

УДК 621.391

## ПЛАНУВАННЯ МЕРЕЖ АБОНЕНТСЬКОГО ДОСТУПУ xDSL



[О.В. БРИНДЗІЙ](#),

[Д.В. АГЕСЬ](#)

Харківський національний  
університет радіоелектроніки

*Запропоновано метод планування мереж абонентського доступу xDSL, який дозволяє визначити оптимальний сценарій побудови мережі FTTx та місця встановлення обладнання DSLAM. Запропонований метод реалізовано на ПЕОМ та проведено дослідження його ефективності.*

*We propose xDSL subscriber access networks planning method, which allows determine the optimal scenario of building FTTx network and DSLAM equipment installation places. The proposed method is implemented on a PC and a study of its effectiveness.*

*Предложен метод планирования сетей абонентского доступа xDSL, который позволяет определить оптимальный сценарий построения сети FTTx и места установки оборудования DSLAM. Предложенный метод реализован на ПЭВМ и проведено исследование его эффективности.*

### Вступ

Розвиток телекомунікацій досягнув того рівня, за яким неминуче повинні піти якісні зміни у підходах до побудови телекомунікаційних мереж. У результаті розвитку інформаційних технологій з'явився ринок нових інфокомунікаційних послуг, що відображає процеси формування інформаційного суспільства. Реалізація цих послуг пов'язана з використанням принципів розподіленої обробки інформації, застосуванням ширококутного доступу до високопродуктивної пакетної телекомунікаційної мережі і мультимедійного термінального устаткування. Впровадження мультисервісних мереж абонентського доступу (МАД) на базі концепції NGN забезпечує значне підвищення техніко-економічної ефективності сучасних телекомунікацій не тільки за рахунок впровадження нових послуг, що мають споживчий попит, але й за рахунок формування «гнучкої нижньої границі» економічної ефективності при нарощуванні мережі.

Одним з основних завдань при побудові сучасних цифрових мереж зв'язку є створення високошвидкісних каналів. Розв'язання цього завдання для мереж абонентського доступу натрапляє на ряд труднощів, так як існує пряма залежність швидкості передачі від довжини лінії на основі мідної витой пари, кількості працюючих систем в кабелі та характеристик абонентської лінії в цілому.

Одним з перспективних напрямків по створенню високошвидкісних каналів в мережах абонентського доступу є використання ідеології «оптика до точки x» (FTTx), що передбачає заміну мідної частини АЛ оптичним кабелем (ОК) та просування концентратора доступу у напрямку до абонента. Сучасні мультиплексори доступу до цифрової абонентської лінії, які називають DSLAM, мають досить високі технічні характеристики: швидкість передачі даних на вході може досягати декількох Гбит/с; підтримка широкого спектру технологій доступу до цифрової абонентської лінії

(ЦАЛ); простота реалізації послуг потрійної гри. Важливою перевагою є також те, що при розгортанні системи абонентського доступу (САД) використовується існуюча мідна лінія телефонної мережі загального користування (ТфЗК).

Оскільки МАД є протяжними спорудженнями, що покривають значні території, а отже – дорогими об'єктами, то в процесі їхнього планування та проектування слід керуватися методами теорії оптимізації, орієнтованими на мінімізацію зазначених витрат. У той же час такі методи повинні включати оцінку й прогнозування показників якості проєктованих мереж, для того щоб надмірне зниження витрат на будівництво не приводило до побудови мереж, що не забезпечують необхідної якості надаваних абонентам послуг. У даному контексті представляється актуальною розробка відповідних методів планування МАД.

## **I. Методи планування мереж доступу**

Розгортання мереж доступу з обґрунтованою вартістю вимагає планування та застосування добре організованих відповідним чином рішень. У загальному випадку існує два підходи до планування мережі. Класичний підхід, що використовується для планування вузькосмугових мереж і базується на прогнозуванні вимог та розмірності мережі для мінімізації необхідних ресурсів. Даний підхід орієнтований на мінімізацію інвестицій, що необхідні для забезпечення заданої величини ресурсів, і використовується у випадках, коли дані, що передаються, і число користувачів зростають поступово.

Нові транспортні технології, такі як DWDM, роблять оптимізацію ресурсів менш критичною в плані вибору технології та забезпеченні пропускної здатності на фоні помірної рівності вартості. З іншої сторони, всезростаюча популярність Інтернету та додаткових сервісів та послуг призводить до значного росту трафіка на короткому періоді часу, що в свою чергу веде до невизначеності у прогнозуванні вимог і таким чином обмежує використання традиційного планування, так як у результаті мережа доступу може бути не готова до розширення внаслідок недооцінки вимог [1-2].

Другий підхід полягає у розгортанні мережі, що містить додаткові надлишкові ресурси, що забезпечать безшовну модернізацію в майбутньому, але вже на фоні вищих початкових затрат.

Планування існуючої мережі може включати комбінацію вищезгаданих для знаходження найкращих рішень, що відповідають потребам та стратегії оператора.

Планування повинно торкатись аспектів розвитку мережі, тому даний вид діяльності можна розділити на короткострокове планування КСП, середньострокове планування ССП і довгострокове планування ДСП. КСП здійснюється у відповідності до існуючих потреб і в загальному випадку застосовується для рішень, що характеризуються коротким часом впровадження, наприклад бездротовий доступ. При СП береться до уваги модернізація мережі в контексті розширення ємності вузлів та ланок мережі. Метою ДСП є проектування та визначення розмірності мережі на тривалому періоді часу [3].

Зв'язок між КСП, ССП та ДСП надзвичайно важливий у процесі розвитку мережі в цілому. Забезпечити зв'язність на практиці важко, тому оператори часто використовують більш прагматичні і спрощені підходи для проектування мережі.

Процес планування мережі доступу значно залежить від технології, архітектури, запропонованої функціональності мережі та стратегій розміщення ресурсів. Чим більше доступних технологічних рішень на ринку, тим більше опцій використовується для планування доступу, що в свою чергу робить цей процес більш складним.

## **II. Математичні засади планування мереж доступу**

У загальному випадку можна математично сформулювати більшість проблем оптимізації. Дане формулювання повинно використовувати відповідну модель мережі, необхідні спрощення та загальні пропозиції. На практиці важко знайти оптимальні вирішення задач, однак отримані рішення можуть бути наближені до оптимальних. Можливість застосування специфічної методики рішення близько зв'язана із розмірністю проблеми, що залежить від типу та числа вхідних змінних і обмежень та типу функції, що використовується і мінімізується в процесі оптимізації [4]. Деякі вхідні змінні будуть змінюватись на довгостроковому або середньостроковому періоді. Очевидно, що процес планування є комплексним, тому рекомендується:

- спрощувати проблеми планування через зниження числа вхідних параметрів і створення відповідних моделей мережі;
- приймати рішення, що наближено до оптимального.

Вибір відповідного підходу є нетривіальною задачею і не може бути здійснений автоматично. Кожна проблема може бути унікальною і вимагати від оператора знань всієї методики та інструментарію планування. Деякі рішення доступу дозволяють використання тільки специфічних категорій алгоритмів планування.

Для рішення задач оптимізації можуть бути застосовані наступні класи алгоритмів:

- математичне програмування,
- імітація відпаду і її варіант імітації розподілу, що застосовуються до проблем планування ємності мережі;
- спрощений евристичний алгоритм – даний алгоритм застосовується для пониження складності проблеми багатокомпонентного потоку. Евристичний алгоритм базується на виділенні практичних закономірностей шляхом експертного рішення специфічної проблеми. Ці правила можуть і не мати математичного обґрунтування, а підтверджуватися практичними результатами. Детальне описання алгоритмів можна знайти в роботах [5-8].

## **III. Загальний підхід до планування мережі доступу**

Процес планування МАД – це процес, що охоплює багато початкових допусків та обмежень. Деякі з них базуються на стратегічних припущеннях, інші відносяться до існуючої інфраструктури та технологічних рішень, що вибрані пріоритетними. Такі рішення, навіть якщо й відносяться до одного класу, можуть значно відрізнятись в технічних деталях і параметрах, що повинні враховуватись в процесі планування. В

загальному, DSL оператори вже мають велику встановлену базу ADSL, однак наступні аспекти спонукають в напрямку міграції до провідних DSL технологій та рішень:

- 1) низькі затрати на підвищення пропускної здатності;
- 2) низькі затрати на збільшення протяжності;
- 3) зменшення витрат на експлуатацію та технічне обслуговування;
- 4) низькозатратне впровадження нових сервісів та послуг.

Вибір стратегії розвитку залежить від набору різного роду локальних параметрів та вимог користувача до надання послуг і повинен бути орієнтований на майбутнє розширення. Для зменшення високих початкових інвестицій при розгортанні оптичного кабелю в сегменті останньої милі за сценарієм FTTx (Fiber To The x) – «оптика до точки x», використовують рішення мідь/оптика, що забезпечують безшовну міграцію. В рамках даної концепції мультиплексори доступу до цифрової абонентської лінії (DSLAM) просуються у напрямі користувача і підключаються по оптиці до районної АТС (РАТС). При цьому розглядаються існуючі точки розподілу мідного кабелю традиційної мережі доступу: РАТС, шафа розподільна, що є точкою демаркації між основним кабелем і розподільним кабелем, та розподільна коробочка, що термінує кабельну інфраструктуру будинку.

Для розрахунку необхідної кількості оптичних пристроїв на стороні мережі ONU (Optic Network Unit) і довжини оптичного кабелю (ОК) пропонується модель мережі абонентського доступу (рис. 1).

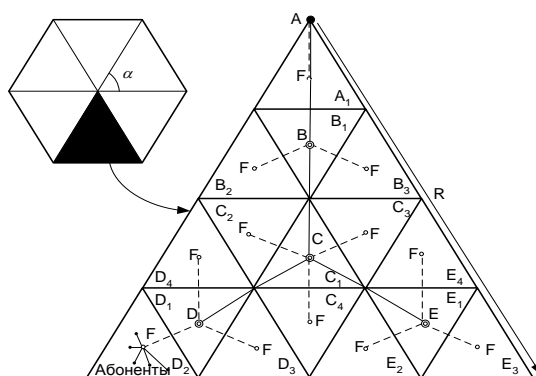


Рис. 1. Геометрична модель зони розподілу РАТС

РАТС розташовується у точці А, у точках F розташовуються розподільні коробки (РК), до яких підключаються абоненти, у точках В,С,D,Е – шафи розподільні (ШР). Відповідно у термінах технології FTTx схема ділянки МАД виходить з однієї точки ФТТА, (РАТС), контрольним точкам сценарію ФТТС відповідають точки В, С, D, Е, де на магістральній ділянці МАД розміщені ШР. Розподільна частина підходить до будівель - сценарій ФТТВ, або до шафи розподільній – сценарій ФТТС. Концепція ФТТН в рамках даної роботи не розглядається, так як вона характеризує розгортання якісно нового типу МАД і передбачає повну заміну мідного кабелю оптичним. ФТТА характеризує вже існуючу МАД оператора і ОК підходить до обладнання доступу в приміщенні РАТС. Таким чином, в межах задачі оптимізації останній виступає як вихідний. Концепція ФТТС являється ключовою і виступає провідним рішенням в процесі міграції

DSL систем, що націлене на використання вуличних ШП для встановлення поряд віддалених DSLAM з оптичними інтерфейсами. Зазвичай на місці такої локації встановлюється додаткова шафа з внутрішньою системою вентиляції та джерелом живлення. Така міграція вимагає прокладки оптичного кабелю між ШП та ПАТС. При цьому кількість користувачів, що можуть бути підключені та їхній швидкісний потенціал, обмежуються довжиною та типом розподільного кабелю, а також DSL – технологією, що буде використовуватись. В рамках FTTC виділяють декілька схем підключення DSLAM за допомогою волоконно-оптичних ліній зв'язку (ВОЛЗ) (рис. 2).

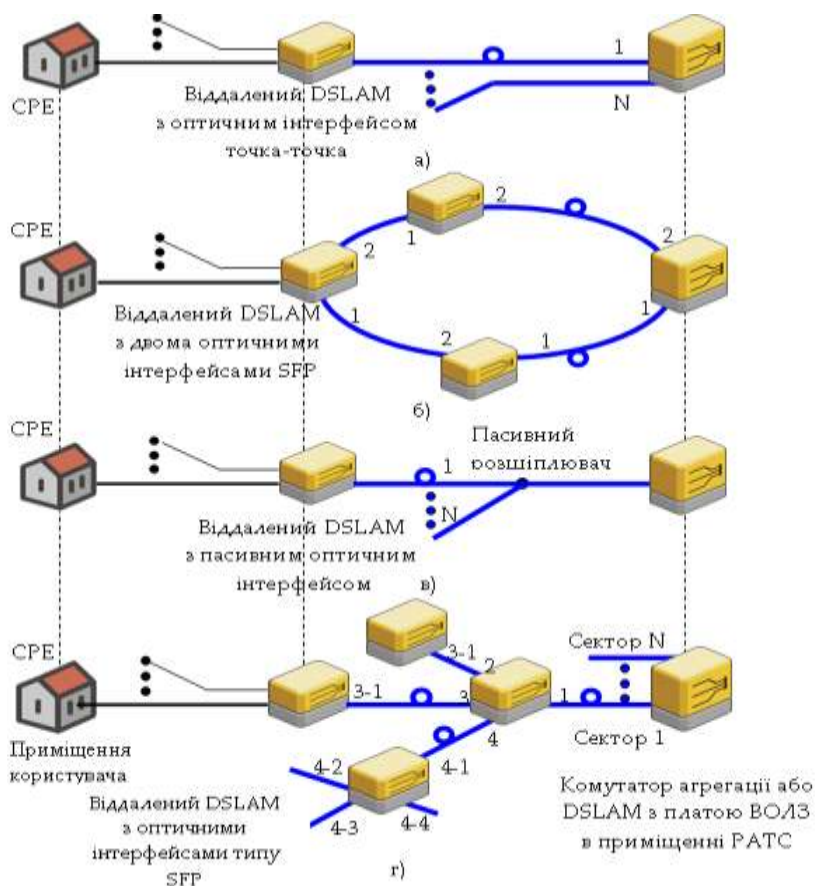


Рис. 2. Схеми підключення DSLAM за сценарієм FTTC

До основних схем підключення відносяться:

- точка-точка;
- оптичне кільце;
- пасивна оптична мережа;
- деревовидна, шляхом каскадного з'єднання DSLAM.

#### IV. Розрахунок швидкісного потенціалу

При розрахунку ADSL - систем і в процесі оптимізації важливим параметром є загальний швидкісний потенціал, необхідний для передачі інформації від усіх користувачів ADSL і для індивідуальної системи, який є функцією від довжини АЛ та кількості працюючих систем в кабелі. Метод оцінки швидкісного потенціалу реальної АЛ

за допомогою пакету xDSL Simulator та багаторівневої еталонної моделі (БЕМ) систем xDSL викладено в роботі [11]. Даний метод акцентовано на визначенні досяжної пропускної здатності від точки, де встановлено обладнання широкосмугового доступу, до кінцевого користувача, в умовах перехідних завод від сусідніх працюючих систем та імпульсного шуму з урахуванням багаторівневої структури стеку протоколів (рис. 3).

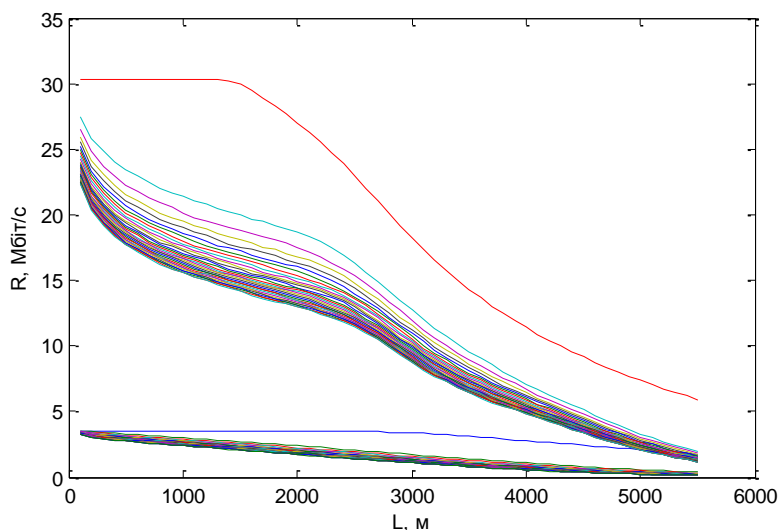


Рис. 3. Залежність досяжного швидкісного потенціалу технології ADSL2+ від довжини AL та кількості систем в кабелі

Однак використання такого підходу в процесі планування МАД є дуже трудомістким процесом, так як кількість користувачів xDSL в зоні розподілу ПАТС може досягати декількох тисяч. Тому в процесі оптимізації, для визначення швидкісного потенціалу користувачів при встановленні мультиплексорів доступу в точках розміщення шаф розподільних (ШР), використовується наступна аналітична модель:

$$R(a_i) = \sum_{S=1}^{S(a_i)} f(S(a_i), L_S(a_i) - L(a_i), IL_S(a_i)). \quad (1)$$

Дана модель використовується для грубої оцінки параметрів кінцевих користувачів методом інтерполяції значень, що були отримані за допомогою імітаційного моделювання БЕМ, при цьому враховується тип, довжина кабелю та кількість працюючих систем у точках розміщення ШР та в зоні розподілу МАД в цілому та втраги, що вносяться лінією.

Остаточні значення уточнюються за допомогою імітаційної БЕМ систем xDSL після вибору відповідного сценарію розгортання мережі.

## V. Постановка задачі оптимізації

Задача оптимізації сформульована у наступній постановці:

для описання окремого варіанту встановлення DSLAM використовується сукупність  $Y = (y_1, y_2, \dots, y_n)$ , компонента  $y_i$  якої дорівнюватиме 1, якщо на  $i$ -му об'єкті обладнання встановлюється, та 0, якщо ні. Для заданої сукупності встановлення  $Y$  не-

обхідно максимізувати цільову функцію  $z(Y)$ , що відповідає швидкісному потенціалу МАД у зоні розподілу РАТС:

$$\max z(Y) = \sum_i R(a_i)y_i, \quad (2)$$

де  $a_i \in A$  – множина вузлів (ШП) МАД в зоні розподілу РАТС,

$h \in H$  – множина типів шасі DSLAM,

$k \in K$  – множина типів абонентських плат xDSL,

$j \in J$  – індекс периферійної позиції шасі DSLAM,

$m \in M$  – індекс типу абонентської плати xDSL на периферії DSLAM,

$V_h(h)$  – ємність шасі DSLAM,

$V_k(k)$  – ємність абонентської плати xDSL,

$S(a_i)$  – кількість абонентів xDSL в зоні розподілу  $a_i$ -ї ШП,

$R(a_i)$  – швидкісний потенціал в зоні розподілу  $a_i$ -ї ШП,

$C(a_i)$  – вартість встановлення DSLAM в зоні розподілу  $a_i$ -ї ШП,

$C(h)$  – вартість шасі DSLAM,

$C(k)$  – вартість абонентської плати,

$S_k(k)$  – кількість абонентських плат  $k$ -го типу,

$L(a_i)$  – відстань від  $a_i$ -ї ШП до РАТС,

$L_S(a_i)$  – відстань від  $S$ -го абонента в зоні розподілу  $a_i$ -ї ШП до РАТС.

У структурі оптимізаційної задачі мають місце наступні обмеження:

$$V_h(h_i) \geq \sum_j \sum_m x_{ijm}, \quad (3)$$

$$\sum_m x_{ijm} \leq 1 \quad \forall i, j, \quad (4)$$

$$\sum_j \sum_m x_{ijm} V_k(k_m) - d_i \geq S(a_i), \quad (5)$$

$$Zy_i \geq \sum_j \sum_m x_{ijm}, \quad (6)$$

$$\sum_i C(a_i) \leq C_{\max}, \quad (7)$$

$$\sum_i \sum_j x_{ijm} \leq S_k(k_m), \quad (8)$$

$$\sum_i y_i \leq P. \quad (9)$$

Вартість прокладки ОК до  $i$ -ї ШП, встановлення DSLAM та його комплектування розраховується за формулою:

$$C(a_i) = C(h_i) + C(L(a_i)) + \sum_j \sum_m C(k)x_{ijm}. \quad (10)$$

Фізичний зміст обмежень, що використовуються, полягає в наступному:

– ємність секції DSLAM повинна бути більшою або рівною кількості абонентських плат, що будуть встановлені (3);

– в одну периферійну позицію вставляється одна абонентська плата типу  $m$  або вона лишається пустою (4);

– ємність секції DSLAM з урахуванням зазору на розширення повинна перевищувати кількість абонентів в зоні розподілу  $i$ -ї ШР (5);

– дане обмеження не дозволяє встановлювати DSLAM, що не укомплектований абонентськими палатами,  $Z$  - число більше, ніж кількість периферійних позицій модифікації DSLAM найбільшої ємності (6);

– витрати на встановлення обладнання та прокладку ОК не повинні перевищувати інвестиційного бюджету (7);

– встановлені абонентські плати не повинні перевищувати наявних ресурсів складу обладнання за типами (8);

– кількість встановлених вузлів на топології МАД не повинна перевищувати попередньо заданого числа (9).

Для розв'язання поставленої задачі використовується інструментарій FICO Xpress, що дозволяє вирішувати проблеми цілочисельного лінійного програмування та булевої алгебри.

## VI. Передпроектний аналіз мережі доступу

Для зменшення похибки планування внаслідок неточності вхідних даних запропоновано здійснювати передпроектний аналіз зони розподілу РАТС з наступним аналізом за допомогою багаторівневої еталонної моделі систем xDSL.

Функціонал багаторівневої еталонної моделі (БЕМ) виступає як окремий інструментарій, що може запускатись на окремій платформі, зокрема на вузлі управління MN (Management Node) DSLAM, або використовувати виділений сервер.

Для зчитування та запису зосереджених та постійних даних параметрів мережі БЕМ може використовувати дві бази даних (БД) (рис. 4):

- БД аналізу та діагностики;
- БД вимірювань.

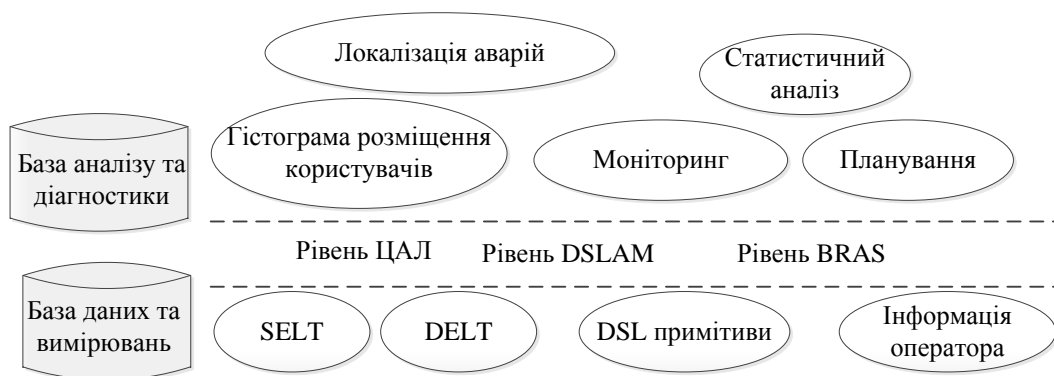


Рис. 4. Бази даних, що використовуються БЕМ

База даних та вимірювань включає:

- на рівні ЦАЛ: односторонні SELT (Single-End Line Test) та двосторонні вимірювання DELT (Dual Ended Line Test);

- на рівні кабелю та DSLAM: вимірювання за допомогою DSL примітивів;



- на рівні MN та BRAS: накопичення інформації оператора (ЦАЛ, кабель, DSLAM) разом із інформацією, що отримана за допомогою різних методів вимірювання.

Група односторонніх вимірювань SELT [12] може здійснюватись за відсутності встановленого CPE.

Вимірювання DELT використовують режим діагностики лінії, введений у стандарт ADSL2 [13], і вимагають сумісного CPE, що підтримує даний стандарт, встановлений на стороні користувача.

Примітиви DSL – це параметри продуктивності системи, стандартизовані в рекомендації ITU-T G.997.1[14], що можуть бути отримані від набору мікросхем DSL.

База аналізу та діагностики містить:

- на рівні ЦАЛ: інформацію попередньої оцінки сервісу;
- на рівні кабелю та DSLAM: статичну та динамічну інформацію, що генерується вузлом широкосмугового доступу;
- на рівні MN та BRAS: виявлення аварій, аналіз тенденцій в мережі, спостереження та прийняття рішень відносно функціонування системи, статистика даних між кінцевими точками та концентратором.

## **VII. Процедура накопичення даних МАД xDSL**

Важливою вимогою для інструментарію БЕМ виступає необхідність комбінування інформації з різних джерел, в першу чергу – системи менеджменту xDSL з даними оператора, такими як структура мережі та географічне розташування, ємність кабельної інфраструктури.

Для демонстрації ефективності запропонованого методу передпроектного аналізу проведено накопичення xDSL інформації ADSL мережі районної АТС Харківської дирекції ВАТ «Укртелеком» з наступним аналізом.

Швидкісний потенціал ADSL/2/2+ накопичується із зазначеного географічного району РАТС, для ЦАЛ поточних користувачів, що підключені до DSLAM. Для кожної АЛ здійснюється одиничне вимірювання і визначається:

- досяжний швидкісний потенціал;
- поточна швидкість передачі даних;
- затухання;
- запас ССШ;
- довжина ЦАЛ;
- ідентифікатор користувача.

Структуру МАД, що досліджувалась, із зазначенням місця розміщення ШР приведено на рис. 5.

Інформація накопичується для висхідного та низхідного напрямів передачі. Дана процедура здійснюється за допомогою системи менеджменту ADSL, що забезпечується виробником обладнання або при допомозі сторонніх програмно-апаратних комплексів (рис. 6).

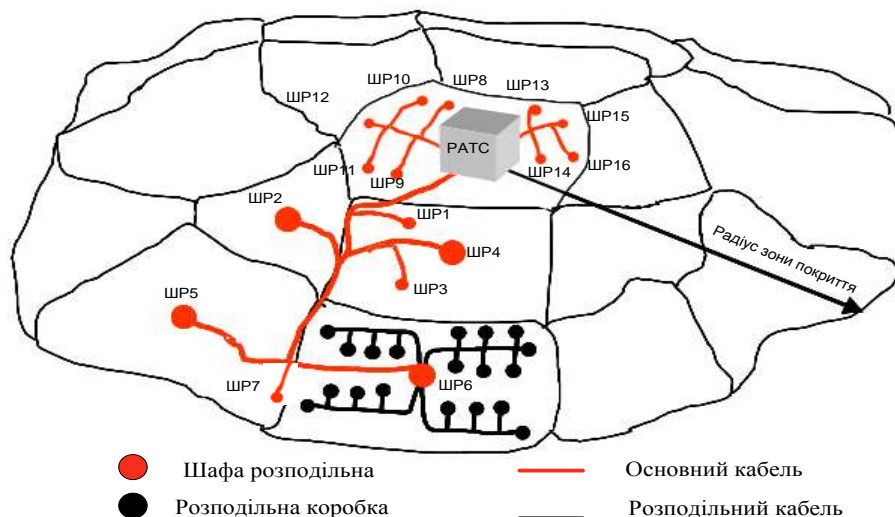


Рис. 5. Структура зони розподілу PATC

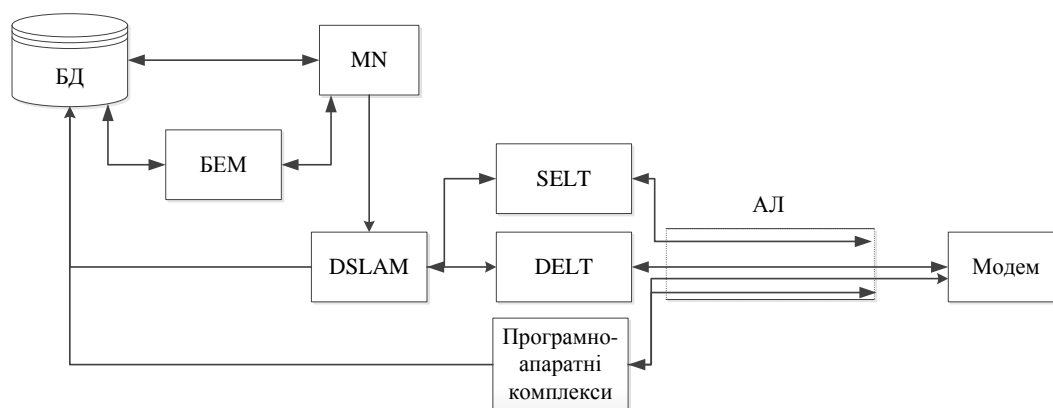


Рис. 6. Функціональна схема накопичення даних

Інформація про чисельність користувачів в зонах розподілу ШР для зазначеного регіону отримується з бази даних оператора. Досяжний швидкісний потенціал у низхідному напрямі (згідно зі звітністю модемів) для 667 ЦАЛ секції DSLAM відносно довжини лінії представлено на рис. 7,а).

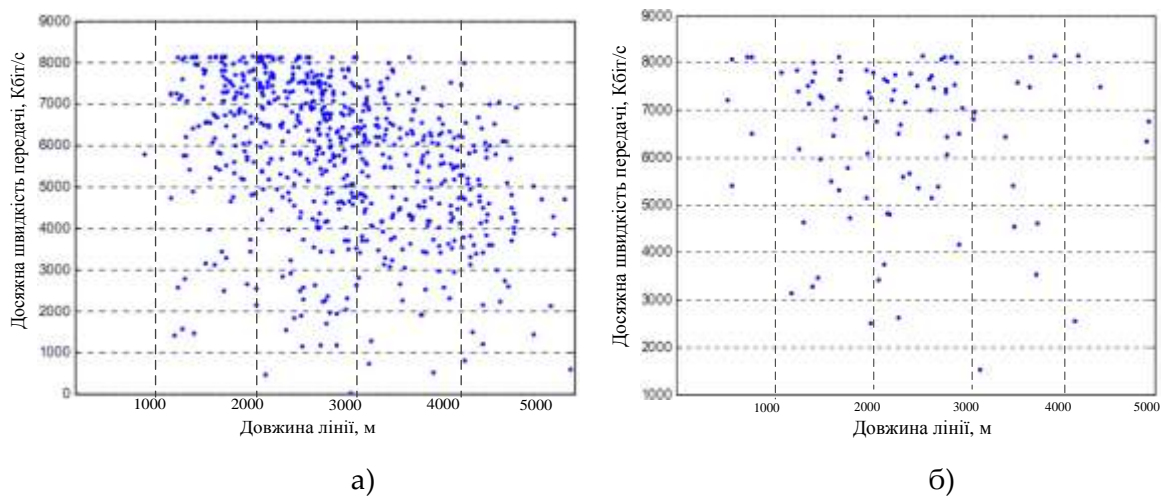


Рис. 7. Досяжний швидкісний потенціал ЦАЛ відносно довжини лінії

Отримані характеристики можна згрупувати за географічним розташуванням відповідно до структури МАД РАТС по секторах рис. 7,б). Досяжний швидкісний потенціал користувачів для більшої наочності можна розбити по групах, що відповідають тарифному плану оператора як для окремого сектора, так і для МАД в цілому (рис. 8).

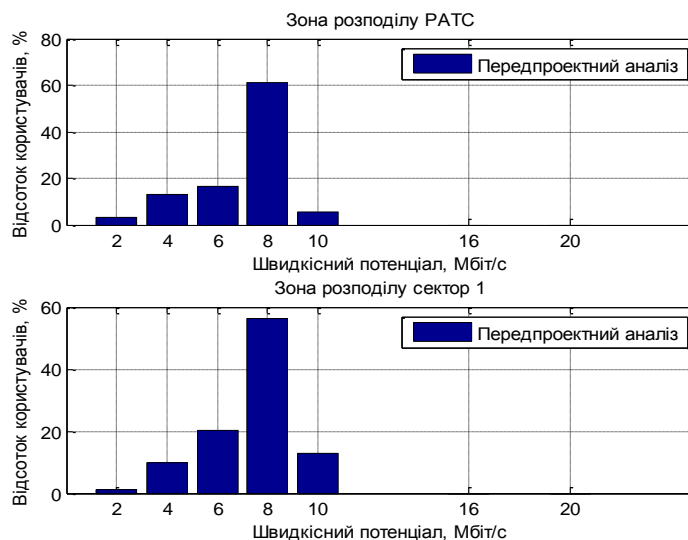


Рис. 8. Співвідношення користувачів відповідно до швидкісного потенціалу

## VIII. Застосування методу планування МАД xDSL

Для дослідження ефективності запропонованого методу планування, його було застосовано до вищерозглянутої структури МАД ADSL.

При розв'язанні поставленої задачі у ході роботи змінювались наступні вхідні параметри моделі:

- кількість DSLAM, що необхідно розмістити на топології;
- склад обладнання DSLAM;
- вартість робіт;
- початкові інвестиції.

Для представленої на рис. 5 зони розподілу РАТС, що складається із 16 ШР, які розосереджені в 3-х секторах і утворюють деревовидну структуру для 667 кінцевих користувачів МАД ADSL, одержані результати приведено на рис. 9:

а) значення швидкісних потенціалів кінцевих користувачів МАД після процедури планування та оптимізації;

б) значення швидкісних потенціалів кінцевих користувачів окремо в секторі 1 МАД.

Використання запропонованого методу планування дозволило в 2 рази підняти швидкісний потенціал МАД ADSL в порівнянні із значеннями передпроектного аналізу.

Наступні типи DSLAM, що приведені в табл. 1, були використані в процесі планування МАД для реалізації сценарію FTTC.

Таблиця 1. Типи секцій DSLAM

Тип секції	MEA-1	MEA-3	MEA-5	MEA-10
Кількість позицій	1	2	4	10

В табл. 2, приведені основні типи абонентських плат xDSL, що використовувались для комплектації складу обладнання DSLAM.

Таблиця 2. Типи плат, що використовуються для комплектування секцій DSLAM

Тип плати	ADSL2+		VDSL2	
Кількість портів	32	48	12	24

Усі розрахунки здійснювались для максимального інвестиційного бюджету величиною  $C_{\max} = 300000$  грн.

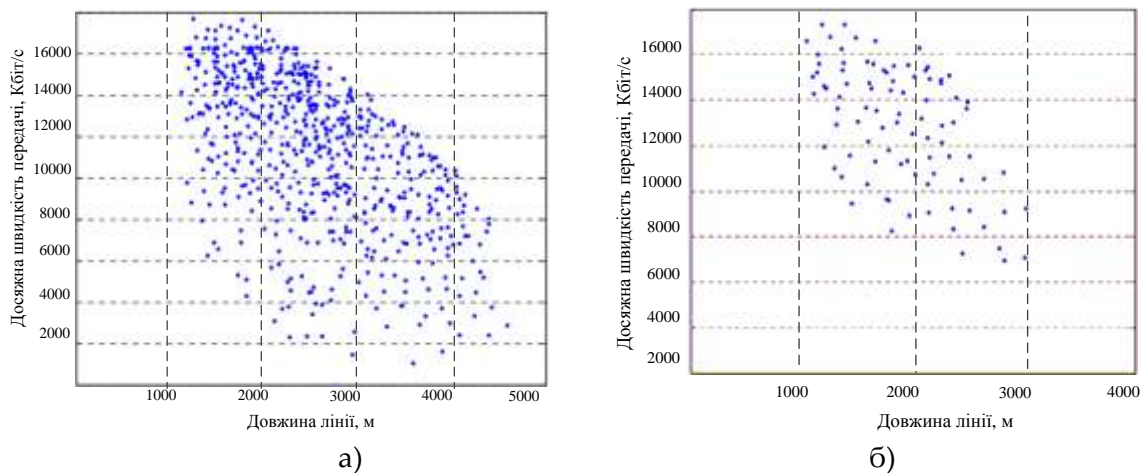


Рис. 9. Швидкісний потенціал користувачів після процедури планування

Для заданих вихідних умов одержано структуру МАД (рис. 10) із зазначенням місця розміщення DSLAM та їх комплектування. Для уточнення характеристик швидкісного потенціалу одержаної в процесі оптимізації топології при заданих обмеженнях використовується імітаційна БЕМ (рис. 11).

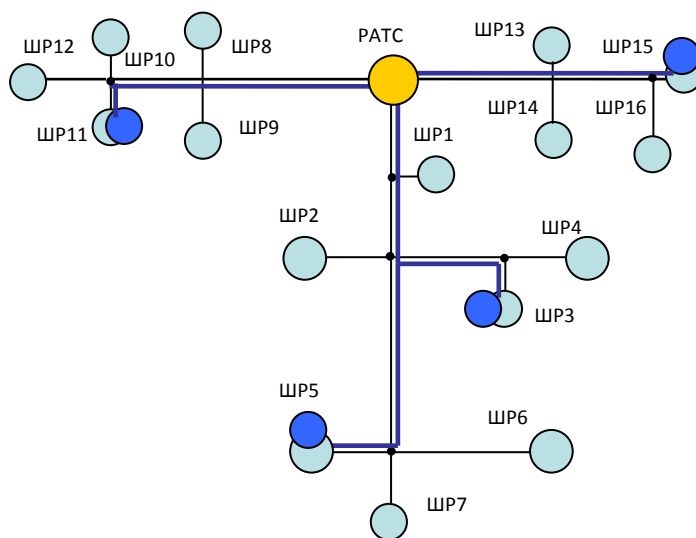


Рис. 10. Схема розміщення DSLAM при розгортанні сценарію FTTC

У випадку, коли одержані значення не відповідають вимогам оператора, необхідно змінити вхідні дані:

- кількість DSLAM, що необхідно розмістити на топології;
- склад обладнання, що використовується для комплектації секцій DSLAM;
- початкові інвестиції.

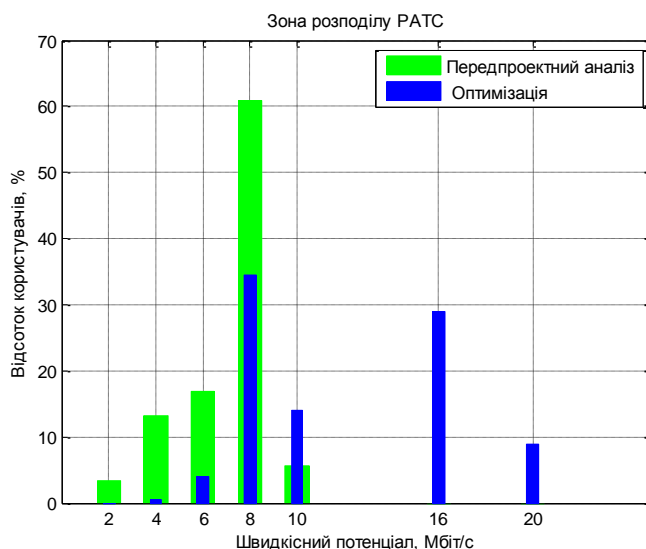


Рис. 11. Порівняльні характеристики швидкісних потенціалів кінцевих користувачів в зоні розподілу PATC

## IX. Розрахунок техніко-економічних показників створення мережі абонентського доступу xDSL

Загальна вартість створення МАД xDSL задана виразом:

$$C_{TOT} = C_{CABLE} + C_{SITE} + C_{DSLAM} + C_{OLT} + C_{xDSL} + C_{OAM} + C_{REST}, \quad (11)$$

де  $C_{TOT}$  – загальна вартість;

$C_{CABLE}$  – вартість кабельної інфраструктури (включаючи прокладку ОК);

$C_{SITE}$  – вартість монтажу DSLAM (розміщення і монтаж в зоні ШР та будинках);

$C_{DSLAM}$  – вартість DSLAM (устаткування й електроживлення);

$C_{OLT}$  – вартість OLT (обладнання та монтаж на стороні PATC);

$C_{xDSL}$  – вартість обладнання xTU-R на стороні користувача та монтаж;

$C_{OAM}$  – вартість технічного обслуговування (ТО) та експлуатації (ТЕ);

$C_{REST}$  – інші витрати.

## X. Розрахунок вартості кабельної інфраструктури

Вартість нової оптичної мережі складається з таких частин:

- земляні роботи, що залежать від типу місцевості;
- вартість кабелю, що складається з вартості нового кабелю і монтажних робіт.

Вартість кабелю і земляних робіт пропорційна довжині необхідного нового кабелю, що визначається з розглянутої раніше геометричної моделі при різних варіантах розміщення ONU.

$$C_{CABLE} = C_{fiber}(\text{тип кабелю, метри}) + C_{work}(\text{площа, метри}) + C_{end}(\text{кількість волокон}), \quad (12)$$

де  $C_{CABLE}$  – загальна вартість кабелю;

$C_{fiber}$  – вартість оптичного кабелю;

$C_{work}$  – вартість земляних і монтажних робіт;

$C_{end}$  – вартість введення кабелю в експлуатацію.

У моделі мережі доступу, в залежності від кількості ШР в секторі, кабелі використовуються в такий спосіб:

- канали зв'язку AB і BC: 48, 32 ОВ;

- канали зв'язку CD і CE: 24, 16 ОВ;

- канали зв'язку BF, CF, DF, EF: 12, 8 ОВ.

## XI. Розрахунок вартості устаткування на стороні OLT

Вартість на стороні OLT включає переустаткування секції DSLAM в приміщенні РАТС. Додатково встановлюються оптичні плати доступу Gigabit Ethernet в залежності від топології зони розподілу та кількості віддалених DSLAM, що комплектуються оптичними модулями SFP для підключення плати ONU на стороні мережі:

$$C_{OLT} = C_{board\_OLT} \times N_{board\_OLT} + 2C_{SFP} \times P, \quad (13)$$

де  $C_{board\_OLT}$  – вартість оптичної плати на лінійній стороні LT;

$N_{board\_OLT}$  – кількість оптичних плат, що встановлені на стороні LT;

$C_{SFP}$  – вартість оптичних модулів для підключення DSLAM до OLT;

$P$  – кількість DSLAM, що встановлюється в зоні розподілу РАТС.

Вартість розміщення DSLAM, включаючи переустаткування ШР:

$$C_{SITE} = C_{building} + C_{installations}, \quad (14)$$

де  $C_{SITE}$  – вартість розміщення;

$C_{building}$  – вартість будівельних робіт;

$C_{installations}$  – вартість монтажу DSLAM та оптичного устаткування.

## XII. Розрахунок обладнання DSLAM та ONU на стороні мережі

$$C_{DSLAM} = C_{frame} + C_{board\_ONU} + C_{board\_xDSL} + C_{power}, \quad (15)$$

де  $C_{DSLAM}$  – загальна вартість встановлення обладнання;

$C_{frame}$  – вартість стійки для інсталяції плат;

$C_{board\_ONU}$  – вартість плати комутатора з оптичними інтерфейсами;

$C_{board\_xDSL}$  – вартість абонентських плат xDSL;

$C_{power}$  – вартість обладнання основного й аварійного електроживлення.

Велика ємність стійки DSLAM використовується в топології з великою площею, де кількість абонентів є високою. Ємність, що допускається, залежить від модифікації стійки і типів та ємності абонентських плат xDSL, що використовуються.

Вартість xDSL модемів та їхньої інсталяції розраховується за формулою:

$$C_{xDSL} = C_{modems} S_{xDSL} + C_{installation} S_{xDSL}, \quad (16)$$

де  $C_{xDSL}$  – загальна вартість xDSL;

$C_{modems}$  – вартість VTU-R на стороні мережі (NT);

$C_{installation}$  – вартість інсталяції нового абонента;

$S_{xDSL}$  – кількість абонентів xDSL, що підключаються або перепідключаються.

Якщо загальну вартість xDSL розділити між абонентами, то одержимо питому вартість xDSL на абонента:

$$C_{xDSL\_aD} = \frac{C_{TOT}}{N_{xDSL\_aD}}, \quad (17)$$

де  $C_{xDSL\_aD}$  – питома вартість;

$C_{TOT}$  – загальна вартість створення МАД xDSL;

$N_{xDSL\_aD}$  – кількість xDSL абонентів.

Традиційний підхід при розгортанні оптики до ШР передбачає встановлення DSLAM, що комплектуються абонентськими платами стандарту VDSL, VDSL2 відповідно, і в приміщенні користувача встановлюються VDSL модеми. Такий підхід, з економічної точки зору, вносить свою збитковість, так як існуюча інфраструктура вже завантажена системами ADSL, а зміна стандарту потребує зміни приймачів-передавачів xTU-R на віддаленій стороні. Тому в роботі пропонується комплексний підхід для вирішення даної задачі, що передбачає комплектування мультиплексора доступу в зоні розподілу ШР абонентськими платами стандарту ADSL2+ і в наступному, при розширенні абонентської бази, використання плат VDSL2.

З врахуванням результатів планування та оптимізації, для отриманої топології МАД проведено економічну оцінку традиційного та комплексного підходу при розгортанні сценарію FTTC. Для вирішення поставленої задачі використовувався графічно орієнтований інструментарій прогнозування та аналізу ризиків Oracle Cristal Ball. В процесі роботи було здійснено прогнозування та економічна оцінка запропонованого сценарію розвитку МАД на середньостроковому періоді планування – 6 місяців. Дана оцінка при використанні комплексного підходу здійснювалась для існуючих тарифних планів оператора ВАТ «Укртелеком» (табл. 3). З метою оцінки традиційного сценарію розвитку додатково було введено тарифний план для систем із швидкісним потенціалом вище 24 Мбіт/с.

Таблиця 3. Тарифні плани

Стандарт	ADSL	ADSL2	ADSL2+	VDSL
Тарифний план Мбіт/с.	до 5	до 10	до 20	більше 24
Вартість, грн.	60	100	180	250

Прогнозування проникнення сервісів відповідно до тарифних планів оператора для обох сценаріїв приведено на рис. 12, 13.

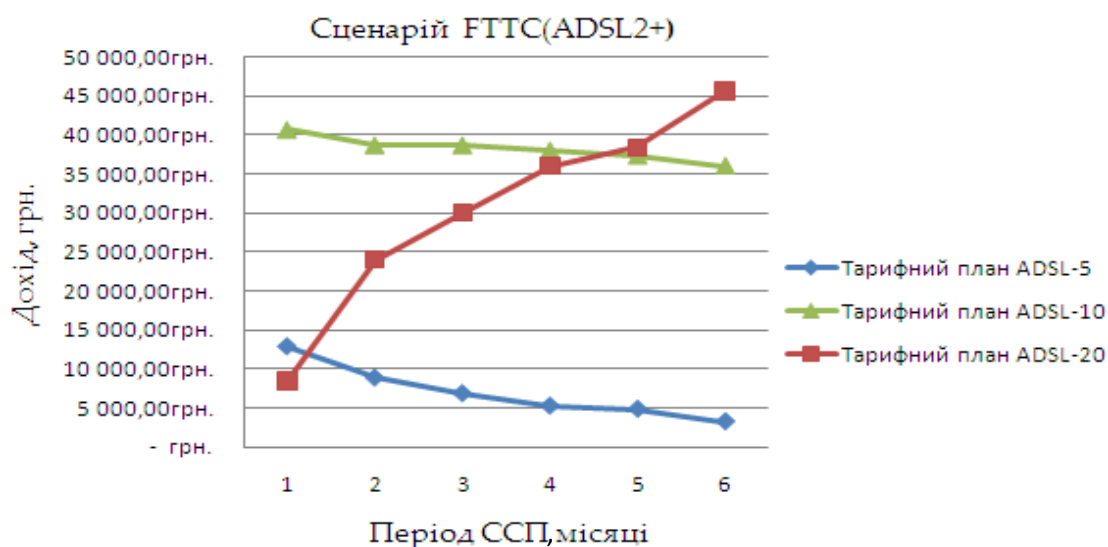


Рис. 12. Прогнозування проникнення сервісів при комплексному підході

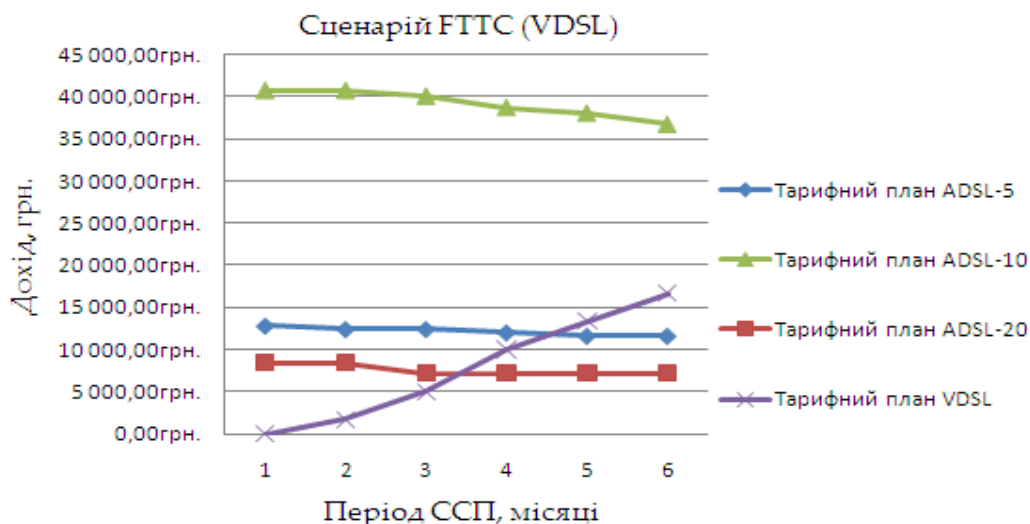


Рис. 13. Прогнозування проникнення сервісів при традиційному підході

З рисунків видно, що використання комплексного підходу є більш ефективним на періоді ССП за рахунок динамічного зростання доходу від тарифного плану ADSL-20 внаслідок розгортання сценарію FTTC і збільшення швидкісного потенціалу МАД. Традиційний підхід відзначається помірним зростанням доходу від тарифного плану VDSL. Це пояснюється тим, що системи стандарту VDSL мають значно вищу вартість. Крім того, впровадження зазначеного тарифного плану для існуючої бази САД ADSL потребує зміни пристроїв АТУ-Р відповідно на VTU-Р.



Прогнозування розвитку МАД з врахуванням результатів передпроектного аналізу, планування та максимального інвестиційного бюджету на початку періоду ССП, що виражений в капітальних затратах (CAPEX) на будівництво, показано на рис. 14.

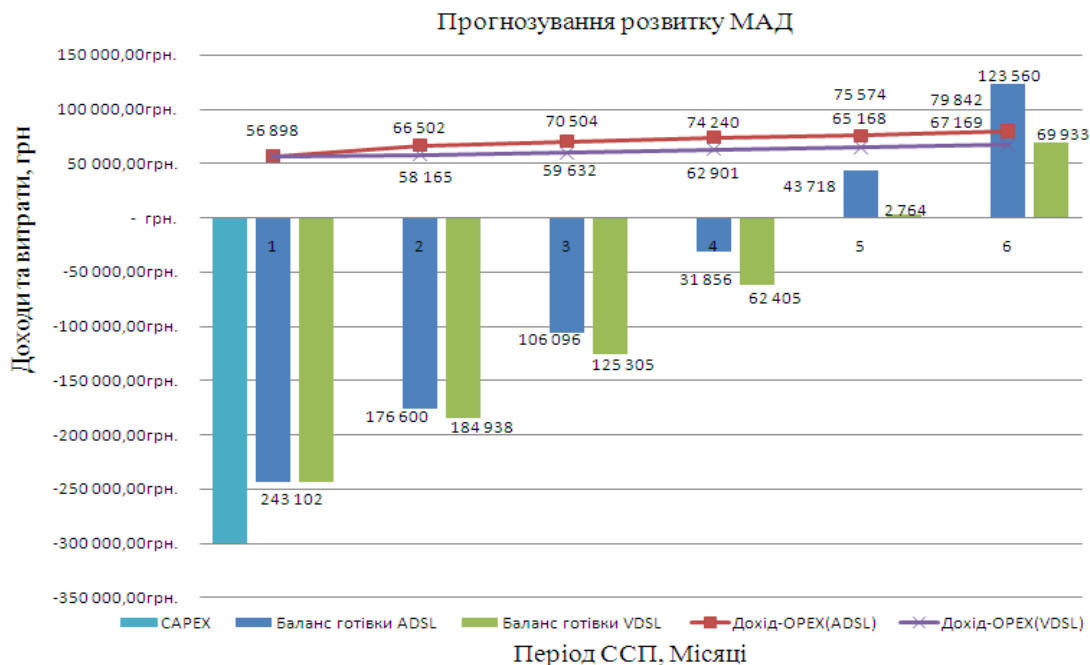


Рис. 14. Прогнозування розвитку МАД на періоді ССП для сценарію FTTC

Аналіз результатів при використанні запропонованого методу планування показав економічну ефективність, що в середньому на 12% перевищує показники традиційного методу планування та розвитку МАД на всьому періоді ССП.

## Висновок

1. Запропоновано метод та схему передпроектного аналізу МАД xDSL на основі DSL менеджменту DSLAM, вимірювальних програмно-апаратних комплексів та імітаційної багаторівневої еталонної моделі з метою одержання вихідних даних та їх використання в процесі планування та оптимізації. Це дозволило зменшити похибку планування за рахунок неточності вихідних даних.

2. Продемонстровано працездатність запропонованого у роботі методу планування МАД xDSL на прикладі зони розподілу однієї з РАТС Харківської дирекції ВАТ «Укртелеком». Аналіз результатів планування показав, що застосування запропонованих моделей та методу дозволило в двічі підняти швидкісний потенціал в зазначеному регіоні, що дало на 12% кращі показники ефективності на середньостроковому періоді планування.

3. Розроблені й модернізовані методики та програмна реалізація рекомендуються для використання в проектних організаціях на етапах проектування МАД xDSL поверх ТфЗК згідно з концепцією FTTC з числом вузлів, що відповідає кількості

ті ШР в зоні розподілу РАТС. Це прискорить термін проектування, значно підвищить ефективність та зменшить вартість проектних робіт.

### Список літератури:

1. *Ims L.A., Myhre D., Olsen B.T.* Investment costs of broadband capacity upgrade strategies in residential areas // Proc. GLOBECOM 98. – 1998. – Vol. 6. – P. 3153 - 3158.
2. Key factors influencing investment strategies of Broadband Access Network Upgrades / [*Ims L.A., Aas K., Budry L. et al.*] // CSELT TECHNICAL REPORTS. – 1996. – Vol.26, № 3. – P. 367-384.
3. Evaluating broadband strategies in a competitive market using risk analysis / [*Stordahl K., Elnegaard N.K., Azevedo F. et al.*] // Networks 98. – Sorrento, Italy, 1998. – P. 18 – 23.
4. *Minoux M.* Network synthesis and optimum network design problems: Models, solution methods and applications // Networks. – 1999. – Vol. 19 – P. 313-360.
5. Planning of Optical Network. – EURESCOM Project P-709, Deliverable 3. – 2000. – 38 p.
6. Evaluation of broadband home networks for residential and small business users. – EURESCOM Project P-614, Deliverable 11. – 1998. – 94 p.
7. *Ims L.A.* Techno-economic analysis of major factors of B-ISDN/ATM Upgrades. – EURESCOM Project P-614 Deliverable 3. – 1998. – 154 p.
8. *Stern J.A., Quayle J.A., Cooper S.A.* Full Services Access Networks Requirements Specification // Eighth International Workshop on Optical/Hybrid Access Networks. – Atlanta, 1997. – P.189 – 230.
9. RACE 2087/TITAN: Tool for introduction scenarios and techno-economic studies for the Access Network / [*Olsen B.T., Zaganiaris A., Gieschen N. et al.*] // In: Proc. RACE Open Workshop on Broadband Access. – 1993. – P.367 – 371.
10. *Olsen B.T.* OPTIMUM – a techno-economic tool // Teletronikk. – 1999. - №2/3. – P. 239–250.
11. *Бриндзій О.В., Крикун В.С.* Методика оцінки швидкісного потенціалу з'єднань ADSL2+ для надання послуг Triple Play Service // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2010. – №2(44). – С. 58-62.
12. ITU-T Temporary Document SS-U09, Study Group 15, Question 4/15. G.selt: Updated Issues List for G.selt. – Singapore, ITU-T, 2004. – 24 p.
13. ITU-T Rec. G.997.1. Study group 15. Physical layer management for digital subscriber line (DSL) transceivers. – ITU-T, 1999. – 52 p.
14. ITU-T Rec. G.997.1. ADSL Management. – ITU-T, 2003. – 128 p.