*В процессе разворачивания услуг Triple Play Service на существующей сети абонентского доступа возникает ряд проблем, что в первую очередь связаны с недостаточной производительностью абонентской линии. В данной статье рассматриваются методы и последовательность этапов оценки скоростного потенциала для соединений стандарта ADSL2+*

*Ключевые слова: сеть абонентского доступа, скоростной потенциал, абонентская линия*

*In the process of development Triple Play Service on the existent subscriber access network there is a row of problems which are foremost related to the insufficient carrying capacity of subscriber line. Estimation methods of speed potential ADSL2+ connections are examined in this article*

*The keywords: subscriber access network, speed potential, subscriber line*

# МЕТОДИКА ОЦІНКИ ШВИДКІСНОГО ПОТЕНЦІАЛУ З'ЄДНАНЬ ADSL2+ ДЛЯ НАДАННЯ ПОСЛУГ TRIPLE PLAY SERVICE

**О.В. Бриндзій**

Аспірант

Кафедра телекомунікаційних систем

Харківський національний університет радіоелектроніки

пр. Ленина, 14, м. Харків, Україна, 61174

Контактний тел.: (057) 702-13-20

E-mail: v5-okc@bigmir.net

**В.С. Крикун**

Начальник центру телекомунікаційних послуг

БАТ «Укртелеком»

Контактний тел.: (057) 700-26-23

## 1. Постановка задачі

Сучасні мережі доступу – це сукупність апаратних та програмних комплексів, дротових, бездротових і оптичних каналів зв'язку. При беззаперечних перевагах бездротових та оптичних каналів, кабелі з металічними жилами ще довго будуть залишатися основним середовищем передачі даних до кінцевого користувача, так як використовують уже існуючу інфраструктуру ліній зв'язку. Створення нових ліній, як правило, оптичних потребує значних фінансових затрат і є доцільним лише при дуже коротких строках окупності за рахунок надання послуг та сервісів. В процесі організації послуг Triple Play Service по існуючим мережам доступу з технологією ADSL2+, виникає ряд проблем, що зв'язані зі збільшенням швидкості для передачі відео потоків. При оцінці необхідного швидкісного потенціалу слід враховувати параметри режиму передачі відео, такі як тип кодування, дозвіл, частота кадрів [1]. Тому актуальною є задача методики оцінки швидкісного потенціалу з'єднань ADSL2+ для надання послуг Triple Play Service.

## 2. Зміст методики та етапи проведення

Для вирішення задачі оцінки швидкісного потенціалу можуть використовуватись аналітичні методи, математичне моделювання, експериментальні дослідження та комбінований метод, що включає вище згадані методи у відповідній послідовності. Системи сімейства ADSL базуються на основі DMT (Discrete Multitone) модуляції, що використовує дискретне перетворення Фур'є для формування широкосмугового сигналу із багатьох вузько смугових QAM сигналів [2].

Тому загальна швидкість передачі даних в каналі представляється як сума окремих вузько смугових каналів:

$$C = \sum_{k=K_0}^{K_1} C_k = \frac{1}{T} \sum_{k=K_0}^{K_1} \log \left( 1 + \frac{SNR_k}{\Gamma} \right), \quad (1)$$

де  $T$  – період передачі символу даних;  $\Gamma$  – середнє значення співвідношення сигнал/шум (ССШ) в підканалі;  $\log$  – теоретична межа модуляції Шенона для QAM, при заданій ймовірності помилки.

Середнє значення ССШ в під каналі представляється як відношення спектрів сигналу та шуму:

$$\text{SNR}_k = \frac{S_p(f_k)}{S_n(f_k)}, \quad (2)$$

де  $f_k$  – центральна частота кожного вузько смугового каналу;  $S_p$  – потужність сигналу;  $S_n$  – потужність шуму. За допомогою формул (2), (3) можна здійснювати оцінку ідеальних DMT систем. Але при цьому не враховуються особливості реалізації DMT, що включають мінімальний та максимальний розмір сузір'я кодувальника, ефект перетворення Фур'є, та різного роду збитковості в процесі формування кадру передачі даних. Крім цього велике значення мають характеристики лінії передачі, втрати, що вносяться лінією, фоновий та імпульсний шум, перехідні завади від сусідніх систем, а також довжина лінії. Вище наведені параметри являються ключовими в процесі передачі даних між передавачем та приймачем як у висхідному так і у низхідному напрямках і безпосередньо діють на сигнал передавача на відрізок лінії. Затухання сигналу передачі, що залежить від частоти, може бути обчислене за допомогою моделі лінії передачі у вигляді чотириполосника (рис. 1а), для якого складається матриця параметрів ABCD [3].

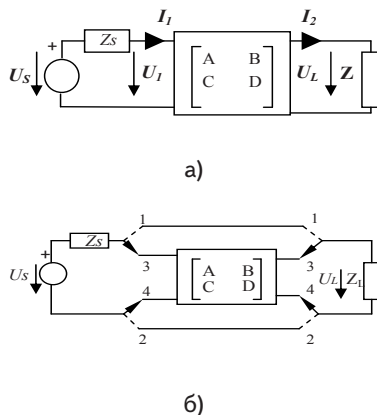


Рис. 1. Модель абонентської лінії

$$\begin{bmatrix} U_1 \\ I_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix} \begin{bmatrix} U_2 \\ I_2 \end{bmatrix}, \quad (3)$$

де  $A = \frac{U_1}{U_2} \Big|_{I_2=0} = \cosh(\gamma l)$ ,  $B = \frac{U_1}{I_2} \Big|_{U_2=0} = Z_0 \sinh(\gamma l)$ ,  $C = \frac{I_1}{U_2} \Big|_{U_2=0} = \frac{1}{Z_0} \sinh(\gamma l)$ ,  $D = \frac{I_1}{I_2} \Big|_{U_2=0} = \cosh(\gamma l)$ . Значення A, B, C, D залежать тільки від другорядних параметрів лінії, таких як константа поширення  $\gamma$  і не залежать від опору генератора джерела  $Z_s$  та вихідного опору навантаження  $Z_L$ .

$$\gamma = \alpha + j\beta = \sqrt{(R + jL\omega)(G + jC\omega)}. \quad (4)$$

де R - опір кабелю на одиницю довжини; C - ємність кабелю на одиницю довжини; L - індуктивність кабелю на одиницю довжини.

Дана модель корисна при дослідженні ліній, що складаються із неоднорідних ділянок кабелю з різними електричними характеристиками, таким чином для кожного відрізка складається своя матриця параметрів ABCD. Результуюча матриця матиме вигляд:

$$\begin{bmatrix} U_1 \\ I_1 \end{bmatrix} = \prod_{i=1}^n \begin{bmatrix} A_i & B_i \\ C_i & D_i \end{bmatrix} \begin{bmatrix} U_{n+1} \\ I_{n+1} \end{bmatrix}. \quad (5)$$

Передаточну функцію лінії можна виразити як:

$$H = \frac{U_L}{U_S}, \quad (6)$$

де  $U_L$  - напруга на елементі навантаження. Напругу генератора джерела можна визначити за формулою:

$$U_S = Z_s I_1 + U_1, \quad (7)$$

де  $Z_s$  - опір генератора напруги. Таким чином згідно формули (6):

$$\begin{bmatrix} U_1 \\ I_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix} \begin{bmatrix} U_L \\ Z_L \end{bmatrix}, \quad (8)$$

З врахуванням формул (8), (9):

$$H = \frac{Z_L}{AZ_L + B + Z_s(CZ_L + D)}. \quad (9)$$

З метою вимірювань може бути важко отримати доступ до напруги генератора джерела  $U_S$ . Таким чином, з технічних міркувань в телекомунікації, замість передавальної функції, віддається перевага використанню концепції втрат, що вносяться лінією. Даний принцип можна зрозуміти з рис. 1б, при положенні перемикачів 1, 2 з топології вимикається модель чотириполосника і елементи навантаження  $Z_L$  і  $Z_s$  з'єднанні напряму, в положенні 3, 4 в схему повертається чотириполосник. Таким чином, втрати, що вносяться, визначається як відношення потужності на елементі  $Z_L$  до ввімкнення у схему чотириполосника і потужності – після ввімкнення:

$$\text{IL} = 10 \log_{10} \frac{P_{\text{before ins.}}}{P_{\text{after ins.}}}. \quad (10)$$

Якщо  $U_{L1}$  - напруга на елементі  $Z_L$  до ввімкнення чотириполосника, а  $U_{L2}$  - після ввімкнення, то формулу втрат, що вносяться можна представити як:

$$\text{IL} = 10 \log_{10} \frac{\text{Re} \left( \frac{|U_{L1}|^2}{Z_L} \right)}{\text{Re} \left( \frac{|U_{L2}|^2}{Z_L} \right)} = 20 \log_{10} \left| \frac{U_{L1}}{U_{L2}} \right|. \quad (11)$$

В термінах матриці чотириполосника:

$$\text{IL} = -20 \log_{10} \left| \frac{Z_L + Z_s}{AZ_L + B - Z_0(CZ_L + D)} \right|. \quad (12)$$

Даний алгоритм реалізований в програмному продукті xDSLsimu [3]. Таким чином, **на першому етапі** для заданої топології, марки та довжини кабелю, кількості і типу сусідніх систем, визначається швидкісний потенціал теоретичної абонентської лінії (АЛ). Моделювання проводиться на рівні PMD(Physical Media Dependence), багаторівневої еталонної моделі стеку протоколів передачі xDSL систем, що приведена на рис. 2, з врахуванням базової моделі накопичення перехідних завад та фонових шумів [4] Дамо коротку характеристику трьом нижнім рівням моделі. PMD – це рівень, що залежить від середовища передачі і характеризується модуляційними характеристиками та параметрами лінії передачі. PMS-TC(Physical Media Specific-Transmission Convergence) – pi-

вень конвергенції спеціального фізичного середовища передачі, основна задача якого полягає в забезпеченні мультиплексування і транспортування декількох каналів інформації та формування кадру системи передачі. TPS-TC (Transport Protocol Specific-Transmission Convergence) – рівень сходження передачі спеціального транспортного протоколу, основною задачею якого є формування носіїв кадрів. Однак недоліком даної математичної моделі є те, що характеристики реальної АЛ можуть значно відрізнятись внаслідок дії різного роду факторів навколишнього середовища та часу. Крім того, технічні характеристики кабелів, що використовуюються в даному пакеті, не відповідають характеристикам кабельних структур на території нашої держави.

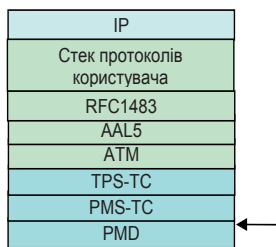


Рис. 2. Багаторівнева еталонна модель стеку протоколів передачі систем xDSL

На другому етапі проводиться експериментальне дослідження реальної АЛ, для одержання електричних параметрів кабелю та шумів на лінії, що необхідні для подальшої оцінки швидкісного потенціалу. Вимірювання можуть проводитись за допомогою сучасних вимірювальних систем, в даному випадку на базі платформи SunSet MTT з модулями тестування АЛ xDSL в складі 25-го модуля (Controller) і 26-го – (Responder), і дають можливість отримати для ділянки АЛ, що досліджується, амплітудно-частотну характеристику (втрати, що вносяться), оцінку перехідних завад на ближньому (NEXT) та дальньому (FEXT) кінці, фоновий шум. Схему підключення вимірювальних приладів та експериментальний макет приведено на рис. 3.

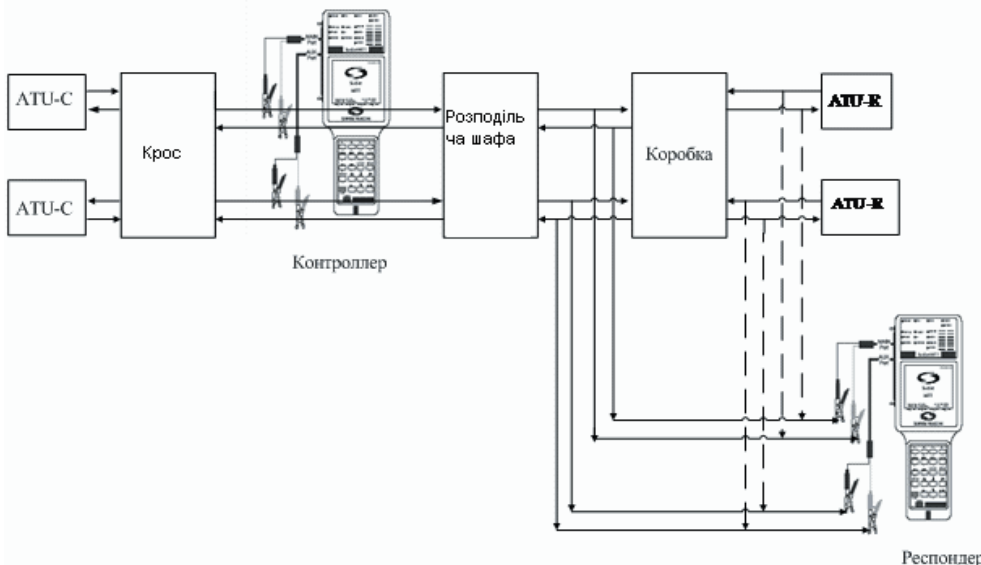


Рис. 3. Експериментальний макет та схема підключення обладнання

На третьому етапі в математичній моделі АЛ замінюються блоки втрат, що вносяться лінією та фоновий шум, на значення які були отримані на попередньому етапі дослідження. Після цього проводиться оцінка швидкісного потенціалу реальної АЛ для стандарту ADSL-G 992.5-Annex-A [5], спектральна щільність потужності (PSD – Power Spectral Density) якого у низхідному та висхідному напрямках приведена на рис. 4, з урахуванням топології, що приведена на рис. 5 та вище згаданих параметрів.

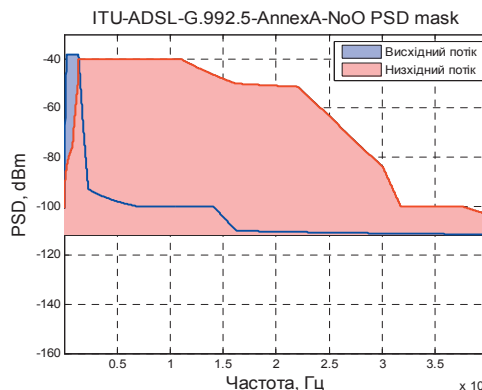


Рис. 4. Спектральна щільність потужності передавача стандарту ADSL2+

FSAN-UKRTELEKOM Топологія: Крос АТС->Шафа->Коробка

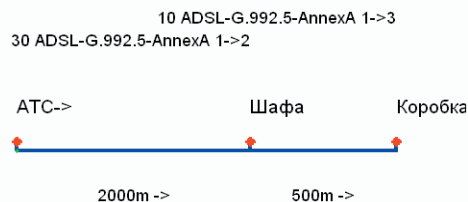


Рис. 5. Топологія АЛ, що досліджується

Результати моделювання на відрізку топології крос АТС – розподільча шафа для висхідного та низхідного напрямів теоретичної та реальної АЛ приведені на рис. 6, 7 відповідно. Отримані дані швидкісного потенціалу зведені в табл. 1. Результати моделювання на відрізку топології крос АТС – абонентська коробка приведені на рис. 8, 9 відповідно. Лінія 1 на рис. 6, 7, 8, 9 відповідає спектральній щільності потужності передавача у висхідному напрямі на прийомній стороні, лінія 2 – загальному

шуму. Лінії 3, 4 – спектральній щільності потужності та шуму у низхідному напрямі відповідно. Дані швидкісного потенціалу зведені в табл. 2.

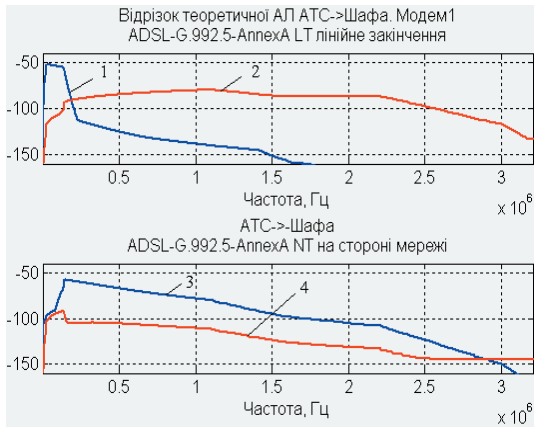


Рис. 6. PSD та загальний шум на відрізку топології ATC - абонентська шафа теоретичної АЛ

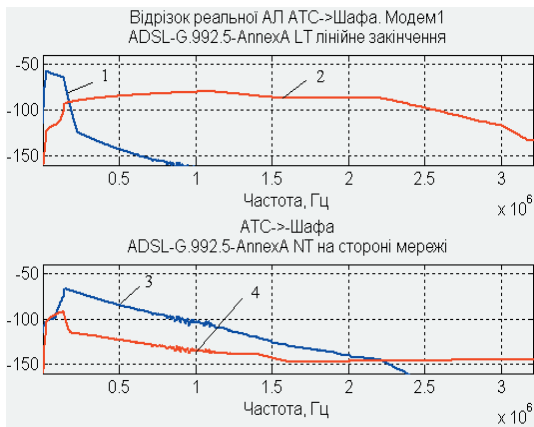


Рис. 7. PSD та загальний шум на відрізку топології ATC - абонентська шафа реальної АЛ

Таблиця 1

Результати моделювання на відрізку топології крос ATC-розподільча шафа

Теоретична АЛ		Реальна АЛ	
Швидкісний потенціал у низхідному напрямі, Мбіт/с.	Швидкісний потенціал у висхідному напрямі, Мбіт/с.	Швидкісний потенціал у низхідному напрямі, Мбіт/с.	Швидкісний потенціал у висхідному напрямі, Мбіт/с.
7.012	1.324	6.876	1.280

Таблиця 2

Результати моделювання на відрізку топології крос ATC-абонентська коробка

Теоретична АЛ		Реальна АЛ	
Швидкісний потенціал у низхідному напрямі, Мбіт/с.	Швидкісний потенціал у висхідному напрямі, Мбіт/с.	Швидкісний потенціал у низхідному напрямі, Мбіт/с.	Швидкісний потенціал у висхідному напрямі, Мбіт/с.
6.928	1.216	6.036	1.108

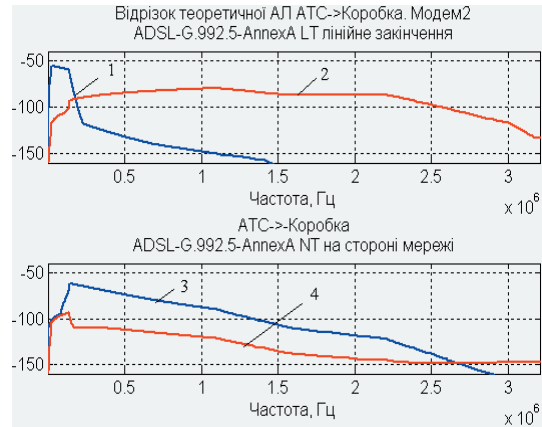


Рис. 8. PSD та загальний шум на відрізку топології ATC - абонентська коробка теоретичної АЛ

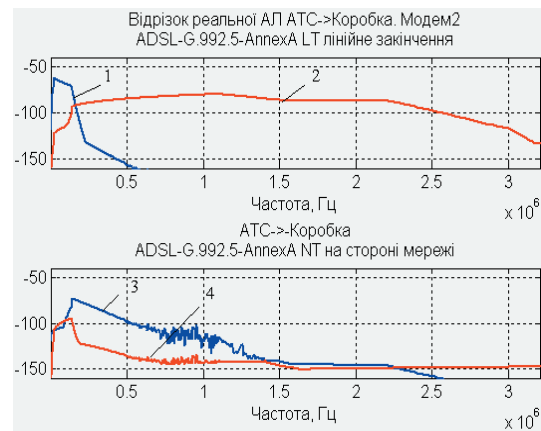


Рис. 9. PSD та загальний шум на відрізку топології ATC - абонентська коробка реальної АЛ

Заключний етап передбачає аналіз та порівняння результатів моделювання на відповідних ділянках АЛ. У випадку недостатнього швидкісного потенціалу, включає комплекс заходів по виявленню та усуненню проблемних ділянок або факторів, що негативно впливають на параметри лінії передачі, після чого, здійснюється прийняття рішень відносно надання послуги Triple Play Service.

### Висновки

Аналізуючи дані, що отримані в процесі моделювання, слід відмітити: на відрізку топології крос ATC – розподільча шафа, характеристики сигналу передавача на прийомній стороні для теоретичної та реальної АЛ в обох напрямках не значно відрізняються і, як наслідок, розбіжність у досяжному швидкісному потенціалі не велика. При збільшенні довжини топології (в модель додається відрізок розподільча шафа – абонентська коробка), на загальному відрізку топології крос ATC – абонентська коробка, спостерігається різке погіршення характеристик в спектрі частот вище 1.3 МГц. низхідного напрямку реальної АЛ (рівень сигналу передавача знаходиться на рівні шуму) і, як наслідок, розбіжність у досяжному швидкісному потенціалі зростає.

Особливістю розглянутої методики являється комплексне використання основних методів оцінки швидкісного потенціалу xDSL систем, зокрема ADSL2+, що дозволяє зменшити вимірювальні операції на проблемних ділянках і тим самим скоротити фінансові та часові затрати в процесі розгортання та надання послуг Triple Play Service. Одночасне поєднання експериментальних досліджень та математичного моделювання дає змогу перевірити достовірність отриманих результатів та прийнятих рішень.

#### Література

1. Крикун В.С., Ощепков М.Ю., Бриндзий А.В. Методика оцінки якості існуючих провідних ліній зв'язу

// Радиотехника: Всеукр. межвед. науч.-техн. сб. – 2010. – Готовится к печати.

2. Golden P., Dedieu H., Jacobsen K. Fundamentals of DSL Technology. – 2006. – P 56-59, 122.
3. FTW's xDSL simulation tool [http://xDSL.ftw.at/xDSLsimu/index.html.]
4. Бриндзий О.В. Оцінка характеристик мереж абонентського доступу на основі моделі структури та взаємодії стеку протоколів технології xDSL // Радиотехника: Всеукр. межвед. науч.-техн. сб. – 2009. – № 153. – С. 81-91.
5. ITU-T G.992.5. Приемопередатчики асимметрической цифровой абонентской линии (ADSL) – с расширенной полосой ADSL2 (ADSL2+). 01/2005. – С. 53-58.

УДК 621.391

## ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТЕЛЕФОННОЙ СЕТИ ОБЩЕГО ПОЛЬЗОВАНИЯ НА ПЕРВЫХ ЭТАПАХ СОЗДАНИЯ СЕТИ NGN

**Д. В. Агеев**

Кандидат технических наук, доцент  
Кафедра телекоммуникационных систем  
Харьковский национальный университет  
радиоэлектроники  
пр. Ленина, 14, г. Харьков, Украина, 61166  
Контактный тел.: (057) 705-25-46  
E-mail: dm\_ageyev@ukrpost.net

**С. А. Кадурин**

Инженер 1 категории  
отдела планирования и развития сетей  
ХФ ОАО Укртелеком  
ул. Иванова, 7/9, г. Харьков, Украина, 61002  
E-mail: skadurin@ukrtelecom.ua

*У статті розглянуті основні етапи розвитку ТФОП, описані причини зміни концепцій побудови мережі, що викликали необхідність; побудована математична модель завдання синтезу накладеної мережі передачі потоків E1 обслуговуючих телефонні виклики*

*Ключові слова: ТМЗК, NGN, синтез, потік, програмний комутатор*

*В статье рассмотрены основные этапы развития ТФОП, описаны причины вызвавшие необходимость изменения концепций построения сети; построена математическая модель задачи синтеза наложенной сети передачи потоков E1 обслуживающих телефонные вызовы*

*Ключевые слова: ТФОП, NGN, синтез, поток, программный коммутатор*

*The basic stages of development of TFOP are considered in the article, reasons are described causing a necessity changes of conceptions of construction of network; the mathematical model of task of synthesis of the imposed network of transmission of streams of E1 is built attendant dialups*

*Key words: PSTN, NGN, syntheses, flow, SoftSwitch*

#### Введение

В конце XX столетия созрела необходимость в создании интегрированных и мультисервисных сетей связи, которые обеспечивали бы возможно предостав-

ления множество телекоммуникационных услуг на базе единой сети.

Сформировалась идея построения сети связи следующего поколения, известная по аббревиатуре NGN (Next Generation Network).