**ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ**

**НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ**

**КАФЕДРА ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ СИСТЕМ ТА МЕРЕЖ**

# КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему:

## «АЛГОРИТМИ ТА МЕТОДИ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ УПРАВЛІННЯ МЕРЕЖАМИ МОБІЛЬНОГО ЗВ'ЯЗКУ»

на здобуття освітнього ступеня магістра

зі спеціальності _172___Електронні комунікації та радіотехніка_____

*(код, найменування спеціальності)*

освітньо-професійної програми_Телекомунікаційні системи та мережі____

*(назва)*

*Кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело*

_____ Андрій БЛОНСЬКИЙ

Виконав: здобувач вищої освіти групи ТСДМ-61

Андрій БЛОНСЬКИЙ

(Ім'я, ПРІЗВИЩЕ)

Керівник
*к.т.н, доцент* Олександр КРИВОНОСЕНКО

(Ім'я, ПРІЗВИЩЕ)

Рецензент
*к.т.н, доцент* _____

(Ім'я, ПРІЗВИЩЕ)

КИЇВ – 2025

**ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ**
**НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ**

Кафедра Телекомунікаційних систем та мереж
Ступінь вищої освіти Магістр
Спеціальність 172 Електронні комунікації та радіотехніка
Освітньо-професійна програма Телекомунікаційні системи та мережі

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
телекомунікаційних систем
та мереж
_____Віктор ЗАЇКА
«___»_____2025 року

# З А В Д А Н Н Я
## НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Блонського Андрія Степановича
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема кваліфікаційної роботи: «Алгоритми та методи підвищення ефективності управління мережами мобільного зв'язку»
керівник кваліфікаційної роботи Олександр КРИВОНОСЕНКО, к.т.н, доцент
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
затверджені наказом Державного університету інформаційно-комунікаційних технологій від «30» жовтня 2025р. №467
2. Строк подання кваліфікаційної роботи

3. Вихідні дані до кваліфікаційної роботи: Архітектура мережі мобільного оператора (RAN/Transport/Core/OSS/BSS) та склад основних вузлів;
Параметри інфраструктури: топологія, пропускна здатність каналів, затримки, резервування, ресурсні обмеження;
Дані про навантаження: часові ряди трафіку, кількість абонентів/сесій, розподіл по сервісах, години піку;
Науково-технічні джерела та стандарти/рекомендації (3GPP, ETSI, ITU-T, TM Forum, GSMA).

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)
1) Системний аналіз мережі оператора та чинників, що визначають ефективність її експлуатаці;

2)Методи підвищення продуктивності експлуатації мережі: локалізація, прогнозування та моделювання;

3) Алгоритмічні рішення для міжоператорської взаємодії, контролю трафіг протидії шахрайству_

5. Перелік ілюстративного матеріалу: *презентація*

6. Дата видачі завдання 19.10.2025 р.

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

| № зп | Назва етапів кваліфікаційної роботи | Строк виконання етапів роботи | Примітка |
|---|---|---|---|
| 1. | Аналіз науково-технічної літератури | 15.10.2025 р. | виконано |
| 2. | Аналіз мережі оператора: структура, витрати CAPEX/OPEX, чинники ефективної експлуатації. | 22.10.2025 р. | виконано |
| 3. | Дослідження динаміки трафіку та прогноз: обробка статистики, тренд/сезонність, вибір моделі. | 07.11.2025 р. | виконано |
| 4. | Обґрунтування локалізації трафіку: контент/кеш-сервери, оптимальне розміщення (модель/цільова функція). | 24.11.2025 р. | виконано |
| 5. | Розробка алгоритмів виявлення фроду: контрольні точки, аналіз CDR, аномалії трафіку (метрика Хаусдорфа). | 27.11.2025 р. | виконано |
| 6. | Реферат, вступ, висновки | 29.11.2025 р. | виконано |
| 7. | Підготовка презентації | 01.12.2025 р. | виконано |

Здобувачка вищої освіти _____ Андрій БЛОНСЬКИЙ
*(підпис)* *(Ім'я, ПРІЗВИЩЕ)*

Керівник кваліфікаційної роботи _____ Олександр КРИВОНОСЕНКО
*(підпис)* *(Ім'я, ПРІЗВИЩЕ)*

# РЕФЕРАТ

Текстова частина кваліфікаційної роботи на здобуття освітнього ступення магістра: 92 сторінки, 39 рисунок, 3 таблиці, 28 джерел.

*Об'єкт дослідження* - інфокомунікаційна телекомунікаційна мережа оператора зв'язку та процеси її технічної й економічної експлуатації.

*Предмет дослідження* - методи й моделі підвищення ефективності експлуатації мережі оператора

*Мета роботи* – розробити та обґрунтувати підхід до підвищення економічної результативності й якості роботи мережі оператора шляхом оптимізації структури мережі та розміщення серверів локалізації трафіку, а також шляхом впровадження алгоритмів виявлення і запобігання несанкціонованому пропуску трафіку та втрат доходів.

*Методи дослідження* – системний і порівняльний аналіз; теорія телетрафіку; математичне моделювання й оптимізація (графи/гіпермережі) для розміщення контент- і кеш-серверів; статистична обробка та прогнозування часових рядів трафіку (тренд+сезонність, оцінка похибок/інтервалів); аналіз CDR/OSS у контрольних точках; виявлення аномалій і фроду (порогові правила, метрика Хаусдорфа).

У першому розділі виконано аналіз факторів, що визначають результативність експлуатації мережі оператора, з акцентом на взаємозв'язок технічної та економічної підсистем. Розглянуто структуру витрат (CAPEX/OPEX), підходи до підвищення рентабельності та базові вимоги до сучасних інфокомунікаційних мереж і послуг.

Другий розділ присвячено локалізації трафіку як практичному інструменту зниження витрат на зовнішній трафік і розвантаження магістральних каналів. Розглянуто контентне наповнення, кешування й підходи CDN, а також задачі оптимального розміщення контент- і кеш-серверів. Запропоновано формалізацію мережі у вигляді (S)-гіпермережі для спільного опису топооснови, первинної та вторинної мереж, а також сформовано постановку задачі оптимізації з обмеженнями на пропускну здатність і вартісні характеристики. Наведено підхід до прогнозування часових рядів трафіку та вибір апроксимаційної моделі за показниками точності.

У третьому розділі досліджено проблему втрат доходів у ланцюгу формування тарифікаційної інформації та запропоновано практичні заходи Fraud Management. Розглянуто класифікацію фроду (за джерелами, спрямованістю та функціональними областями), метод контрольних точок для виявлення втрат на етапах предбілінгу/білінгу, а також підхід до детектування аномалій трафіку й модифікованих номерів за даними CDR із використанням метрики Хаусдорфа. Запропоновані рішення спрямовані на зниження фінансових втрат оператора та підвищення керованості процесів експлуатації й взаєморозрахунків між операторами.

ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНА МЕРЕЖА, CAPEX, OPEX, РЕНТАБЕЛЬНІСТЬ, ЛОКАЛІЗАЦІЯ ТРАФІКУ, CDN, КЕШ-СЕРВЕР, КОНТЕНТ-СЕРВЕР, ОПТИМАЛЬНЕ РОЗМІЩЕННЯ, ГІПЕРМЕРЕЖА, ПРОГНОЗУВАННЯ ТРАФІКУ, ФРОД, НЕКОРЕКТНА ТЕРМІНАЦІЯ, CDR, КОНТРОЛЬНІ ТОЧКИ, МЕТРИКА ХАУСДОРФА, FRAUD MANAGEMENT.

## ABSTRACT

Text part of the qualification work for obtaining a master's degree: 92 pages, 39 figures, 3 tables, 28 sources.

The object of the study is the infocommunication telecommunications network of the communication operator and the processes of its technical and economic operation.

The subject of the study is methods and models for increasing the efficiency of the operator's network operation

The purpose of the work is to develop and substantiate an approach to increasing the economic efficiency and quality of the operator's network by optimizing the network structure and placing traffic localization servers, as well as by implementing algorithms for detecting and preventing unauthorized traffic leakage and revenue losses.

Research methods are system and comparative analysis; teletraffic theory; mathematical modeling and optimization (graphs/hypernetworks) for placing content and cache servers; statistical processing and forecasting of traffic time series (trend + seasonality, error/interval estimation); CDR/OSS analysis at control points; anomaly and fraud detection (threshold rules, Hausdorff metric).

The first section analyzes the factors that determine the effectiveness of the operator's network operation, with an emphasis on the relationship between technical and economic subsystems. The cost structure (CAPEX/OPEX), approaches to increasing profitability, and basic requirements for modern infocommunication networks and services are considered.

The second section is devoted to traffic localization as a practical tool for reducing external traffic costs and unloading backbone channels. Content filling, caching, and CDN approaches are considered, as well as the problems of optimal placement of content and cache servers. A formalization of the network in the form of an (S)-hypernet is proposed for a joint description of the topographic basis, primary and secondary networks, and a formulation of the optimization problem with bandwidth and cost constraints is formulated. An approach to predicting traffic time series and choosing an approximation model based on accuracy indicators are presented.

The third section examines the problem of revenue losses in the chain of tariff information generation and proposes practical Fraud Management measures. The classification of fraud (by sources, focus, and functional areas), the checkpoint method for detecting losses at the pre-billing/billing stages, and the approach to detecting traffic anomalies and modified numbers based on CDR data using the Hausdorff metric are considered. The proposed solutions are aimed at reducing the operator's financial losses and increasing the manageability of the operation processes and mutual settlements between operators.

TELECOMMUNICATIONS NETWORK, CAPEX, OPEX, PROFITABILITY, TRAFFIC LOCATION, CDN, CACHE SERVER, CONTENT SERVER, OPTIMAL LOCATION, HYPERNETWORK, TRAFFIC PREDICTION, FRAUD, MISTERMINATION, CDR, CHECKPOINTS, HAUSDORF METRIC, FRAUD MANAGEMENT.

**ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ**
**НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ**
**ПОДАННЯ**
**ГОЛОВІ ДЕРЖАВНОЇ ЕКЗАМЕНАЦІЙНОЇ КОМІСІЇ**
**ЩОДО ЗАХИСТУ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ**
**НА ЗДОБУТТЯ ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ МАГІСТРА**

Направляється здобувач **Блонський А.С.** до захисту кваліфікаційної роботи
(прізвище та ініціали)
За спеціальністю 172 Електронні комунікації та радіотехніка
освітньо-професійної програми Телекомунікаційні системи та мережі
(шифр і назва спеціальності)
на тему: «Алгоритми та методи підвищення ефективності управління мережами мобільного зв'язку»
Кваліфікаційна робота і рецензія додаються.
Директор інституту _____ Владислав КРАВЧЕНКО
(підпис) (Ім'я, ПРІЗВИЩЕ)

**Висновок керівника кваліфікаційної роботи**

Здобувач **БЛОНСЬКИЙ Андрій** обрав тему роботи, метою якої є розроблення та обґрунтування алгоритмів і методів підвищення ефективності управління мережами мобільного зв'язку. У роботі розглянуто архітектуру та принципи функціонування мереж оператора. Окрему увагу приділено питанням безпеки та протидії фроду як складовій ефективної експлуатації мережі й мінімізації втрат. Опрацьований перелік джерел підтверджує вміння здобувача працювати з науково-технічною літературою та застосовувати її положення для розв'язання практичних завдань.х. Під час виконання кваліфікаційної роботи **БЛОНСЬКИЙ Андрій** показав добру теоретичну та практичну підготовку, вміння самостійно вирішувати питання і робити висновки. Роботу виконував сумлінно, акуратно та вчасно за планом.

Все це дозволяє оцінити виконану кваліфікаційну роботу здобувача **БЛОНСЬКОГО Андрія** на оцінку **«відмінно»** та присвоїти йому кваліфікацію: магістр з електронних комунікацій та радіотехніки.

Керівник кваліфікаційної роботи _____ Олександр КРИВОНОСЕНКО
(підпис) (Ім'я, ПРІЗВИЩЕ)
«____» _____ 2025 року

**Висновок кафедри про кваліфікаційну роботу**

Кваліфікаційна робота розглянута. Здобувач **БЛОНСЬКИЙ Андрій**
(ПРІЗВИЩЕ, ім'я)
допускається до захисту даної роботи в Екзаменаційній комісії.
Завідувач кафедри телекомунікаційних систем та мереж
(назва)
_____ Віктор ЗАЇКА
(підпис) (Ім'я, ПРІЗВИЩЕ)

**ВІДГУК РЕЦЕНЗЕНТА**
на кваліфікаційну роботу
на здобуття освітнього ступеня магістра

здобувач **БЛОНСЬКИЙ Андрій**
на тему: **«Алгоритми та методи підвищення ефективності управління мережами мобільного зв'язку»**

**Актуальність:** Сучасні мережі мобільного зв'язку функціонують в умовах стрімкого зростання обсягів трафіку, ускладнення сервісів та підвищених вимог до якості обслуговування (QoS/QoE), надійності й інформаційної безпеки. Для операторів критично важливо забезпечувати ефективне управління мережею з урахуванням витрат CAPEX/OPEX, оптимального використання ресурсів та своєчасного реагування на зміни навантаження. У цьому контексті застосування алгоритмічних підходів до аналізу й прогнозування трафіку, локалізації контенту та протидії фроду є актуальним і практично значущим. Отже, тема кваліфікаційної роботи є своєчасною та відповідає сучасним потребам галузі електронних комунікацій.

**Позитивні сторони:**

Системно розглянуто архітектуру мереж мобільного зв'язку та принципи експлуатаційного управління (OSS/показники KPI), що формує коректну основу для подальшої оптимізації.

Проаналізовано характер сучасного трафіку та підходи до його прогнозування, що важливо для планування ємності й запобігання перевантаженням у години пікових навантажень.

Обґрунтовано доцільність локалізації трафіку (кешування/CDN або суміжні механізми) як інструменту зменшення затримок і оптимізації використання транспортних ресурсів.

Розглянуто питання безпеки та протидії фроду як складову підвищення ефективності управління мережею та мінімізації фінансових втрат оператора.

**Недоліки:**

1. Опис впровадження можна подати детальніше: які саме вхідні дані потрібні (OSS/CDR), у яких точках мережі їх збирають, які є обмеження та припущення
2. Доцільно ширше подати вимірювані ефекти (виграш у затримці/завантаженні/вартості, порівняння "до/після" для KPI), щоб наочно показати практичний ефект запропонованих підходів.

Відзначені зауваження не впливають на загальну позитивну оцінку кваліфікаційної роботи.

**Висновок:** враховуючи нелодіки, кваліфікаційна робота заслуговує оцінку ***«відмінно»,*** а здобувач **БЛОНСЬКИЙ Андрій** – присвоєння кваліфікації магістр з електронних комунікацій та радіотехніки.

Рецензент: _____ _____
к.т.н, доцент *(підпис)* *(Ім'я, ПРІЗВИЩЕ)*

**ЗМІСТ**

**ВСТУП**..... 11

**РОЗДІЛ 1 СИСТЕМНИЙ АНАЛІЗ МЕРЕЖІ ОПЕРАТОРА ТА ЧИННИКІВ, ЩО ВИЗНАЧАЮТЬ ЕФЕКТИВНІСТЬ ЇЇ ЕКСПЛУАТАЦІ**.. 13

1.1 Експлуатаційна ефективність оператора: витрати, рентабельність і ресурси мереж ..... 13

1.2 Організаційна модель регіональної мережі та вплив факторів оточення19

1.3 Систематизація послуг зв’язку та вимоги сервісів до мережевої інфраструктури ..... 24

1.4 Архітектурно-функціональний опис телекомунікаційної мережі та рівні керування..... 32

**РОЗДІЛ 2 МЕТОДИ ПІДВИЩЕННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ ЕКСПЛУАТАЦІЇ МЕРЕЖІ: ЛОКАЛІЗАЦІЯ, ПРОГНОЗУВАННЯ ТА МОДЕЛЮВАННЯ** ..... 39

2.1 Локалізація контенту/трафіку як інструмент зниження навантаження та витрат оператора ..... 39

2.2 Аналіз часових рядів трафіку та побудова прогнозних моделей навантаження ..... 46

2.3 Математичні моделі ІТС: критерії ефективності, обмеження та задачі оптимізації..... 55

**РОЗДІЛ 3 АЛГОРИТМІЧНІ РІШЕННЯ ДЛЯ МІЖОПЕРАТОРСЬКОЇ ВЗАЄМОДІЇ, КОНТРОЛЮ ТРАФІКУ ТА ПРОТИДІЇ ШАХРАЙСТВУ** ..... 70

3.1 Типологія фроду в телекомунікаційних мережах і канали виникнення ризиків ..... 73

3.2 Практичні процедури детекції фроду: ознаки, правила та аналіз викликів/сесій ..... 82

3.3 Метрика Хаусдорфа для виявлення відхилень у профілях трафіку: алгоритм застосування..... 86

3.4 Виявлення підміни та унікальності номерів: евристична схема аналізу90

**ВИСНОВКИ** ..... 98

**ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ**..... 101

**ДЕМОНСТРАЦІЙНІ МАТЕРІАЛИ**..... 104

# ВСТУП

***Актуальність дослідження.*** Сучасні мережі мобільного зв’язку розвиваються в умовах стрімкого зростання обсягів даних, ускладнення сервісів та підвищення вимог абонентів до якості обслуговування. Поширення відеоконтенту, хмарних сервісів, IoT/IIoT, дистанційної роботи та критичних сервісів реального часу призводить до нерівномірного розподілу навантаження в просторі й часі та підвищує ризики перевантажень у години пік. Одночасно оператори змушені забезпечувати високу доступність мережі, виконання SLA та оптимізацію витрат на розвиток і експлуатацію (CAPEX/OPEX). За таких умов питання підвищення ефективності управління мережами мобільного зв’язку набуває особливої актуальності та потребує застосування сучасних алгоритмів аналізу, прогнозування й оптимізації мережевих ресурсів.

Важливою складовою ефективного управління є використання даних систем експлуатаційної підтримки (OSS), контроль ключових показників якості (KPI), а також застосування методів прогнозування трафіку для планування ємності та проактивного керування. Додатково, з метою зниження затримок і розвантаження транспортної мережі актуальними стають підходи до локалізації трафіку, зокрема використання кешування та CDN. Не менш значущим є й аспект безпеки: фрод та інші загрози знижують економічну ефективність роботи оператора, тому потребують інтеграції механізмів виявлення аномалій і протидії в загальну систему управління мережею.

Вищенаведені обставини обґрунтовують актуальність теми кваліфікаційної роботи, присвяченої дослідженню алгоритмів і методів підвищення ефективності управління мережами мобільного зв’язку.

***Об’єкт дослідження*** – мережі мобільного зв’язку оператора та процеси їх експлуатаційного управління.

***Предмет дослідження*** – алгоритми та методи підвищення ефективності управління мережею мобільного зв’язку на основі аналізу й прогнозування трафіку,

оптимізації використання ресурсів, забезпечення якості сервісу та протидії загрозам/фроду.

***Мета роботи*** – підвищення ефективності управління мережею мобільного зв'язку шляхом застосування алгоритмічних підходів до прогнозування та локалізації трафіку, оптимізації ресурсів і контролю KPI з урахуванням економічних показників CAPEX/OPEX.

***Завдання роботи:***

- проаналізувати архітектуру мереж мобільного зв'язку та підходи до експлуатаційного управління (OSS/BSS);
- визначити ключові показники якості та ефективності роботи мережі (KPI) і фактори, що на них впливають;
- дослідити характеристики сучасного трафіку та методи його прогнозування для планування ємності;
- розглянути методи оптимізації використання мережевих ресурсів і зменшення перевантажень;
- обґрунтувати підходи до локалізації трафіку (кешування/CDN) як інструмент підвищення продуктивності та зниження затримок;
- проаналізувати загрози інформаційній безпеці та фрод і визначити способи їх урахування в системі управління мережею.

***Методи дослідження*** – системний і порівняльний аналіз, методи теорії телетрафіку, математичне моделювання, статистична обробка даних, аналіз KPI/метрик OSS, аналіз науково-технічної літератури та нормативних документів.

***Практичне значення*** одержаних результатів полягає у формуванні рекомендацій щодо підвищення ефективності управління мережею мобільного зв'язку за рахунок прогнозування навантаження, оптимізації ресурсів, локалізації трафіку та врахування заходів безпеки, що сприяє покращенню QoS/QoE, зниженню експлуатаційних витрат і підвищенню надійності роботи мережі.

***Апробація результатів***. Основні положення та результати роботи доповідалися й обговорювалися на наукових та науково-практичних конференціях.

# 1 СИСТЕМНИЙ АНАЛІЗ МЕРЕЖІ ОПЕРАТОРА ТА ЧИННИКІВ, ЩО ВИЗНАЧАЮТЬ ЕФЕКТИВНІСТЬ ЇЇ ЕКСПЛУАТАЦІ

## 1.1 Експлуатаційна ефективність оператора: витрати, рентабельність і ресурси мережі

Оператори електронних комунікацій, як правило, спираються на багаторівневу мережеву базу, що включає магістральний сегмент, транспортну інфраструктуру та підсистеми доступу. Водночас класичні джерела доходу — зокрема широкосмуговий доступ, голосові сервіси та інші “традиційні” послуги — поступово втрачають маржинальність через посилення конкуренції та зміну споживчих моделей. За таких умов підтримання фінансової стійкості дедалі більше залежить від дисципліни витрат: оператору необхідно прогнозовано керувати видатками на експлуатацію, технічне обслуговування, енергоносії, ремонтні роботи та супровід інфраструктури. Саме структура та рівень операційних витрат безпосередньо впливають на підсумковий фінансовий результат і визначають можливості подальшого розвитку мережі. Тому оптимізація витрат, підвищення керованості процесів експлуатації та пошук технологічних важелів зниження навантаження на інфраструктуру виступають одним із ключових напрямів підвищення ефективності діяльності оператора. На рис. 1.1 наведено приклад розподілу витрат оператора фіксованого телефонного зв’язку.

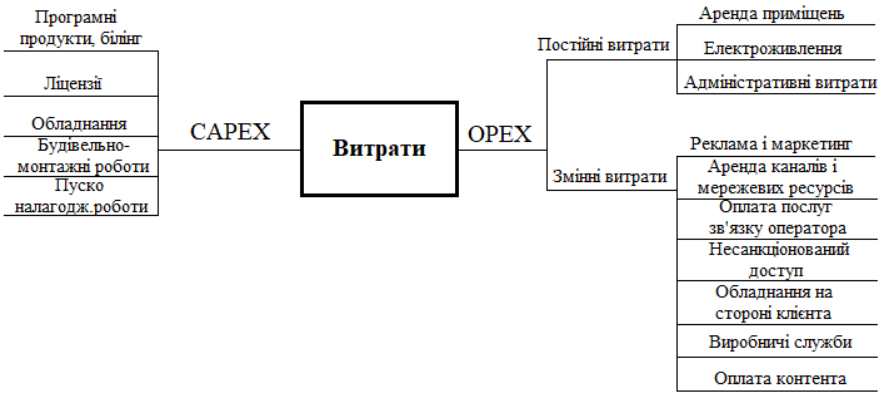



Рис. 1.1 Класифікація витрат оператора зв’язку за CAPEX/OPEX та складовими OPEX

На рис. 1.1 узагальнено логіку формування витрат оператора зв’язку, яку доцільно розглядати через дві базові категорії: капітальні та операційні видатки. CAPEX охоплює інвестиції у створення й модернізацію активів, без яких мережа не може розвиватися: це закупівля обладнання, ліцензій, програмних платформ (зокрема білінгових), а також будівельно-монтажні та пусконалагоджувальні роботи. На відміну від цього, OPEX відображає витрати, що забезпечують щоденне функціонування інфраструктури та надання послуг абонентам.

Операційні витрати доцільно деталізувати на постійні та змінні складові. До постійних належать платежі, які відносно слабко залежать від поточного обсягу трафіку чи кількості активних користувачів, наприклад утримання приміщень, адміністративні витрати, базові витрати на енергопостачання та інші регулярні платежі. Змінна частина OPEX, навпаки, більш чутлива до динаміки попиту та бізнес-активності: сюди відносять витрати на маркетингові активності, оренду каналів і мережевих ресурсів, оплату взаємоз’єднання/послуг інших операторів, витрати на персонал виробничих підрозділів, забезпечення клієнтського обладнання та інші статті, безпосередньо пов’язані з наданням сервісів.

Узагальнюючи, ефективність діяльності оператора в економічному вимірі визначається здатністю перетворювати отримані доходи у фінансовий результат за умови раціонального використання матеріальних, трудових і грошових ресурсів. Тому для оцінювання результативності застосовують показники рентабельності, які пов’язують прибуток із базою, що його формує. Залежно від задач аналізу рентабельність можна визначати, наприклад, як відношення прибутку до активів, інвестованого капіталу або доходів.

Рентабельність оператора доцільно розглядати як результат одночасного впливу двох груп факторів: формування доходів і керування сукупними витратами. У спрощеному вигляді її можна подати як відношення прибутку до загальної ресурсної бази витрат, що забезпечують надання послуг:

$$\text{Рентабельність} = f\ \frac{\text{Прибутки=Монетизація}}{CapEx+OpEx=\text{Оптимізація}} \qquad (1.1)$$

Підвищення фінансового результату оператора, як правило, реалізується двома взаємодоповнювальними напрямами. Перший напрям пов’язаний із зростанням доходної частини за рахунок запуску послуг із вищою доданою вартістю та формування конкурентних переваг (диференціація сервісів, підвищення якості, розширення функціональності та сценаріїв використання), що узагальнено представлено на рис. 1.2. Другий напрям — оптимізація витрат навіть за умов збільшення трафіку та навантаження: зниження CAPEX та OPEX досягають шляхом раціоналізації мережевої топології, централізації експлуатаційних функцій, скорочення витрат на канальні ємності, а також більш ефективного використання ресурсів первинної й транспортної інфраструктури [1].

Базові засади функціонування операторських мереж доцільно групувати за трьома площинами: побудова, експлуатація та розвиток. У межах цих площин визначають: призначення системи та перелік підтримуваних послуг; логічну й фізичну структуру мережі; вимоги до показників якості обслуговування; організацію технічної експлуатації та моніторингу; вимоги до обладнання й програмних компонентів; а також ключові напрямки подальшої модернізації.




Рис. 1.2 Основні напрями підвищення рентабельності оператора зв’язку (доходи та оптимізація витрат)

Умовно, на рис. 1.3 діяльність оператора подано як взаємопов’язану систему експлуатаційних процесів і зовнішніх/внутрішніх впливів, що визначають результативність керування мережею. Найбільш вагомими є технологічні чинники (впровадження 5G, віртуалізація функцій, оркестрація), операційні (моніторинг, реагування на інциденти, забезпечення KPI), а також економічні (структура OPEX/CAPEX та вимоги до оптимізації). Запропонована схема є узагальненням і не претендує на повний опис усіх бізнес-процесів оператора, оскільки реальні моделі залежать від організаційної структури, портфеля послуг і рівня цифровізації OSS/BSS. Водночас для задач цієї роботи така постановка є достатньою, адже дозволяє виділити ключові важелі підвищення ефективності: перехід до end-to-end автоматизації операцій, використання аналітики та AI/AIOps для проактивного управління, а також розвиток керування й оркестрації в багатовендорному середовищі, що відображено у сучасних ініціативах галузі та стандартизації (зокрема напрями автоматизації операцій у GSMA та роботи 3GPP SA5 щодо management & orchestration, OpenAPI/YANG та автоматизації 5G).

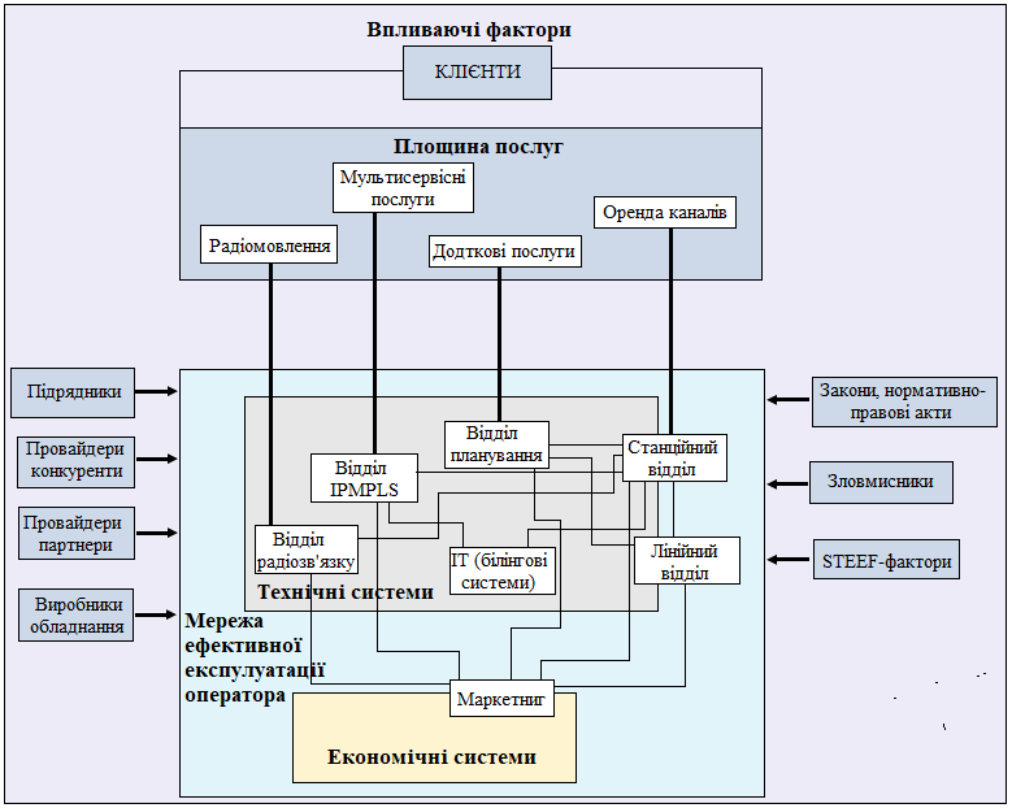



Рис. 1.3 Модель експлуатаційної діяльності оператора зв’язку та зовнішніх чинників впливу (послуги–підрозділи–ресурси)

Зовнішні та внутрішні чинники впливу на оператора:

1. Абоненти та корпоративні клієнти. Попит формує ринкові обмеження для оператора через очікуваний рівень тарифів, вимоги до якості (швидкість, затримка, доступність), зручність розрахунків і контрактних умов. Додатковим важелем впливу є ризик відтоку: за наявності альтернатив користувачі легко мігрують до іншого постачальника, якщо цінність сервісу не підтверджується практикою.

2. Портфель сервісів. Набір послуг (базові та додаткові) визначає як технічну конфігурацію мережі, так і структуру персоналу. Для різних типів сервісів потрібні відмінні компетенції: від інженерів експлуатації та планування ємності до фахівців із білінгу, взаєморозрахунків, продуктових команд і підтримки клієнтів. У 2024–2025 роках додатковий вплив набувають “мережеві API” як механізм монетизації можливостей мережі через стандартизовані інтерфейси (ініціативи на кшталт GSMA Open Gateway).

3. Інші провайдери та оператори. Цю категорію доцільно розділяти на партнерів і конкурентів. Партнерська частина охоплює постачальників каналів, точок доступу, транзиту та взаємоз’єднання, а також сервісних провайдерів, із якими оператор будує інтегровані послуги. Конкурентна група включає компанії, що задовольняють ті самі потреби клієнтів (доступ, голос, контент), впливаючи на цінову політику та вимоги до якості.

4. Порушники та шахрайські схеми. До цієї групи входять як фізичні пошкодження інфраструктури, так і кіберзлочинність, фрод та дії, що призводять до фінансових втрат або деградації сервісу. Актуальні огляди кіберзагроз підкреслюють зростання інцидентності та сталість експлуатації слабких місць телеком-екосистеми, зокрема у застарілих сигнальних протоколах.

5. Регуляторне поле. Закони, ліцензійні вимоги, правила взаємоз’єднання, вимоги до захисту даних і виконання умов надання послуг впливають як на технічні рішення, так і на витрати (комплаєнс, звітність, аудит). Регуляторні обмеження часто визначають допустимі моделі тарифікації та порядок взаєморозрахунків.

6. STEEP-умови (соціальні, технологічні, економічні, екологічні, політичні). Ці чинники не керуються оператором напряму, але задають “фон” для управлінських рішень: від макроекономіки й енергетичних ризиків до темпів розвитку 5G/5G-Advanced та автоматизації операцій. У 2024–2025 роках помітний тренд на автономні мережі й інтелектуальне керування (Autonomous Networks, intent-driven management), що змінює підходи до OSS та експлуатаційних процесів.

7. Виробники обладнання та підрядні організації. Вендори й підрядники впливають на строки модернізації, сумісність рішень, доступність запчастин і якість сервісного супроводу. Для оператора це прямо пов’язано з CAPEX/OPEX та здатністю підтримувати цільові KPI при багатовендорній інфраструктурі та переході до віртуалізованих функцій.

8. Мережа ефективної експлуатації.Ефективність експлуатації операторської мережі визначається узгодженою роботою двох взаємопов’язаних контурів: технічного та економічного. Технічний контур забезпечує працездатність інфраструктури, конфігурацію послуг і контроль показників якості, тоді як економічний відповідає за облік, тарифікацію, оформлення робіт, взаєморозрахунки та управління витратами. Практична результативність досягається лише тоді, коли взаємодія відбувається оперативно — як між цими контурами, так і між підрозділами всередині кожного з них.

Для ілюстрації розглянемо типовий сценарій у регіоні, де надання мультисервісних послуг (наприклад, організація корпоративного VPN) виконує профільний технічний підрозділ (умовно — NGN/пакетні сервіси), однак формування нарядів, супровід договору та розрахунки проходять через економічні служби підприємства. На практиці це означає, що навіть при технічно коректному налаштуванні сервісу затримки в погодженні, обліку або білінгу можуть відтермінувати запуск і знизити загальну ефективність процесу.

Ще більш комплексною є ситуація, коли потрібна організація “останньої милі”. У такому випадку до процесу залучаються кілька підрозділів одночасно: лінійні служби виконують прокладання кабелю (наприклад, кручена пара), станційні — підключають абонентські порти на обладнанні

доступу/мультиплексування, матеріально-технічне забезпечення надає абонентське обладнання (модеми/термінали), а комерційний блок оформлює продаж і супровід послуги. Подібні ланцюжки взаємодії є типовими для щоденної роботи оператора, тому саме швидкість координації між учасниками процесу помітно впливає на якість сервісу, строки підключення та витратну частину.

## 1.2 Організаційна модель регіональної мережі та вплив факторів оточення

Телекомунікаційна система як соціотехнічний об’єкт має власну логіку організації та закономірності розвитку, що залежать від взаємодії компанії з середовищем. Для структурованого аналізу доцільно використати управлінську модель, подану на рис. 1.4, яка розділяє впливи на **внутрішні** та **зовнішні** рівні.

**Внутрішній контур** охоплює кадровий потенціал, матеріальні й фінансові ресурси, а також технічну базу підприємства (мережеве обладнання, програмні платформи, інструменти OSS/BSS). Ці складові перебувають у зоні прямого управління: їх можна планувати, контролювати та оптимізувати через регламенти, показники ефективності й процедури експлуатації.

**Найближче зовнішнє середовище** формують суб’єкти, з якими оператор взаємодіє щоденно: абоненти, конкуренти, підрядні організації, постачальники, партнери та власники/акціонери. Саме на цьому рівні проявляються ринкові вимоги до якості послуг, цінові обмеження та умови постачання ресурсів і технологій [2].

**Віддалене зовнішнє середовище** представлено факторами, які оператор не здатен змінювати безпосередньо, але змушений враховувати під час стратегічного планування. До них належать соціальні, технологічні, економічні, екологічні та політичні умови (STEEP: Social, Technological, Economic, Environmental, Political), що визначають загальні рамки розвитку галузі й впливають на темпи модернізації, регуляторні вимоги та інвестиційну активність.

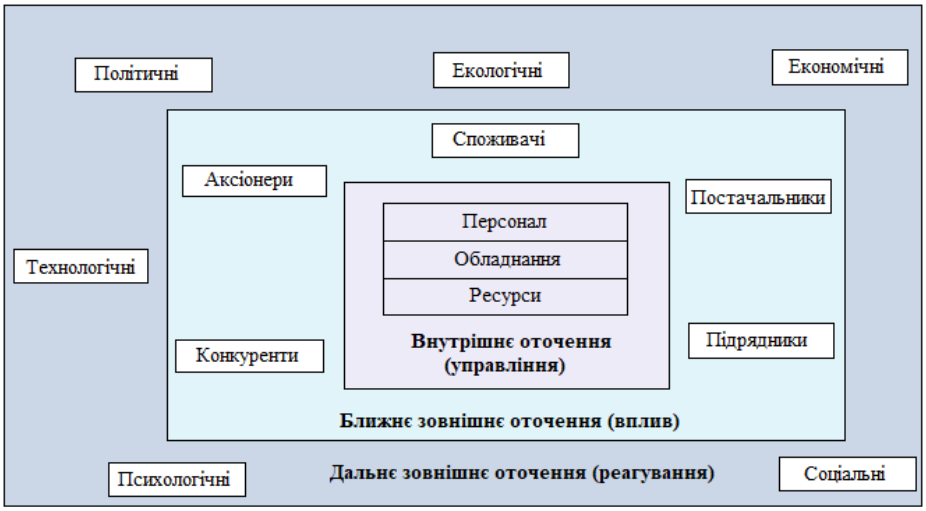



Рис. 1.4 Модель внутрішніх і зовнішніх чинників, що впливають на компанію

Ключове положення полягає в тому, що межі організації не є сталими: вони можуть змінюватися залежно від того, як підприємство вибудовує компроміс між тактичними та стратегічними орієнтирами, поєднує щоденні операційні рішення з довгостроковим розвитком і узгоджує інтереси внутрішніх підрозділів із очікуваннями зовнішніх стейкхолдерів. Виходячи з цього, далі виконаємо оцінювання середовища філії з урахуванням моделі, наведеної вище.

У дослідженнях Лоуренса та Лорша [3] розглянуто, як організації адаптуються до змін оточення через два взаємопов’язані процеси — диференціацію та інтеграцію. Із розширенням масштабів діяльності підприємство, як правило, формує спеціалізовані підрозділи, орієнтовані на різні напрями взаємодії із зовнішнім середовищем та різні типи задач. Такий поділ неминуче створює відмінності у пріоритетах, цінностях, правилах роботи й практичних підходах між підрозділами. Щоб підтримувати керованість і досягати спільного результату, ці різновекторні функції необхідно узгоджувати в межах єдиної системи — саме цей процес і становить інтеграцію. Її форма та інтенсивність визначаються рівнем турбулентності середовища та характером впливів, з якими стикається організація.

**Аналіз далекого оточення регіону (STEEP)**

Під далеким середовищем розуміють сукупність умов, на які оператор не може безпосередньо впливати управлінськими рішеннями, однак вони задають рамки розвитку бізнесу та експлуатації мережі. Для систематизації таких впливів

використано підхід STEEP (Social, Technological, Economic, Environmental, Political), який дозволяє виділити ключові групи факторів та оцінити їхній можливий ефект.

- Економічні фактори. У 2025 році інфляційні процеси залишаються істотним чинником, який впливає і на поведінку споживачів, і на витрати оператора (енергоносії, логістика, сервісні контракти). За даними МВФ, прогноз зростання споживчих цін для України на 2025 рік становить близько 12,6%. IMF Водночас Національний банк України у своїх оглядах зазначає, що інфляція впродовж року може знижуватися до однозначних значень наприкінці 2025 року (у прогнозах НБУ фігурує орієнтир близько 8,7% на кінець 2025). Національний банк України Для телеком-галузі це означає потребу точніше планувати OPEX та уважніше обґрунтовувати CAPEX-рішення, особливо щодо імпортного обладнання й ліцензій.
- Політичні фактори. Зовнішня та внутрішня політика держави формує регуляторне поле для оператора: правила доступу до спектра, вимоги до безпеки, умови взаємоз'єднання, а також обмеження та пріоритети в інфраструктурних проєктах. Політична стабільність/ризики також впливають на інвестиційну активність та строки розгортання мереж.
- Соціальні фактори. Поведінка користувачів змінюється під впливом цифровізації: зростає роль інформаційної обізнаності, попит на надійний мобільний доступ, підвищуються очікування до якості сервісів та швидкості підтримки. Паралельно посилюється тренд на ощадливе використання ресурсів і запит на енергоефективність, що непрямо тисне на операторів через очікування "стійких" сервісів та прозорої якості.
- Технологічні фактори. ІКТ виступають одним із драйверів економічного розвитку, а для операторів це означає постійний технологічний цикл модернізації: перехід до 5G/5G-Advanced, віртуалізація мережевих функцій, розвиток автоматизації експлуатації (OSS/аналітика), а також інтеграція кіберзахисту на рівні мережевих процесів. Позиція щодо стратегічної ролі ІКТ у розвитку

інформаційного суспільства підкреслювалася і в міжнародних документах, зокрема в Окінавській хартії глобального інформаційного суспільств.

- Екологічні фактори. Для операторів це насамперед енерговитрати, вимоги до безперервності живлення вузлів мережі, утилізація обладнання, а також загальні ініціативи щодо зменшення вуглецевого сліду. Екологічний порядок денний дедалі частіше трансформується у практичні вимоги до енергоефективності інфраструктури та закупівель.

**Аналіз ближнього оточення регіону.**

Під ближнім оточенням розуміють сукупність ринкових учасників, з якими оператор взаємодіє у щоденній діяльності: це постачальники, діючі та потенційні клієнти, конкуренти, партнери, а також інституції, що забезпечують доступ до ресурсів і сервісів підтримки [4].

1) Споживачі. Склад і структура клієнтської бази визначаються профілем послуг, територією покриття та специфікою попиту. Вплив клієнтів проявляється через очікування щодо тарифів, вимоги до якості (швидкість, затримка, безперервність), бажані моделі оплати та рівень сервісної підтримки. Додатковим тиском є ризик відтоку: за наявності альтернатив абонент може змінити провайдера у разі незадовільного досвіду користування. У телекомунікаціях доцільно застосовувати сегментацію на масовий ринок (B2C), корпоративний сектор (B2B) і операторів/провайдерів (B2O), оскільки для кожного сегмента характерні різні вимоги до SLA, тарифікації та процесів підключення.

2) Постачальники. Постачання обладнання, програмних платформ, контенту, енергоресурсів та інших критичних ресурсів формує залежність оператора від зовнішніх контрагентів. Така залежність безпосередньо впливає на собівартість послуг, темпи модернізації мережі, можливості масштабування та підтримання цільових KPI. У цій ситуації завдання оператора полягає у зниженні ризиків ресурсної залежності: диверсифікації постачальників, стандартизації вимог, плануванні запасів, а також переході до рішень, які спрощують експлуатацію і зменшують витрати на підтримку.

3) Конкурентне середовище. Для обґрунтування управлінських рішень важливо одночасно оцінювати інтенсивність конкуренції та власні позиції на ринку. З одного боку, потрібно визначити ключових конкурентів, їх сильні сторони, ймовірні загрози та канали перетягування абонентів. З іншого — оцінити власні конкурентні переваги (покриття, якість, ціна, сервіс, унікальні послуги) та сформувати стратегію, яка забезпечує утримання клієнтів і стабільність доходів.

4) Інфраструктурне середовище підтримки. Окрему групу становлять структури, що забезпечують організацію фінансовими, кадровими, інформаційними й транспортними ресурсами та сервісами. До них належать фінансові установи, ринок праці й навчальні платформи, консалтингові та інтеграційні компанії, логістичні/транспортні організації, страхові структури тощо. Розвиненість цієї екосистеми впливає на швидкість реалізації проєктів, доступність компетенцій і загальні операційні ризики.

Важливо враховувати, що телекомунікаційну систему як “велику систему” доцільно аналізувати у трьох взаємопов’язаних площинах: фізичній, економічній та кібернетичній. У фізичному вимірі мережа є сукупністю абонентських пристроїв, лінійно-кабельних споруд і станційних/цивільних об’єктів, які забезпечують передавання інформації. В економічному вимірі телекомунікації функціонують як комплекс підприємств, що використовує активи й ресурси для створення корисного продукту та надання послуг. У кібернетичному вимірі мережа розглядається як багаторівнева ієрархія, в межах якої реалізуються процеси управління й контролю на різних рівнях [5], що узагальнено на рис. 1.5.

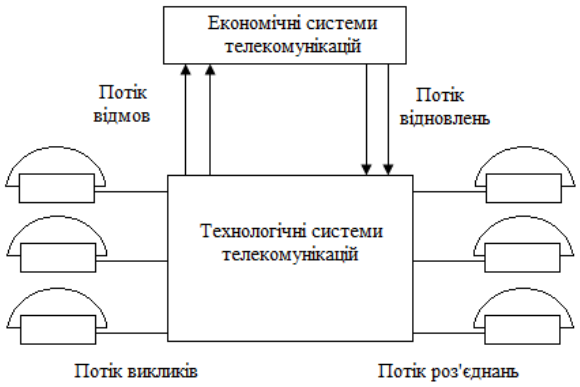



Рис. 1.5 Взаємодія економічної та технологічної підсистем телекомунікацій і потоки подій експлуатації

На рис. 1.5 показано принципову взаємодію технологічної та економічної підсистем телекомунікацій. Технологічна частина формує потоки подій експлуатації: виклики, роз'єднання, а також відмови та відновлення. Економічна підсистема інтерпретує ці події як підставу для тарифікації, білінгу, взаєморозрахунків, оцінювання доходів і контролю витрат, пов'язаних з якістю сервісу та аварійністю. Таким чином, реальна ефективність оператора залежить від того, наскільки швидко та коректно події мережі перетворюються на керовані економічні показники, а управлінські рішення — повертаються у вигляді дій, що впливають на стійкість та якість роботи мережі.

До ключових KPI, які пов'язують технологічні події з економічними наслідками, належать: доступність, частота відмов, середній час відновлення (MTTR), успішність встановлення з'єднання, рівень втрат/дропів, а також показники доходу на одиницю ресурсу (наприклад, дохід на ГБ/на абонента).

У сучасних мережах (4G/5G) цей зв'язок дедалі частіше реалізується через OSS-аналітику та автоматизацію: події мережі збираються, корелюються та використовуються для проактивного керування ресурсами, що одночасно підвищує якість сервісу і зменшує операційні витрати.

## 1.3 Систематизація послуг зв'язку та вимоги сервісів до мережевої інфраструктури

Принципи класифікації послуг. Центральним "продуктом" телекомунікаційного ринку виступає послуга зв'язку, тобто результат діяльності оператора, спрямований на приймання, оброблення, зберігання та передавання інформації користувача. У нормативному трактуванні Міжнародного союзу електрозв'язку (ITU-T) у рекомендації I.112 послуга надання зв'язку розглядається як вид обслуговування, що забезпечує реалізацію можливостей зв'язку між користувачами з урахуванням функцій термінального обладнання та протоколів, визначених для відповідного типу зв'язку [6].

З метою зрозумілого позиціювання сервісів для клієнтів та регуляторного опису діяльності оператора, у ліцензійних умовах зазвичай фіксують перелік базових (основних) послуг — мінімально необхідний набір, який має бути доступним при введенні мережі в комерційну експлуатацію. Узагальнену схему класифікації основних телекомунікаційних послуг подано на рис. 1.6. Запропонований поділ ґрунтується на системному підході та враховує технологічні особливості надання послуг у мережі оператора.

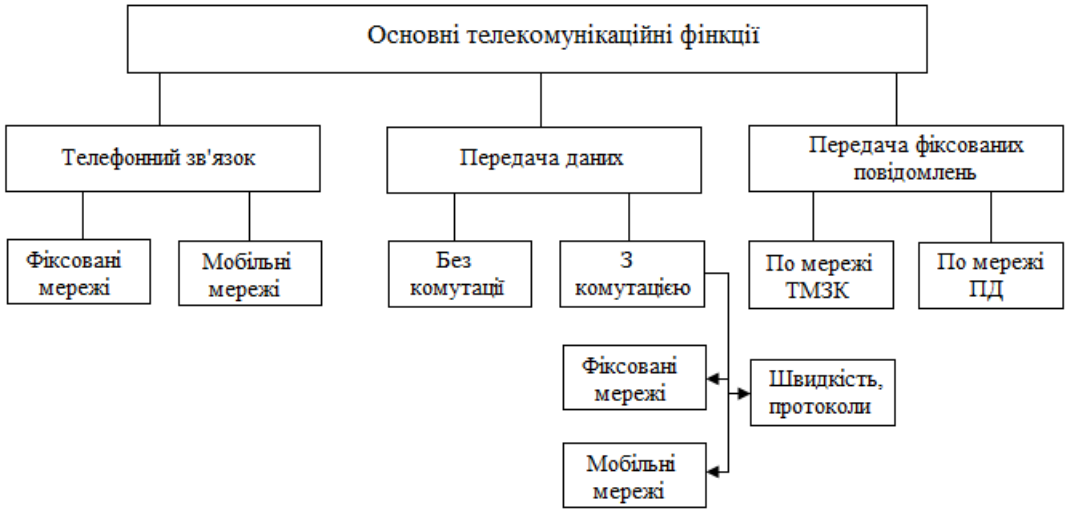



Рис. 1.6 Групування базових телекомунікаційних сервісів

Додаткові послуги (VAS, Value-Added Services), які пропонують разом із базовим зв’язком, часто стають для оператора важливим джерелом прибутку: у низці випадків вони забезпечують маржинальність, співставну з “ядром” сервісів, а інколи й формують більшу частину доданої вартості. Водночас частина VAS може надаватися як елемент утримання абонента (пакетні опції, промо-інструменти, “бонусні” сервіси), тобто з акцентом не на прямий прибуток, а на зниження відтоку та підвищення лояльності.

Станом на 2024–2025 роки традиційні телеком-послуги дедалі більше сприймаються ринком як стандартизований “товар”, через що операторам складніше підвищувати ціни при одночасній потребі інвестувати в інфраструктуру. PwC У таких умовах додаткові сервіси перетворилися на окрему індустрію (контент, сервісні платформи, агрегатори, цифрові продукти), а також доповнилися

новими напрямами монетизації можливостей мережі. Зокрема, у 2025 році посилюється тренд на використання мережевих API як товару (ініціативи на кшталт GSMA Open Gateway) та на застосування GenAI й автоматизації для запуску нових цифрових продуктів і підвищення операційної ефективності (модернізація OSS/BSS, аналітика, AIOps).

З практичної точки зору оператору важливо розуміти, які властивості сервісу “споживають” мережні ресурси (ємність, затримка, надійність, вимоги до безпеки) та як це впливає на забезпечення заданих KPI. Тому класифікацію послуг доцільно будувати як багатовимірну, використовуючи систему класифікаторів (за типом сервісу, клієнтським сегментом, моделлю споживання, вимогами до QoS/QoE та способом реалізації), що створює основу для коректного планування ресурсів і підтримання якості [7].

На рис. 1.7 наведено узагальнену структуру додаткових послуг.

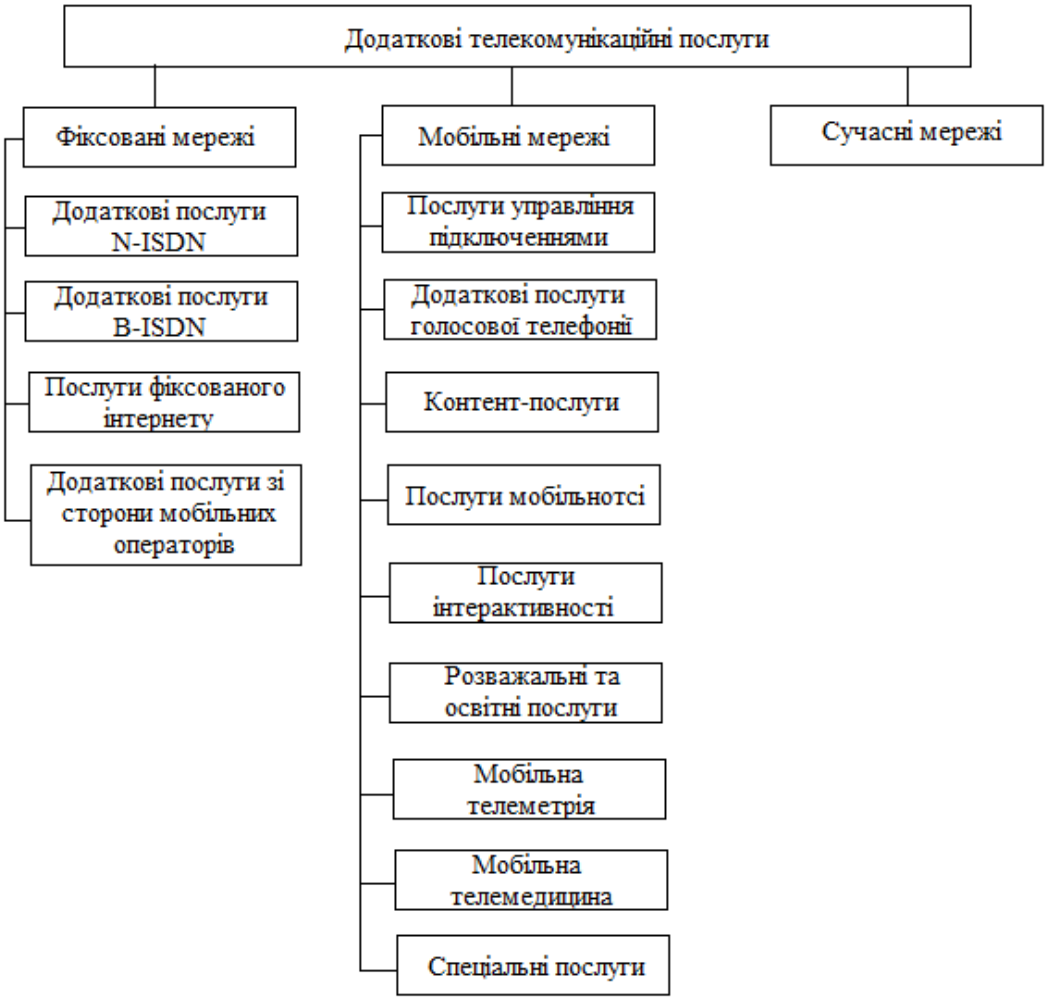



Рис. 1.7 Структурування послуг із доданою вартістю

Рис. 1.7 відображає, що послуги з доданою вартістю формуються як надбудова над базовою інфраструктурою та можуть бути прив’язані до типу мережі: фіксованої, мобільної або сучасних конвергентних рішень. Для оператора така структуризація важлива тим, що різні групи VAS мають різні вимоги до мережевих ресурсів і процесів експлуатації (наприклад, контент — до пропускної здатності й затримки, а телемедицина/телеметрія — до надійності та безпеки). Це дає підстави пов’язувати портфель додаткових сервісів із плануванням ємності, політиками QoS та витратами OPEX/CAPEX.

На рис. 1.8 подано узагальнену схему групування телекомунікаційних сервісів, упорядковану за ступенем їх пріоритетності для аналізу. Виділено такі ознаки класифікації:

- за видом передаваного інформаційного вмісту (контенту);
- за механізмом надання доступу користувача до сервісу;
- за категорією споживача (сегментом клієнтів);
- за моделлю інформаційної взаємодії (характером обміну даними).

На рис. 1.8 наведено багатовимірний підхід до класифікації послуг зв’язку, який дозволяє аналізувати сервіс не лише за назвою, а за сукупністю ознак: тип контенту, механізм доступу, категорія клієнта та модель обміну інформацією. Така схема зручна для експлуатаційних задач, оскільки кожна ознака прямо впливає на вимоги до KPI (швидкість, затримка, доступність), механізми моніторингу та витрати на підтримку якості. У подальшому це може використовуватися для підбору технологічних рішень (наприклад, кешування/локалізація трафіку, сегментація, пріоритизація) і коректного розрахунку економічного ефекту.

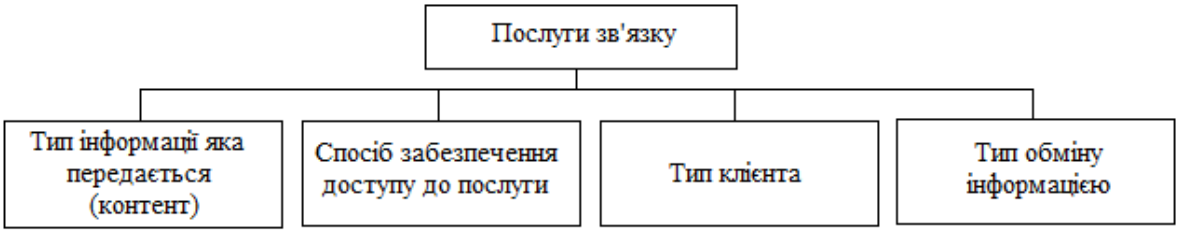



Рис.1.8 Узагальнена схема класифікації сервісів зв’язку

Класифікацію послуг за типом передаваного інформаційного вмісту (контенту) подано на рис. 1.9. У межах цього підходу сервіси доцільно згрупувати за такими напрямами:

- телефонні та відеотелефонні сервіси;
- передавання даних і широкомовні (broadcast) сервіси;
- послуги виділених каналів, для яких зміст трафіку не є визначальним;
- інфраструктурні сервіси, що забезпечують доступність і функціонування мережевої платформи.




Рис. 1.9 Поділ послуг за видом передаваного контенту

До телефонних сервісів відносять послуги передачі голосу, орієнтовані переважно на кінцевих користувачів та інтерактивну взаємодію “користувач–користувач”. У практиці оператора вони реалізуються у фіксованому та мобільному сегментах і можуть надаватися як у традиційній схемі, так і на основі пакетної передачі (VoIP/VoLTE/VoNR), що впливає на вимоги до затримки, стабільності каналу та механізмів QoS. Паралельно зростає роль відеокомунікацій: відеотелефонія та відеоконференції все частіше розглядаються як окремий клас сервісів у складі уніфікованих комунікацій (UC), оскільки вони мають вищі вимоги до пропускної здатності та якості передачі, ніж класичний голос. За подальшого розвитку таких сценаріїв відеосервіси можуть бути виокремлені у самостійний підтип послуг, що доцільно враховувати під час планування мережевих ресурсів і підтримання KPI.

У сучасних умовах зближення технологій і сервісів (конвергенція фіксованих та мобільних мереж, перехід до пакетної передачі) межі між класичними голосовими послугами та іншими сервісами справді стають менш чіткими. Водночас для практичного аналізу зручно зберігати ознаку, яка традиційно відрізняє телефонний сервіс: сеанс встановлюється на підставі адресації абонента

(номер, ідентифікатор користувача), а логіка обслуговування орієнтована на взаємодію “користувач–користувач” у реальному часі. Історично тарифікація голосу пов’язана з тривалістю з’єднання (хвилини/інтервали), причому така модель обліку може застосовуватися незалежно від того, чи реалізовано сервіс у традиційній мережі, чи на основі пакетних технологій (VoIP/VoLTE/VoNR).

Сегмент передавання даних охоплює послуги, що відрізняються насамперед мережевими протоколами та принципами маршрутизації/комутації (IP та суміжні рішення; історично — ATM, Frame Relay, X.25 тощо). Для таких сервісів розрахунки найчастіше прив’язані до обсягу переданого трафіку, швидкісних параметрів доступу або пакета умов надання послуги. На практиці важливу роль відіграють і договірні показники якості (SLA), а також плата за зарезервовану ємність і час використання каналу (наприклад, для корпоративних підключень або магістральних сегментів).

Широкомовні сервіси орієнтовані на доставку інформації від джерела до великої аудиторії у форматі “один—багатьом”. Класичними прикладами є телемовлення і радіомовлення, а сучасний розвиток цього класу пов’язаний із розширенням функцій у бік інтерактивності (наприклад, інтерактивне телебачення, гібридні моделі доставки контенту, інтеграція з IP-платформами).

Послуги виділених каналів передбачають надання користувачеві каналу/лінії з наперед визначеними параметрами, де вартість зазвичай залежить від типу підключення та граничної пропускної здатності, а не від фактичного вмісту чи кількості переданих даних. Такі сервіси часто використовують як основу для корпоративних рішень (наприклад, транспорт для VPN або критичних сервісів), де пріоритетом є прогнозованість характеристик.

Окремо виділяють інфраструктурні послуги, які не зводяться безпосередньо до передачі інформації клієнтом, але забезпечують умови для роботи телеком-екосистеми. До них належить оренда інфраструктури (приміщення, місця розміщення обладнання, елементи мережі), інженерне та консультаційне супроводження, а також проєктні й будівельні роботи для сторонніх організацій (операторів або корпоративних замовників).

Класифікація за категорією клієнта наведена на рис. 1.10. У прикладному аналізі зазвичай розрізняють три групи: сервіси для інших операторів/провайдерів, рішення для корпоративного сегмента, а також послуги для індивідуальних користувачів.

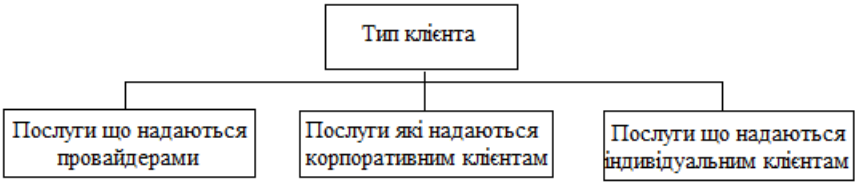



Рис. 1.10 Розподіл послуг за категоріями споживачів

Сегменти споживачів, наведені на рис. 1.10, суттєво різняться як за набором сервісів, так і за вимогами до мережевої платформи та рівня експлуатаційної підтримки. Для індивідуальних користувачів критичною є масовість, зручність тарифних пакетів і стабільність якості в зоні покриття. Корпоративний сегмент, навпаки, акцентує увагу на гарантованих характеристиках, керованості та формалізованих умовах надання послуг (SLA), включно з підтримкою пріоритезації трафіку та інтеграцією з інфраструктурою замовника. Взаємодія з іншими операторами/провайдерами має окрему специфіку, оскільки тут домінують моделі оператор-оператор (B2O): або формат “оптовий постачальник ресурсів — роздрібний продавець”, що породжує продаж ємності, доступу, магістральних/транзитних ресурсів, або формат паритетної взаємодії через взаємоз’єднання, де ключовими є сервіси обміну трафіком і його термінації [7]. У 2025 році цей сегмент додатково посилюється розвитком програмованих мережевих можливостей (мережеві API) та гнучких моделей надання ресурсів для партнерів, що поступово розширює класичне поняття “оптових” послуг за рахунок функцій керованості й якості на рівні сервісу.

Класифікація за способом доступу (рис. 1.11) уточнює, якими технологіями нижчих рівнів мережевої ієрархії забезпечується доставка базової послуги до клієнта. Такий поділ є практично важливим, оскільки різні технології доступу відрізняються пропускною здатністю, затримкою, надійністю, вартістю впровадження та експлуатації, а отже — по-різному впливають на CAPEX/OPEX і

досяжні KPI. До прикладів способів доступу належать: комутовані телефонні з’єднання та ISDN; транспортні мережі SDH з різними швидкісними профілями; пакетні технології (Frame Relay, ATM, HDLC); Ethernet-доступ із різними швидкостями; сімейство xDSL (ADSL, SDSL, SHDSL); пасивні оптичні мережі PON; гібридні HFC-мережі; а також бездротові рішення доступу, які реалізуються через стільникові технології та фіксований радіодоступ залежно від умов покриття й вимог до сервісу.

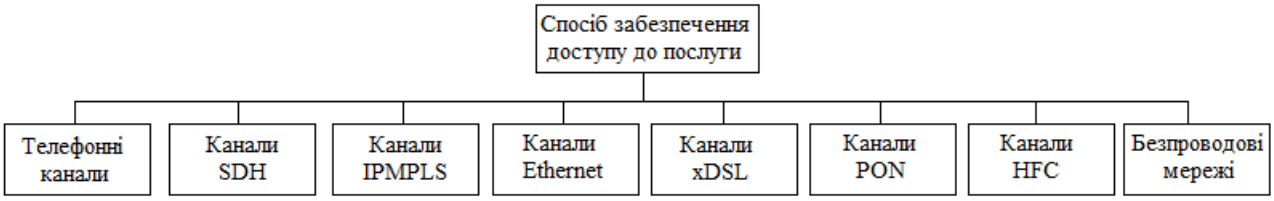



Рис. 1.11 Технологічні варіанти доступу до сервісів та базові типи підключення

Класифікацію взаємодії за моделлю обміну інформацією/трафіком подано на рис. 1.12. Вона охоплює чотири основні сценарії: надання доступу до ресурсів власної мережі, двосторонній обмін, транзит та централізований обмін через вузол/центр (із можливим клірингом взаєморозрахунків) [7].

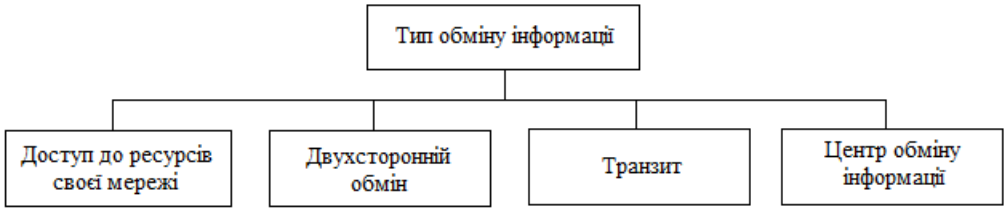



Рис. 1.12 Моделі обміну трафіком: доступ, двостороння взаємодія, транзит та центр обміну

Надання доступу до ресурсів мережі є найпоширенішою формою взаємодії оператора з індивідуальними та корпоративними клієнтами, а також з іншими провайдерами. Якщо оператор, окрім власних ресурсів, забезпечує вихід до сторонніх мереж, то за масштабом охоплення розрізняють доступ у межах локальної зони, міжрегіональний доступ та міжнародний (через зовнішні напрямки й точки взаємоз’єднання).

Двостороння взаємодія реалізується через домовленості про взаємоз’єднання та завершення викликів/сеансів (термінацію трафіку): кожна зі сторін одночасно

виступає і постачальником, і споживачем послуг партнера. Економічний результат у цьому випадку формується залежно від балансу вхідного й вихідного трафіку, тарифних умов та географії (локальна/міжрегіональна/міжнародна складова), що фіксується відповідними угодами.

Транзит означає використання інфраструктури оператора для передавання трафіку між двома точками присутності (PoP) інших мереж або між сегментами однієї мережі/корпоративної інфраструктури. Такий формат може деталізуватися за територіальним принципом, а за відсутності обліку “за обсягом” часто наближається до моделі послуги виділеного каналу/єдиного транспортного плеча з фіксованими параметрами.

За значної кількості взаємоз’єднань і потреби скоротити накладні витрати на “договірну сітку” можливе створення центру обміну інформацією на базі мережі оператора. У цьому випадку учасники не укладають окремі двосторонні угоди один з одним, а підключаються до центра, отримуючи можливість обміну трафіком через централізовану інфраструктуру. Такий підхід стає доцільним тоді, коли модель “кожен з кожним” виявляється дорожчою за взаємодію через єдину точку, особливо з урахуванням супутніх сервісів (маршрутизаційна координація, моніторинг, розширені звіти, а за потреби — кліринг взаєморозрахунків).

Якщо аналогічний принцип централізованого обміну застосувати до корпоративного замовника, який об’єднує офіси, віддалені підрозділи, мобільних і домашніх працівників через різні технології доступу, то на практиці це реалізується як віртуальна приватна мережа (VPN), де оператор забезпечує логічно єдине середовище взаємодії поверх різнорідної транспортної інфраструктури.

## 1.4 Архітектурно-функціональний опис телекомунікаційної мережі та рівні керування

Більшість інтеграційних перетворень у телекомунікаціях спрямована на те, щоб зменшити загальні витрати оператора — або через скорочення інвестиційної складової (CAPEX), або через оптимізацію операційних витрат (OPEX).

Додатковий ефект інтеграції полягає у зниженні експлуатаційних ризиків: менша кількість технологічних “островів” і уніфіковані процеси керування полегшують контроль якості, прискорюють усунення інцидентів та формують більш прогнозовану модель розвитку мережі. Поширена теза про те, що абонентам “важливо”, як саме побудована мережа, у більшості випадків не підтверджується практикою: користувача цікавить не архітектура, а вимірювані характеристики сервісу (стабільність, швидкодія, затримка, доступність) та його ціна.

Окремо слід підкреслити, що найбільш відчутний резерв економії часто лежить саме в площині експлуатації. Сучасні підходи до автоматизації операцій (end-to-end automation) та перехід до більш автономних принципів керування мережею розглядаються галуззю як інструменти істотного зменшення OPEX завдяки оптимізації процесів, швидшому реагуванню та кращому розподілу ресурсів у реальному часі. В оглядах, присвячених автономним мережам, також підкреслюється, що автоматизація може давати помірні або значні операційні виграші, зокрема за рахунок підвищення операційної ефективності та зниження витрат на мережеві операції.

Для оператора, який одночасно підтримує декілька класів сервісів (голос, відео, передавання даних), економічна логіка конвергенції очевидна: єдина мультисервісна платформа зазвичай дешевша у розвитку й супроводі, ніж кілька окремих мереж, кожна з яких оптимізована під вузький набір послуг. У межах сучасної еволюції (NGN/IM, віртуалізація функцій, хмарні підходи та оркестрація) інтеграція дозволяє скорочувати дублювання обладнання, спрощувати експлуатаційні процедури та підвищувати керованість життєвого циклу сервісів, що позитивно впливає і на CAPEX, і на OPEX [8]. Додатково до цього галузеві архітектурні рамки зосереджуються на модернізації OSS/BSS і зменшенні витрат на інтеграції та супровід за рахунок стандартизації й автоматизації операцій.

Складові експлуатації доцільно починати з обліку та інвентаризації. Неможливо керувати тим, що не описано: для стабільної експлуатації оператору потрібна повна й актуальна інформація про мережеві об’єкти, їх параметри, конфігурації та супровідну документацію. Такий облік має бути не “статичним

архівом”, а живим контуром даних, який легко оновлюється: персонал повинен мати можливість швидко додавати нові елементи, фіксувати зміни в існуючих вузлах і підтримувати єдине інформаційне поле для планування, аварійного реагування, білінгу та контролю якості. Саме тому в сучасних підходах до трансформації операцій підкреслюється роль уніфікованих операційних моделей та цифрових архітектур, що підтримують керування сервісами й ресурсами в наскрізному режимі.

Підхід до експлуатації та керування телекомунікаційною інфраструктурою традиційно описують поняттям OSS (Operations Support Systems) — сукупністю процесів і програмних засобів, що забезпечують моніторинг, конфігураційні зміни, інвентаризацію ресурсів, управління аваріями, показниками якості та життєвим циклом послуг. Мотиви впровадження OSS найчастіше мають економічну природу: коли можливості зростання за рахунок розширення ринку або “простого” нарощування абонентської бази вичерпуються, ключовим резервом підвищення прибутковості стає зниження операційних витрат і підвищення керованості процесів експлуатації. У цьому випадку особливо важливо мінімізувати непродуктивні витрати, пов’язані з дублюванням робіт, розрізненими інструментами обліку, затримками реагування на інциденти, нераціональним використанням обладнання, а також ризиками шахрайства й зловживань у мережі.

На практиці OSS-рішення часто розрізняють за архітектурним підходом: вертикальні (орієнтовані на швидке введення та супровід конкретних послуг “зверху вниз”, від бізнес-рівня до технічного обліку) та горизонтальні (побудовані як єдина наскрізна система, що охоплює ключові домени діяльності оператора і забезпечує узгоджені довідники ресурсів і сервісів, уніфіковані процеси та інтегровану аналітику) [9], [10]. Вибір підходу визначається масштабом мережі, рівнем багатовендорності, вимогами до швидкості запуску продуктів і зрілістю операційних процесів.

У документах міжнародної стандартизації пропонується розглядати керування мережею як багаторівневу систему (рис. 1.13), де функції розподілені від технічних елементів до бізнес-процесів. Нижній рівень пов’язаний із управлінням

елементами (окремі вузли, платформи, системи передачі), вище розташований рівень управління мережею на території (у тому числі в багатовендорному середовищі), далі — рівень управління послугами із контролем якості та договірних умов, а верхній рівень відноситься до управління бізнесом [9]. Така декомпозиція є зручною для планування ресурсів, формування каталогу послуг і визначення відповідальності підрозділів за показники якості та витрат.

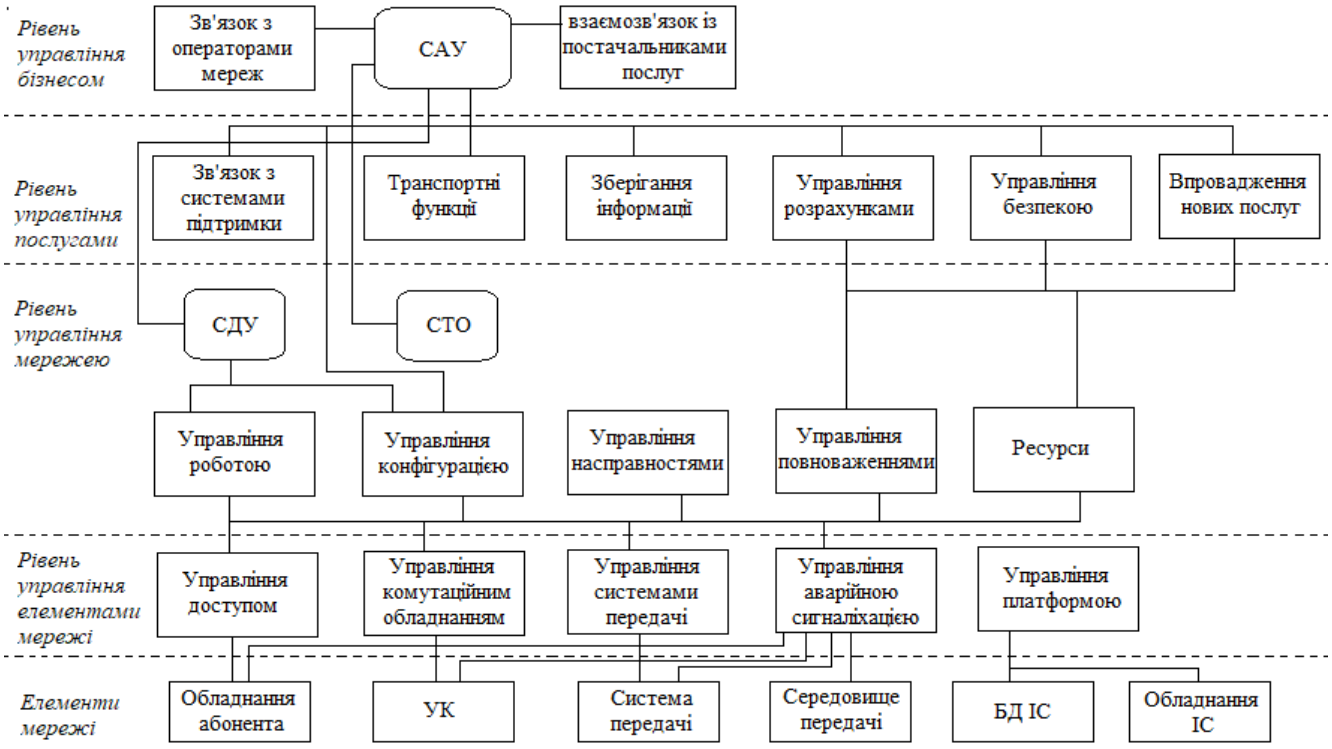



Рис. 1.13 Ієрархія керування ресурсами оператора: від мережевих елементів до бізнес- та сервісного рівнів

Рис. 1.13 демонструє, що ресурсна база оператора формується на рівні мережевих елементів (обладнання й платформи), а керування реалізується ієрархічно: від технічних доменів (доступ, комутація, передавання, сигналізація) до управління мережею, послугами та бізнесом. Такий підхід дозволяє пов’язати планування потужностей і запуск сервісів із конкретними функціями експлуатації — обліком, конфігураціями, аваріями, правами доступу та безпекою.

**Вимоги до мереж зв'язку**. Інфокомунікаційна послуга по суті забезпечує доставку інформації між учасниками взаємодії, тобто “переміщує” повідомлення у

просторі та часі за допомогою технічної інфраструктури. Набір і характеристики сервісів, що отримує абонент, визначаються низкою умов: застосованою технологією абонентського підключення, можливостями кінцевих пристроїв (терміналів), а також правилами замовлення, активації та надання послуги.

Користувач обирає канал зв'язку, спираючись на тип повідомлення, вимоги до терміновості та очікуваний рівень якості. Якщо ці очікування не виконуються (наприклад, через надмірну затримку, низьку швидкість або нестабільність), практична цінність переданої інформації зменшується, а інколи втрачається повністю. У випадках, коли послуга формується за участі кількох операторів, якість набуває "мережевого" характеру: кінцевий результат залежить від параметрів окремих ділянок маршруту (вхідної, вихідної та транзитної). Це підвищує вимоги до сумісності технічних рішень і до узгодженості процедур експлуатації, щоб забезпечити потрібні споживчі характеристики сервісу в цілому [11].

З позиції користувача якість кінцевого продукту зв'язку доцільно описувати через сукупність властивостей: швидкодія (швидкість передавання/доставки), точність і достовірність відтворення, збереження повідомлень, конфіденційність і захист, доступність і простота отримання послуги, зручність користування, а також екологічні та безпекові аспекти. У міжнародній практиці ці поняття розкриваються через терміни QoS (quality of service) і QoE (quality of experience), де QoS відображає технічні параметри мережі, а QoE — сприйняття сервісу користувачем.

Нормативні вимоги щодо якості надання послуг та відповідальності оператора визначаються національним законодавством і регуляторними документами; порушення встановлених показників може мати адміністративні й юридичні наслідки. З погляду оператора управління якістю означає організацію роботи мережі та сервісних процесів так, щоб забезпечити задані характеристики на рівні інфраструктури та обслуговування: наявність необхідних сервісів, зручність їх використання, належний рівень підтримки, а також захист від несанкціонованого доступу, вандалізму та помилок персоналу.

Беручи до уваги специфіку сучасних інфокомунікаційних сервісів, до мереж зв'язку доцільно висувати такі вимоги:

- мультисервісність — можливість підтримувати різні сервіси поверх спільної транспортної основи;
- широкосмуговість — підтримка гнучкого масштабування швидкості й ємності відповідно до поточного попиту;
- мультимедійність — передавання голосу, даних і відео з необхідною синхронізацією та параметрами реального часу;
- інтелектуальність — керованість сервісу та з'єднань на основі політик, автоматизації й сервісних сценаріїв;
- інваріантність доступу — можливість отримання послуг незалежно від технології підключення (за умови виконання вимог до якості);
- багатооператорність — підтримка наскрізних послуг у взаємодії кількох операторів із розподілом відповідальності та SLA.

У 2024–2025 роках ці вимоги практично посилюються завдяки розвитку програмованих можливостей мережі та автоматизації керування: з'являються сценарії, де підприємства можуть запитувати мережеві характеристики "на вимогу" через стандартизовані API (наприклад, Quality on Demand у межах ініціатив GSMA Open Gateway / CAMARA), що прямо пов'язує технічні параметри мережі з контролем якості сервісів. Також зростає роль intent-driven підходів до експлуатації та автономного керування, які розглядаються як механізм підвищення рівня автоматизації й стабільності управління мережею.

Забезпечення якості потребує комплексного підходу, що поєднує технічні вимірювання (QoS), оцінку сприйняття сервісу (QoE) та контроль виконання вимог як з боку споживачів, так і з боку оператора (рис. 1.14).

На рис. 1.14 показано, що оцінювання якості в інфокомунікаціях доцільно виконувати за трьома взаємопов'язаними блоками: якість обслуговування користувачів, якість послуги та якість інфокомунікаційної мережі. Перший блок відображає сервісну складову з позиції клієнта та організації підтримки (забезпеченість необхідними послугами, зручність користування, продуктивність виконання операцій, культура обслуговування). Другий блок описує власне властивості послуги як продукту (захищеність/безпека, швидкість передавання,

достовірність і цілісність повідомлень, конфіденційність). Третій блок фіксує технічний стан і можливості мережі, зокрема показники надійності (інтенсивність/ймовірність відмов, середній час напрацювання та відновлення), параметри якості сигналу, пропускну здатність вузлів і доступний ресурс мережі.

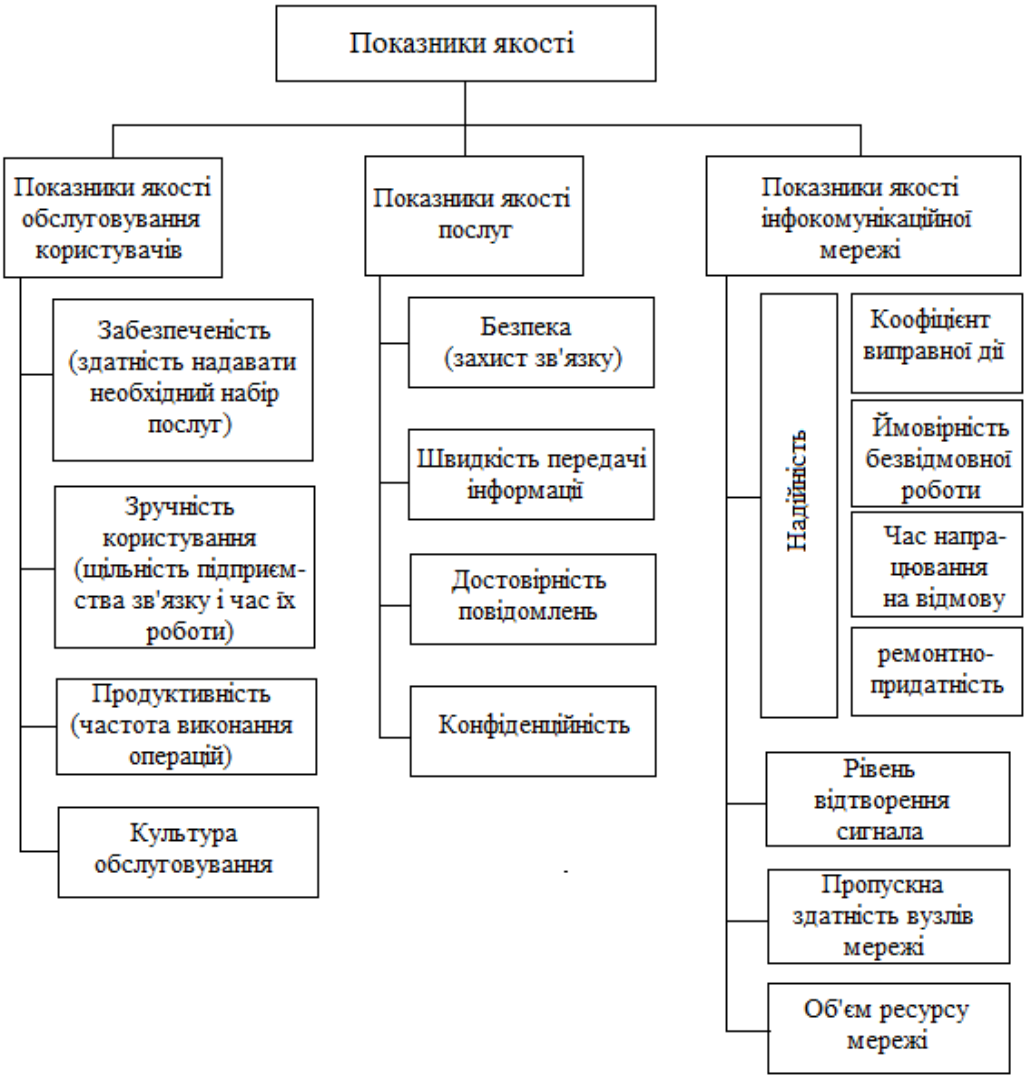



Рис. 1.14 Структура показників якості (KPI) для інфокомунікаційних послуг і мережі

Така декомпозиція важлива тим, що проблеми якості можуть виникати на різних рівнях: навіть за справної мережі негативне враження клієнта може формуватися через недоліки обслуговування, а висока “сервісність” не компенсує деградацію мережевих показників. У 2025 році цей підхід додатково підсилюється практикою розділення QoS (технічні метрики) та QoE (сприйняття користувачем), що дозволяє точніше пов’язувати мережеві параметри з реальним досвідом клієнта.

# 2 МЕТОДИ ПІДВИЩЕННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ ЕКСПЛУАТАЦІЇ МЕРЕЖІ: ЛОКАЛІЗАЦІЯ, ПРОГНОЗУВАННЯ ТА МОДЕЛЮВАННЯ

## 2.1 Локалізація контенту/трафіку як інструмент зниження навантаження та витрат оператора

Функціонування телеком-ринку сьогодні визначається переходом від “класичного” доходу на голосі до домінування мультимедійного та IP-трафіку, що закономірно ускладнює архітектуру мережі та підвищує вимоги до її транспортної складової. У реальних умовах оператор не завжди може нескінченно нарощувати магістральні ємності: на це впливають бюджетні обмеження, вартість зовнішнього транзиту та потреба підтримувати економічну ефективність. Саме тому одним із найпрактичніших інструментів оптимізації стає збільшення частки трафіку, який обслуговується “всередині” мережі оператора, без виведення його у зовнішні магістралі.

Під локалізацією трафіку доцільно розуміти сукупність технічних і організаційних заходів, що переносять обмін даними ближче до абонента: у власні вузли оператора, до локальних платформ контенту, кешів або точок взаємоз’єднання. Практичний ефект такого підходу двоякий: (1) зменшується залежність від зовнішнього транзиту і витрати на нього; (2) вивільняються транспортні ресурси, що особливо важливо під час пікових навантажень. В європейських оглядах IP-екосистеми окремо підкреслюється роль on-net CDN та кешів у мережах провайдерів доступу і те, що зростання UHD-відео та live-контенту може збільшувати піковий трафік — а отже, підсилює значущість локального розміщення контенту.

На рис. 2.1 наведено узагальнену групу заходів, які оператор може застосовувати для підвищення рівня локалізації трафіку.

1. Розвиток власних контентних ресурсів і сервісних платформ. Оператор може підтримувати набір внутрішніх сервісів (поштові, файлові, ігрові, корпоративні портали тощо) і розміщувати їх у власній інфраструктурі або на edge-

майданчиках. Для стабільної роботи потрібні керовані серверні ресурси, система адміністрування, актуальна база абонентів/користувачів, а також засоби кіберзахисту (міжмережеві екрани, системи виявлення атак і контроль доступу). Такий підхід підвищує “частку локального споживання” і покращує відгук сервісів для абонентів.

2. Зниження зовнішнього навантаження за рахунок кешування та локальних копій контенту. Ефективним методом є використання кеш-серверів або розміщення контенту в on-net CDN: популярні об’єкти зберігаються ближче до користувача і повторно видаються з локального вузла без звернення до віддаленого ресурсу. Це скорочує трафік у висхідних/транзитних напрямках і зменшує затримки. Дослідження з практичними вимірюваннями підтверджують, що кешування здатне суттєво знижувати використання “вузьких” каналів і змінювати структуру web-трафіку на користь локального обслуговування запитів. З урахуванням трендів 2024–2025 років (UHD-відео, live-стримінг) розміщення кешів/контенту “всередині” мережі стає ще важливішим для керування піками.

3. Домовленості про обмін трафіком (peering) та взаємодія з іншими операторами/контент-провайдерами. Підключення до точок обміну трафіком (IXP) або прямі peering-угоди з великими контент-платформами зменшують обсяг транзитного трафіку й роблять маршрути коротшими. У результаті оператор отримує економію на зовнішніх каналах і, як правило, кращу QoE для абонентів за рахунок зниження затримок і меншої кількості “проміжних” сегментів.

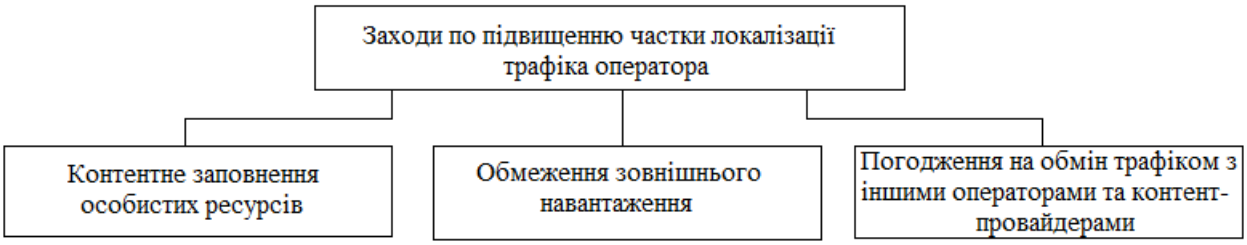



Рис. 2.1 Заходи оператора для збільшення локалізації трафіку

Мережева інфраструктура доставки та розподілу контенту у світовій практиці описується терміном CDN (Content Delivery Network / Content Distribution Network). Її основне призначення — підвищити якість сприйняття сервісу

користувачем і водночас утримувати витрати на доставку даних на прийнятному рівні за рахунок розміщення контенту ближче до споживача.

Для оператора ключовим завданням у такій архітектурі є раціональне розміщення кеш- і контент-серверів у власній мережі (наприклад, у вузлах агрегації або на периферії/edge). Це дозволяє розвантажувати “вузькі місця” зовнішніх магістралей та скорочувати обсяги транзитного трафіку, наближаючи популярні дані до користувача. У 2024–2025 роках актуальність цього підходу зростає через збільшення частки відео, live-стримінгу та вимог до низьких затримок, що підсилює роль edge-розміщення і локального кешування в мережах доступу.

Обґрунтування доцільності встановлення таких серверів базується на методиці розв’язання задачі їх розміщення. Для задач цього класу найчастіше застосовують математичні моделі оптимізації, де бажаний результат формулюють через цільову функцію (мінімізація витрат/затримок або максимізація ефекту/корисності), а також вводять систему обмежень (ємність вузлів, пропускна здатність каналів, допустимі затримки, бюджет, надійність тощо). У літературі такі задачі тісно пов’язані з постановками оптимального розміщення (facility location) та оптимізації кешування/edge caching, де враховують популярність контенту, вартість зберігання і мережеві витрати доставки.

Загальна послідовність переходу від опису проблеми до формальної постановки та вибору методу розв’язання наведена на рис. 2.2: від аналізу зовнішнього середовища й формування мети — до побудови концептуальної та математичної моделі, визначення цільової функції й обмежень та проєктування алгоритму.

Попередній опис ситуації. У мультисервісній мережі регіону нині фіксується стійке зростання мультимедійного IP-трафіку. Це зумовлено одночасною дією кількох чинників: розширенням абонентської бази, поширенням безлімітних/пакетних тарифів доступу до Інтернету, а також збільшенням кількості й різноманітності застосунків, якими активно користуються абоненти (зокрема відеосервіси та інтерактивні платформи).

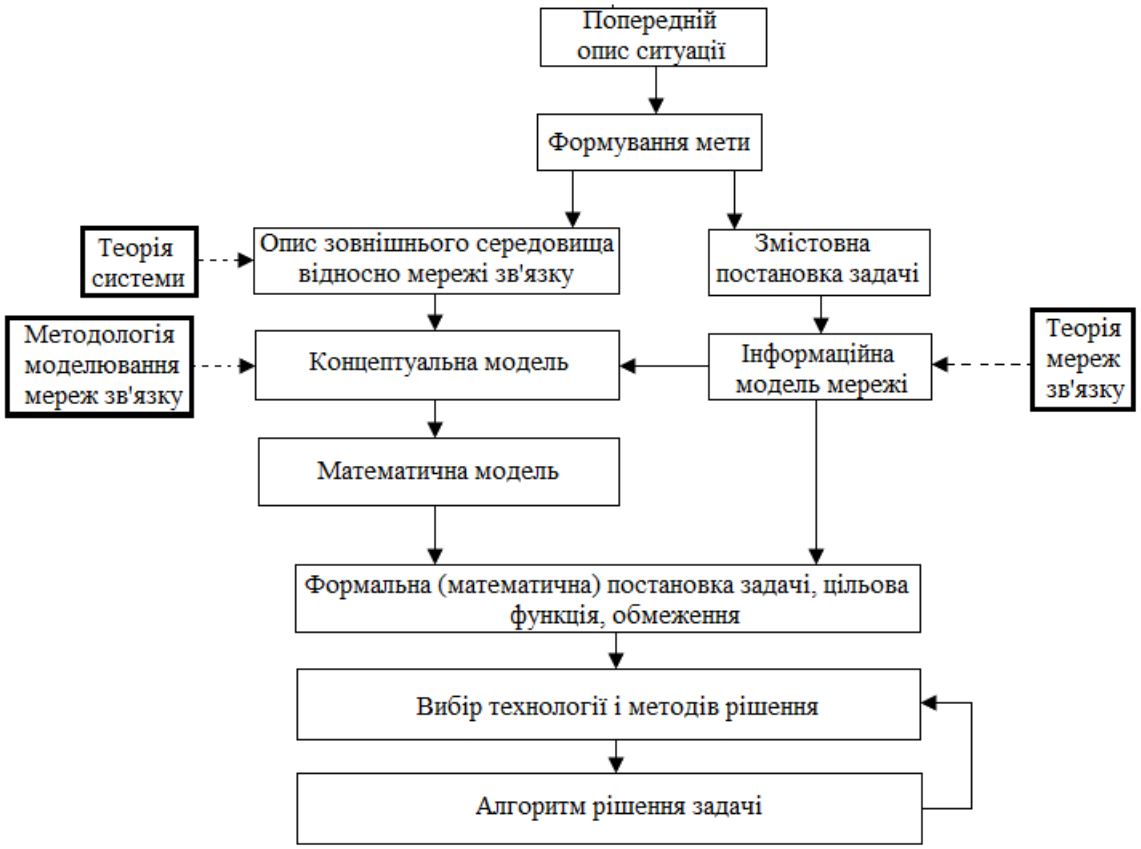



Рис. 2.2 Логіка постановки та формалізації задачі оптимізації (від опису середовища до алгоритму розв’язання)

Наслідком є підвищене навантаження на магістральні канали, поява “вузьких місць” у транспортному сегменті та ризик погіршення показників якості. Окремою проблемою виступає рентабельність послуг передавання даних: нарощування зовнішньої ємності майже завжди означає пряме збільшення витрат на транзит/закупівлю зовнішнього трафіку. Тому для оператора ключовими залишаються два взаємопов’язані пріоритети — забезпечення потрібної якості сервісів та підтримка економічної ефективності.

У цій постановці завдання зводиться до пошуку таких технічних рішень, які дозволяють підвищити дохідність і керованість мережі без пропорційного зростання витрат. За заданих параметрів попиту (кількість абонентів, обсяги споживання, вимоги до QoS/QoE) необхідно визначити структуру мережі та налаштування її елементів так, щоб виконати вимоги до обслуговування і при

цьому мінімізувати наведені витрати на організацію передавання. Таким чином, задача має комбінований характер і поєднує економічні та технічні критерії.

Формулювання мети. Під час оптимізації мережі зв’язку частина параметрів є заданою величиною (абонентська база, загальні обсяги послуг, цільові показники якості). Керованими змінними зазвичай виступають топологія, розміщення мережевих вузлів і параметри елементів (ємності, характеристики каналів, правила маршрутизації/обслуговування).

Одним із практичних способів оптимізації мультисервісної мережі з точки зору зниження навантаження на магістральний сегмент є впровадження або перегляд схеми розміщення контент-серверів і кеш-вузлів як елементів інфраструктури [16]. Розміщення контентних платформ у межах мережі оператора підвищує частку локально обслуговуваних запитів, а також може покращувати конкурентні позиції завдяки зменшенню затримки та підвищенню стабільності доступу до популярних ресурсів. Кеш-сервери, у свою чергу, знижують кількість звернень до зовнішніх напрямків шляхом повторної видачі запитуваних об’єктів із локального сховища, що дає змогу розвантажити зовнішні канали та “наблизити” дані до абонента.

Змістовна постановка задачі. Для обґрунтування доцільності встановлення серверів і вибору їх параметрів доцільно оцінити такі групи показників:

- попит на послуги передавання даних і його динаміку;
- темп зростання абонентів та зміни структури споживання;
- транспортну архітектуру й технології доступу в межах філії;
- обсяги зовнішнього трафіку (download/upload), а також частку локально обслуговуваних запитів;
- завантаженість існуючих вузлів локалізації (кеш/контент) та їхні ресурсні обмеження;
- інтенсивність запитів, профіль популярності контенту та пікові режими;
- ринкове оточення і конкурентні умови (наявність альтернативних провайдерів/партнерів);

- систему вимог та обмежень (якість, надійність, масштабованість, бюджет, рентабельність);
- формування цільової функції та критеріїв вибору рішення (мінімум витрат/транзиту, максимум локалізації, виконання QoS/QoE тощо).

Загальні відомості про мережевий контекст. Оцінювання стану обладнання та вибір місць розміщення доцільно виконувати з урахуванням фактичної архітектури мережі філії. Як правило, ядро мережі передавання даних базується на пакетній комутації з використанням IP і має ієрархічну (багаторівневу) побудову. Така організація спрощує масштабування, підвищує відмовостійкість і забезпечує керованість за рахунок розподілу функцій між рівнями (ядро — агрегація — доступ), що є важливим при впровадженні вузлів локалізації трафіку та подальшій оптимізації ресурсів.

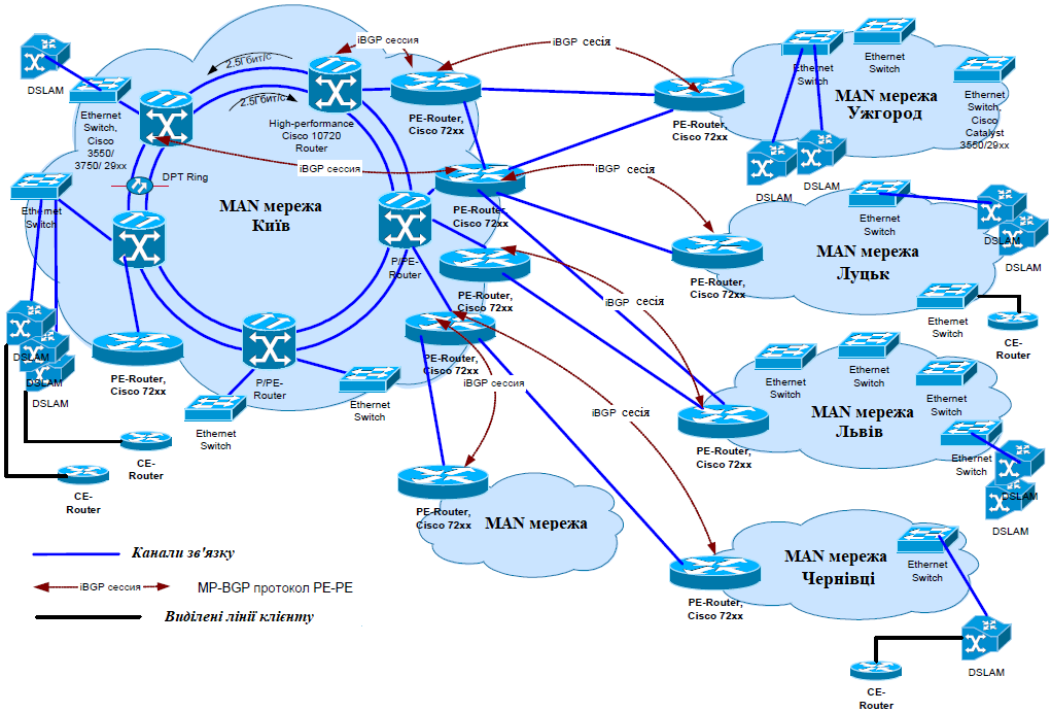



Рис. 2.3 Узагальнена архітектура мультисервісної мережі передавання даних регіону

Сувора ієрархічна побудова мультисервісної мережі дає практичні переваги під час масштабування: спрощує діагностику, локалізує зони відповідальності, зменшує час пошуку несправностей і підтримує модульний розвиток —

продуктивність нарощується додаванням окремих вузлів або сегментів без необхідності радикальної перебудови всієї системи.

Рівні організації мережі:

- Рівень доступу. Формує підключення кінцевих користувачів та виконує концентрацію абонентських ліній. На цьому рівні реалізується логічне розділення абонентів (VLAN/VRF та інші механізми), застосовуються профілі швидкості/обмеження на вході до мережі, а також базові функції захисту. Сукупність вузлів доступу, які підключаються до спільного вузла/вузлів розподілу, розглядають як домен доступу.
- Рівень концентрації (розподілу). Забезпечує агрегування потоків від комутаторів/вузлів доступу та передає зведений трафік до вищих рівнів.
- Транспортний рівень (ядро). Виступає високошвидкісною магістраллю, яка об’єднує домени розподілу та забезпечує надійне перенесення великих обсягів даних між ключовими вузлами.
- Рівень агрегації. Концентрує трафік із “кілець” або груп доступу та організовує їх з’єднання з магістральною частиною мережі.
- Магістральний рівень. Топологія цього рівня визначається географією та розміщенням вузлів, а також наявними транспортними коридорами (у результаті можливі кільцеві, зіркові або змішані схеми).
- Рівень кордону. Забезпечує взаємодію з зовнішніми мережами та підключення до зовнішніх транспортних/транзитних напрямків.

На магістральному сегменті зазвичай спостерігається стале зростання обсягів переданого та споживаного трафіку. Це змушує операторів збільшувати пропускну здатність транспортних каналів, що нерідко супроводжується додатковими витратами на зовнішню ємність і транзит, а отже — підсилює потребу в заходах з оптимізації та локалізації трафіку.

Особливості мережі доступу та еволюція технологій. Оцінювання мережі доступу показує, що історично поширена технологія ADSL має обмеження, які знижують її перспективність для ринку, що швидко зростає: наявний фізичний “стельовий” рівень смуги пропускання та залежність якості від стану мідної пари.

Додатково зі збільшенням кількості активних ліній посилюються взаємовпливи у кабелі (перешкоди/наведення), що робить характеристики з’єднання менш прогнозованими і може викликати нестабільність сервісу. Унаслідок цього ADSL складно розглядати як базу для довгострокового росту швидкостей і для підтримки сучасних мультимедійних сценаріїв.

Як універсальніший напрям розвитку в доступі широко застосовується FTTx, оскільки він забезпечує вищі швидкості й кращу масштабованість, а також добре узгоджується з типовою абонентською технікою та сучасними мережевими інтерфейсами. Окремо слід виділити пасивні оптичні мережі, зокрема GPON, які ґрунтуються на деревоподібній волоконно-оптичній архітектурі з пасивними розгалужувачами на проміжних вузлах. Такий підхід забезпечує ефективне нарощування абонентів і дає можливість масштабувати пропускну здатність відповідно до потреб користувачів [17].

Розвиток мережі доступу прямо впливає на потенціал зростання абонентської бази та середніх швидкостей, а отже — і на загальні обсяги трафіку. З урахуванням тенденцій, проаналізованих у першому розділі, можна очікувати подальшого збільшення попиту на послуги передавання даних та підвищення навантаження на транспортну інфраструктуру, що додатково актуалізує задачу оптимізації і локалізації трафіку в мережі оператора.

## 2.2 Аналіз часових рядів трафіку та побудова прогнозних моделей навантаження

Для аналітичної частини було використано статистику трафіку оператора «Київстар» за кілька років. В основу покладено показники споживання зовнішнього, внутрішнього та сумарного трафіку за період 2018–2021 років. Дані, відображені на рис. 2.4, чітко демонструють сталу тенденцію зростання навантаження на мережу та збільшення обсягів передавання даних. На динаміку вплинули три ключові чинники: суттєве розширення абонентської бази, запровадження високошвидкісних тарифів та збільшення кількості контентних

сервісів, які споживають великі обсяги трафіку (стримінг, соцмережі, хмарні платформи).

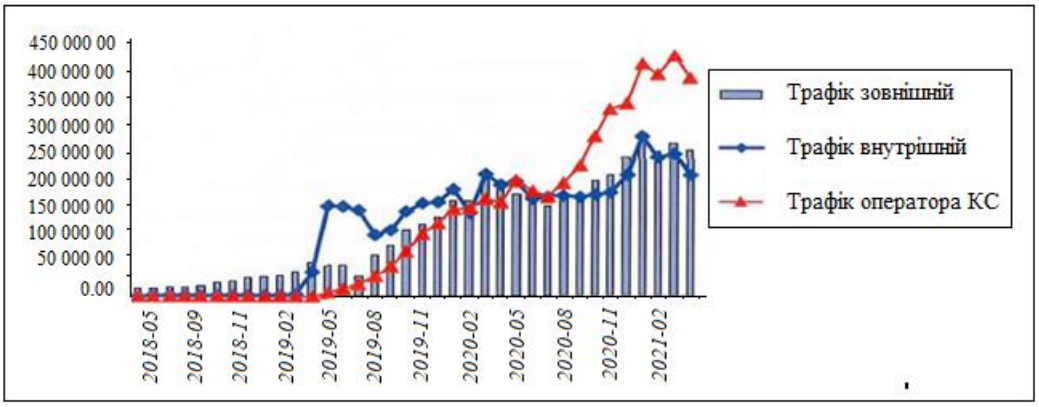



Рис. 2.4 Часові ряди навантаження мережі (приклад статистики трафіку)

Зі збільшенням навантаження оператор стикається з двома основними викликами: підвищенням витрат на закупівлю зовнішнього трафіку та необхідністю підтримувати працездатність мережевої інфраструктури під високими піковими навантаженнями. Це робить актуальною задачу оптимізації транспортного сегмента та підвищення частки локалізованого трафіку.

Первинна обробка даних. Оскільки первинні логи формувалися окремо для кожної сесії, їх було доцільно перетворити у структуру, придатну для досліджень. Для цього реалізували програмний модуль, який групує показники за днями, тижнями та тарифними планами. Після перетворення дані стали однорідними, що дозволило застосовувати порівняльний аналіз та будувати коректні часові ряди.

Аналіз динаміки. У дослідженні було проаналізовано поведінку внутрішнього та зовнішнього трафіку за кілька років. Графічний аналіз показав, що вхідний трафік (download) переважає протягом 2019–2020 років, що опосередковано свідчить про активну політику оператора щодо надання доступу до популярного контенту та підтримки користувачів.

При побудові тренду на повному наборі даних (36 періодів) рівень статистичної значущості виявився низьким, однак виділення “молодшої” частини вибірки (22 останні періоди) дало прийнятний рівень точності. Це доводить, що для реальних телекомунікаційних часових рядів важливо враховувати актуальну

частину динаміки, оскільки старі значення часто відображають іншу поведінку користувачів, застарілі тарифи чи умови ринку.

Таким чином, при аналізі трафіку не завжди виправдано використовувати весь історичний масив — точніший прогноз дає адаптивна модель, що базується на останніх значущих коливаннях.

Виявлення періодичності (робочі/неробочі цикли). Статистика тарифних планів за 34 тижні 2021 року показує виражену циклічність. Для користувачів, які регулярно перевищують ліміти, характерний повторюваний тижневий ритм споживання: робочі та вихідні мають різні профілі використання.

У досліджуваному тарифі діяло обмеження на зовнішній вхідний трафік у 80 ГБ, після чого швидкість суттєво знижувалася. Саме тому профіль споживання формував чітку періодичну структуру — користувачі намагалися розподілити активність так, щоб не перевищувати порогові обмеження завчасно.

Факторний аналіз. Факторний аналіз дав змогу оцінити вплив різних змінних на середнє використання внутрішнього трафіку. Перевірена гіпотеза полягала у тому, що обсяг завантаження із зовнішніх ресурсів пов’язаний із чисельністю активних абонентів. Для розрахунків було застосовано інструменти MS Excel, що дозволило враховувати як трендову, так і сезонну складову.

Отримані результати підтвердили наявність вираженої сезонності та зростаючого тренду, що притаманно сучасним телекомунікаційним мережам, де ключову частку трафіку формують відеосервіси, онлайн-ігри та хмарні додатки.

Підсумкові спостереження. На рис. 2.4 чітко видно, що навантаження на мережу має періодичний характер із загальною зростаючою тенденцією. У прогнозуванні поняття періоду [18] застосовується до регулярних коливань — їхня тривалість визначається специфікою аналізу. Наприклад, для щоденного циклу сезонністю може вважатися один день, для робочого тижня — тижневий цикл, для довгострокових змін — місяці або квартали.

У випадках, коли амплітуда коливань стабільна, доцільно застосовувати адитивну модель, тоді як при пропорційному зростанні амплітуди разом із трендом ефективнішою буде мультиплікативна модель. Обидва підходи дозволяють

будувати наближений прогноз, що корисно для планування пропускних спроможностей каналів і визначення потреби в локалізації трафіку.

Адитивний підхід до прогнозування часового ряду можна подати як суму складових:

$$F = T + S + E \tag{2.1}$$

де E - прогнозоване значення показника; T - трендова складова; S - сезонна компонента, E - випадкова похибка (залишок).

Мультиплікативну модель доцільно застосовувати тоді, коли сезонні коливання не є сталою добавкою, а масштабуються разом із трендом, тобто становлять певну частку від рівня ряду (цей підхід широко використовується у відповідних роботах, зокрема [55]). У такому разі модель записують як:

$$F = T \times S \times E \tag{2.2}$$

Практично відмінність між цими моделями найзручніше визначати за характером сезонної варіації: для адитивного випадку амплітуда сезонних відхилень близька до сталої, тоді як у мультиплікативному — вона зростає або зменшується синхронно зі зміною тренду. Щоб коректно обрати тип моделі, виконують перевірку адекватності: формують кілька варіантів моделей і порівнюють їх за величиною помилки. У даній роботі оцінювання виконано через суму абсолютних відхилень, після чого зроблено висновок, що для наявних даних більш придатною є адитивна схема.

Далі формуються моделі, які описують обсяг трафіку, локалізованого філією. Кількість варіантів визначається підбором з урахуванням точності та достовірності апроксимації. На етапі, коли наперед невідомо, яка форма тренду найкраще відповідатиме динаміці, доцільно протестувати стандартні типи трендових залежностей, доступні в MS Excel: лінійну, логарифмічну, поліноміальну, степеневу та експоненціальну.

На рис. 2.5 представлено порівняння отриманих ліній тренду для локалізованого трафіку, а у таблиці 2.1 наведено показники надійності апроксимації (достовірності) для кожного варіанта.

Таблиця 2.1

Порівняльна оцінка якості апроксимації тренду за коефіцієнтом детермінації $R^2$ (лінійна, експоненціальна, логарифмічна, поліноміальна 3-го/6-го ступеня, степенева)

| Метод апроксимації | Лінійна | Експоненціальна | Логарифмічна | Поліноміальна | | Степенева |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | (3-й ступінь) | (6-й ступінь) | |
| $R^2$ | 0,923 | 0,8257 | 0,6464 | 0,9619 | 0,9796 | 0,8278 |




Рис. 2.5 Порівняння трендових ліній за показником достовірності апроксимації

Для підвищення наочності та спрощення подальших розрахунків у прикладі обрано три трендові залежності з найкращими показниками достовірності апроксимації: лінійну ($R^2$=0,923), поліноміальну 3-го ступеня ($R^2$=0,9619) та поліноміальну 6-го ступеня ($R^2$=0,9796), що видно з табл. 2.1 і графічного порівняння на рис. 2.6. Інші варіанти (логарифмічна, експоненціальна, степенева) демонструють нижчу якість узгодження з емпіричними даними, тому на цьому етапі їх не використовують.

Далі для кожного з трьох трендів визначається сезонна складова. Для цього по кожному періоду (місяцю) обчислюється залишок як різниця між фактичним значенням локалізованого трафіку та значенням тренду в цьому ж періоді. Отримані залишки групують за “однойменними” місяцями (усі січні разом, усі люті тощо) і знаходять середнє значення для кожного місяця року. Щоб сезонні

відхилення були збалансованими, виконують нормування: загальну суму середніх сезонних оцінок ділять на кількість місяців у сезоні (12), а потім цю поправку віднімають від кожної місячної оцінки. Після такого коригування сума сезонних компонент за рік наближається до нуля, що відповідає вимогам адитивної моделі.

У ході перевірки виявлено, що для лінійного тренду та поліномів 3-го і 6-го ступеня відхилення скоригованих сезонних компонент від нульової суми залишаються помітними, отже, вираженість сезонності у наявних даних не є однозначною. Водночас з урахуванням специфіки телекомунікаційного ринку (нерівномірність споживання протягом року, святкові/відпускні періоди, реакція абонентів на тарифні зміни) сезонний ефект доцільно припускати і враховувати, розуміючи, що в такому випадку прогнозна похибка може зрости. При побудові прогнозу обчислені сезонні значення переносять на відповідні місяці прогнозного інтервалу та додають до трендових значень.

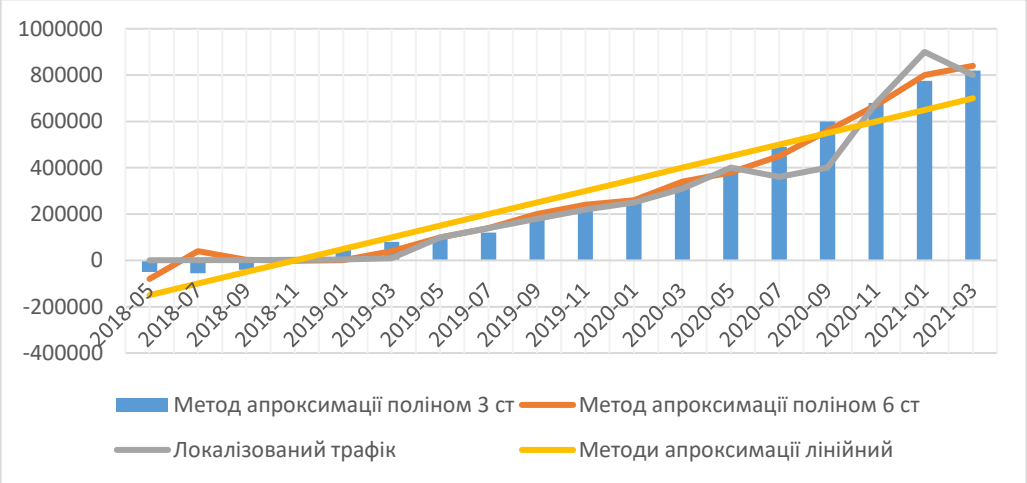



Рис. 2.6 Набір обраних способів апроксимації для подальшого моделювання

Висновок щодо вибору тренду. За показником достовірності апроксимації найкращий результат демонструє поліноміальна залежність 6-го ступеня ($R^2$=0,9796), тому її доцільно розглядати як основний кандидат для побудови прогнозу локалізованого трафіку. Водночас використання високого ступеня може призводити до переузгодження (модель добре “підлаштовується” під історичні дані, але гірше працює на майбутніх періодах), особливо якщо ряд містить різкі стрибки або структурні зміни. З цієї причини додатково залишають у порівнянні

поліном 3-го ступеня ($R^2$=0,9619) як більш “стійкий” компроміс між точністю та узагальнювальною здатністю, а лінійний тренд ($R^2$=0,923) використовують як базову модель-орієнтир для контролю адекватності результатів.

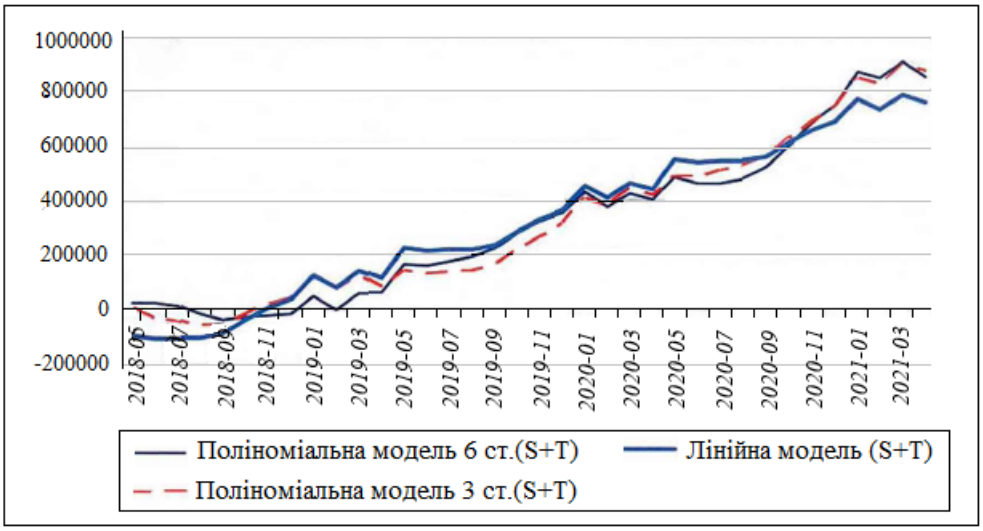



Рис. 2.7 Тренд із сезонною складовою (результат побудови моделі)

Отримавши для трьох рівнянь тренду (T), відповідні сезонні складові (5) можна перейти до обчислення похибок побудованих моделей EEE. Для цього для кожного періоду спочатку визначаємо розрахункове значення моделі як суму S+T, після чого знаходимо відхилення від фактичних даних: $E = F - (S + T)$ де F — фактичне значення показника у відповідному періоді, T — тренд, S — сезонна компонента..

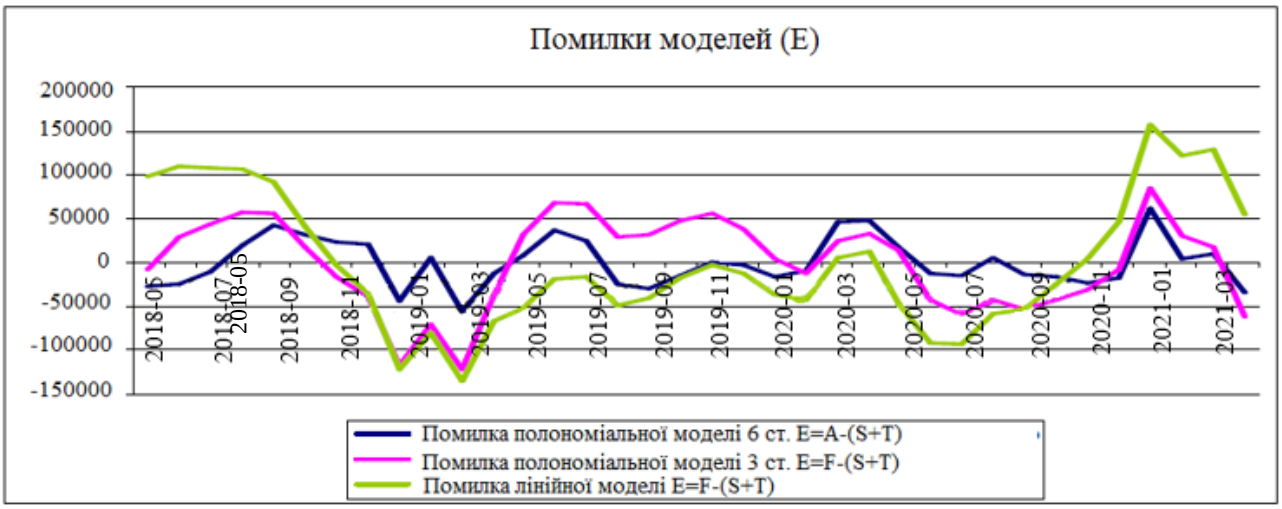



Рис. 2.8 Похибки моделей прогнозування (E) у часовому розрізі

На основі масиву знайдених похибок обчислюємо середньоквадратичні оцінки для кожного періоду, а також узагальнені показники для кожної моделі (табл. 2.2), що дозволяє порівняти моделі між собою за точністю.

Середньоквадратичну помилку моделі визначаємо як середнє значення квадратів відхилень від фактичних даних:

$$E = \Sigma O^2 : \Sigma(\mathrm{A} - (\mathrm{E} + S))^2 \qquad (2.3)$$

Далі, використовуючи отримане значення СКП, розраховуємо інтегральну точність моделі за формулою:

(точність моделі) = [1-(середнє значення СКП)]*100% (2.4)

де СКП — середнє значення середньоквадратичної помилки для розглянутого інтервалу.

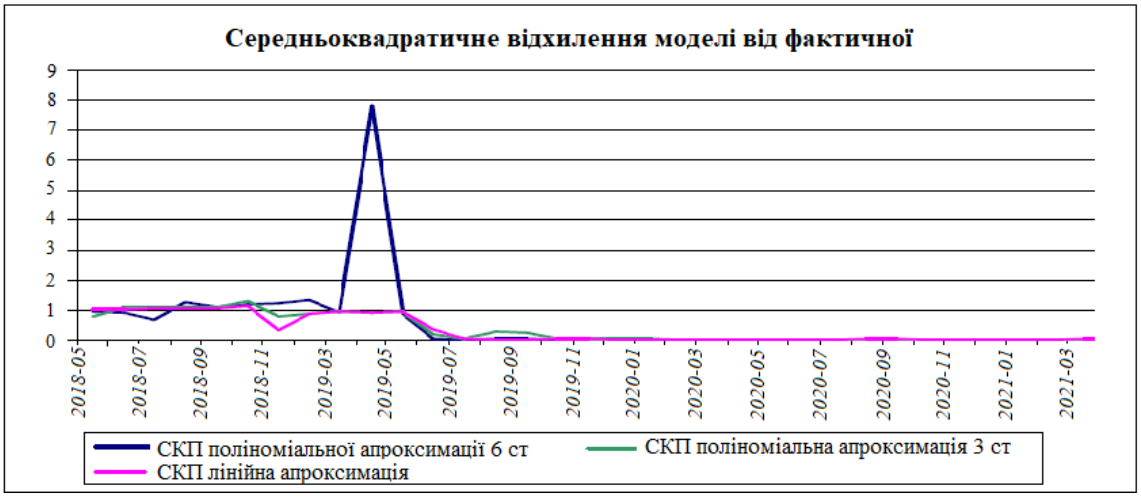



Рис. 2.9 Оцінка СКВ як показник точності моделі

Таблиця 2.2

Порівняння моделей прогнозування за показниками похибки (СКП), точності та залишкових відхилень для лінійної й поліноміальних апроксимацій (3-го та 6-го ступеня)

| | Лінійна апроксимація | Поліномна апроксимація 6 ст. | Поліномна апроксимація 3 ст. |
|---|---|---|---|
| Середнє значення СКП $E = \Sigma O^2 : \Sigma(F - (T + S))^2$ | 0,3048 | 0,5085 | 0,3314 |
| Точність моделі =[1-(ср.знач.СКП)]∗ 100% | 69,52% | 49,15% | 66,86% |
| СКП моделі (E) E=F-(S+T) | 6,099% | 0,397% | 1,369% |

Спираючись на результати, наведені в табл. 2.2, а також на показники достовірності апроксимації з табл. 2.1, як найбільш доцільну для подальшого використання обрано поліноміальну модель 3-го ступеня. Вона достатньо точно відтворює загальний напрям зміни обсягів локалізованого трафіку та, на відміну від складніших залежностей, демонструє більш збалансоване співвідношення між точністю і стійкістю (що важливо для прогнозування, коли майбутній ряд може містити структурні зсуви попиту) [69]. З практичної точки зору саме така модель є зручною для оцінювання майбутніх навантажень і планування заходів з локалізації трафіку.

Для побудови довірчих меж прогнозу використаємо значення середньоквадратичного відхилення (СКО) для вибраної моделі з трендом 3-го ступеня СКО=0,33144. Тоді інтервал прогнозу можна задати у вигляді:

$$F \cdot [1 - \mathrm{CRG}] \ : \ F \cdot [1 + \mathrm{CRG}] \qquad (2.5)$$

де F — прогнозне значення показника, а CTG — відносна величина помилки (за СКО/обраним критерієм), що задає ширину інтервалу

Отриманий довірчий інтервал показує, у яких межах можуть змінюватися прогнозні значення з урахуванням випадкових відхилень та неточностей моделі, тобто відображає допустимий діапазон похибки прогнозу.




Рис. 2.10 Річний прогноз обсягу локалізованого трафіку

У подальших розрахунках параметр CTG приймаємо рівним відносній оцінці похибки моделі, яку задаємо через СКО вибраної апроксимації: CTG=СКО=0,33144. Тоді довірчі межі прогнозу визначаються за (2.5) як:

$$F \cdot [1 - 0{,}33144] \ : \ F \cdot [1 + 0{,}33144]$$

З прогнозних оцінок випливає, що обсяги внутрішнього трафіку філії надалі зростатимуть. Перевірка стану інфраструктури на рівнях агрегації, доступу та концентрації, а також аналіз вузлів, що відповідають за локалізацію трафіку, показують наявність тенденції до перевантаження окремих елементів. У результаті підвищуються ризики погіршення параметрів QoS/QoE та знижується стабільність надання послуг абонентам.

## 2.3 Математичні моделі ІТС: критерії ефективності, обмеження та задачі оптимізації

Інформаційна модель. Ключове призначення створення та подальшого розвитку телекомунікаційної мережі полягає в забезпеченні користувачам доступу до інформаційних ресурсів і сервісів незалежно від їхнього місця розташування та способу підключення.

Архітектура мережі та її параметри визначаються насамперед інтенсивністю й характером навантаження між кінцевими пунктами на відповідній території. У структурному поділі регіональної системи передачі даних доцільно виділяти два базові компоненти: магістральний сегмент і сегмент доступу. Магістральна частина виступає універсальною високопродуктивною транспортною платформою, що забезпечує перенесення інформаційних потоків на основі цифрових каналів зв’язку. Сегмент доступу охоплює абонентське (кінцеве) обладнання, а також лінії та канали, через які користувачі підключаються до вузлів транспортного (магістрального) рівня.

До основних технічних елементів, що формують інфраструктуру мережі, належать комутаційні вузли й маршрутизатори, лінійно-кабельні споруди, обладнання систем передачі, а також інженерні елементи на кшталт кабельної каналізації.

Ринок телекомунікацій характеризується високою конкуренцією між провайдерами, а споживачі можуть змінювати оператора, орієнтуючись на

вигідніші умови, якість і додаткові сервіси. Водночас розширення спектра послуг і підтримка зростання трафіку потребують значних капітальних вкладень у модернізацію та розвиток транспортної і доступової інфраструктури, що не завжди є економічно виправданим у короткостроковій перспективі. Через це актуальними стають підходи, спрямовані на оптимізацію та раціональну модернізацію операторських мереж.

Зміст оптимізаційної задачі полягає у виборі такої структури мережі та параметрів її елементів, які забезпечують виконання вимог до якості послуг і обслуговування за мінімальних витрат. Під час розв’язання задач оптимізації зазвичай заданими (фіксованими) величинами виступають абонентська база, обсяги споживаних сервісів та необхідні показники якості, тоді як керованими змінними є топологія та параметри мережевих вузлів і каналів.

Як економічний критерій доцільно використовувати рентабельність послуги, оскільки цей показник узагальнено відображає ефективність використання матеріальних, трудових і фінансових ресурсів під час надання телекомунікаційних сервісів.

Морфологічний опис мереж електрозв’язку

Для системного аналізу доцільно подати мережу електрозв’язку як сукупність елементів, структур, процесів обслуговування та зовнішніх впливів, які разом визначають ефективність функціонування.

1. Складові (елементи) мережі. До базових компонентів відносять пункти зв’язку та лінійно-канальні засоби: лінії передавання, з’єднувальні лінії, канали електрозв’язку, канали вторинної мережі та інші логічні/фізичні тракти, за допомогою яких реалізується обмін інформацією між кінцевими пунктами.

2. Структурна організація.

- Первинна мережа відображає топологію фізичних ліній передавання та з’єднувальних ліній, тобто “фундамент” транспортної інфраструктури.
- Вторинна мережа описує конфігурацію пучків каналів і каналів електрозв’язку, що створюються поверх первинної мережі для надання послуг.

- Системи електрозв’язку розглядають як інтегровану сукупність первинної та всіх вторинних мереж у єдиному комплексі.

3. Технологія обслуговування і режими роботи. Механізми надання сервісу включають різні типи комутації (каналів, пакетів, повідомлень) із відповідними принципами керування; операції кросування/перемикання каналів залежно від задач; а також передачу інформації за заданими вимогами до якості та обмеженнями середовища.

4. Зовнішні впливи (потоки подій). Функціонування мережі визначається інтенсивністю та статистикою ключових потоків:

- надходження запитів (заявок) між кореспондуючими парами;
- завершення сеансів/звільнення ресурсів;
- відмови елементів (переважно транспортної інфраструктури первинної мережі);
- відновлення працездатності (ремонт/відновлення/введення додаткових ресурсів).

5. Показники ефективності. Для оцінювання роботи мережі використовують групи критеріїв: економічні (витрати/рентабельність), показники якості (QoS/QoE), надійність, а також живучість/стійкість до відмов і деградацій.

6. Вимоги та обмеження. Під час аналізу й синтезу конкретної мережі враховують обмеження, що випливають з фізичних характеристик каналів і обладнання, умов експлуатації, територіальної структури, енергетичних і ресурсних лімітів, а також нормативних вимог.

Концептуальні моделі

У прикладних задачах оптимізації телекомунікаційної мережі проєктувальник, як правило, стикається з низкою взаємопов’язаних етапів: моделювання поточного стану мережі, декомпозиція системи на підзадачі, пошук оптимальних проектних рішень, формалізація практичних вимог у математичній формі та вибір методів розв’язання.

Для подальшого моделювання мережу регіону доцільно описувати як ієрархічну систему з трьох рівнів:

1. Служби (системи) електрозв’язку — сукупність засобів, що забезпечує надання користувачу конкретних послуг.

2. Вторинні мережі — інфраструктура транспортування, комутації та розподілу сигналів у межах відповідних служб.

3. Первинна мережа — транспортна основа, яка формує фізичні тракти та надає вторинним мережам канали передавання [19].

Кінцеве обладнання користувача розглядається як частина відповідної служби і включається до архітектури на рівні взаємодії з мережевими вузлами. Реалізація мережі базується на комутаційному обладнанні, системах передавання та термінальних пристроях користувачів.

З позиції задачі локалізації трафіку наведена ієрархія є зручною основою для формалізації, оскільки дозволяє розділити відповідальність між рівнями та зрозуміло описати, де саме виникають витрати і затримки. Первинна мережа визначає фізичні обмеження (пропускна здатність, довжини трактів, резервування), тоді як вторинні мережі формують логічні маршрути, політики обслуговування та правила взаємодії між доменами, тобто безпосередньо впливають на те, який обсяг трафіку піде в магістраль, а який залишиться всередині оператора.

У контексті CDN/кешування оптимальне розміщення серверів, як правило, орієнтують на вузли, де перетинаються великі потоки і де найвідчутніший ефект від зменшення звернень у зовнішній сегмент: це може бути агрегація/концентрація (наближення до абонента з мінімізацією “останнього плеча”) або ядро (ефективне обслуговування кількох доменів доступу з контрольованими витратами). Вибір рівня розміщення залежить від структури попиту, допустимих затримок, ресурсів обладнання і вартості каналів: чим дорожчий транзит і чим більш “гарячий” контент, тим більший сенс переносити його ближче до користувача.

Таким чином, задача побудови інформаційної та концептуальної моделі мережі логічно переходить до задачі оптимізації: необхідно визначити вузли-кандидати для розміщення контент/кеш-серверів і підібрати їх параметри так, щоб за виконання вимог QoS/QoE забезпечити зменшення навантаження на магістральні канали та покращення економічних показників надання послуг.

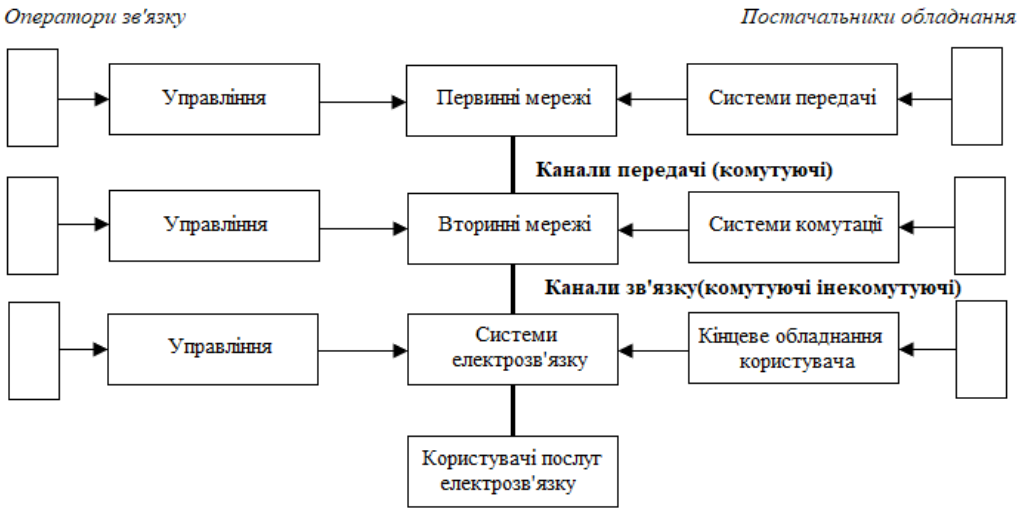



Рис. 2.11 Узагальнена схема взаємодії рівнів мережі електрозв’язку (первинний/вторинний/служби)

Первинні (транспортно-магістральні) мережі мають забезпечувати значні пропускні можливості, оскільки саме на цьому рівні відбувається зведення потоків із великої кількості підмереж. Окрім високої ємності, для магістрального сегмента критично важливим є підвищений коефіцієнт готовності та надійності, адже через нього проходить трафік сервісів, чутливих до перерв (корпоративні застосунки, хмарні платформи, системи безпеки тощо).

До вторинних мереж, які в практичній реалізації часто відповідають сегменту доступу, висуваються інші пріоритети. Тут ключовими стають розгалуженість інфраструктури підключення, можливість масового під’єднання абонентів і помірна собівартість “останньої милі”, щоб витрати на підключення залишалися економічно виправданими для оператора.

Слід враховувати, що і первинні, і вторинні ланки фізично реалізуються через лінійно-кабельні споруди, які проєктуються з прив’язкою до топооснови місцевості. У топооснові мають бути відображені об’єкти наземної забудови, підземні комунікації та елементи рельєфу, оскільки саме вони визначають доступні траси та обмеження прокладання.

Як середовище поширення сигналів застосовують волоконно-оптичні лінії, коаксіальні тракти, а також радіорелейні рішення. Для транспортування і мультиплексування трафіку використовують технології PDH/SDH/DWDM, а також

пакетні транспортні платформи на кшталт IP/MPLS; у бездротовій частині — LTE та інші рішення доступу. На сегменті “останньої милі” залежно від умов можуть використовуватися різні типи абонентського та вузлового обладнання.

У загальному вигляді задачу оптимізації мультисервісної мережі (зокрема — задачу розміщення контент/кеш-серверів) можна сформулювати так. Нехай задані:

- схема наявних трас прокладання та існуюча кабельна каналізація;
- доступні типи кабельної продукції й комутаційного/маршрутизуючого обладнання;
- вартісні параметри: кабелів, систем передачі, мережевих вузлів, будівельних робіт і приміщень під майданчики;
- заявки/попит на послуги зв’язку (потоки трафіку та вимоги до якості);
- множина можливих точок розміщення обладнання;
- граничні ємності й поточна завантаженість каналів, а також вузлів агрегації й концентрації.
- Потрібно визначити:
- необхідну кількість серверів;
- склад (номенклатуру) обладнання;
- точки розміщення та відповідні зони обслуговування (межі впливу/підключення).

За таких умов та обмежень:

- мінімізувати сумарні витрати на організацію інфотелекомунікаційних сервісів;
- забезпечити пропускну здатність і показники якості, задані вимогами (QoS/QoE).

Аналіз структури витрат показує, що в цій задачі домінують капітальні вкладення, тому на першому наближенні цільову функцію можна формувати на основі CAPEX. При цьому зміна структури мережі за рахунок впровадження серверів впливає на окремі складові капітальних витрат: закупівлю та інсталяцію

серверів, ліцензії на програмне забезпечення, а також витрати, пов’язані з використанням каналізації/траси для підключення майданчиків.

Окремо підкреслимо роль пропускної здатності ліній: навіть за високої продуктивності серверів і комутаційного обладнання саме канали зв’язку часто формують “вузькі місця”, які обмежують кінцевий ефект від модернізації та визначають потребу в локалізації трафіку.

Наступні складові формують капітальні витрати, які враховуються як обмеження та базові елементи цільової функції:

Sоб – витрати на закупівлю та інсталяцію обладнання, а також придбання ліцензійного програмного забезпечення;

SкабАБ.мережі – сукупна вартість кабельної частини абонентської мережі, включаючи придбання кабелю, прокладання та монтаж;

Sк - витрати, пов’язані з використанням каналів кабельної каналізації, виконанням земляних робіт і спорудженням/підготовкою інфраструктурних елементів.

Тоді загальна капітальна вартість мережі визначається як:

$$S_{мережі} = S_{об} + S_{кабАБ.мережі} + S_{к} \quad (2.6)$$

За наявних обмежень необхідно підібрати таку структуру телекомунікаційної мережі (та параметри її елементів), щоб значення $S_{мережі}$ було мінімальним і одночасно виконувалися всі задані технічні та експлуатаційні умови (пропускна здатність, рівень сервісу, допустиме навантаження тощо).

Математична модель розміщення серверів. Математична постановка задачі розміщення серверів визначається конфігурацією області обслуговування (множиною точок попиту), структурою мережі та правилами прив’язки серверів до вузлів. Задачі такого класу зручно формалізувати засобами теорії графів і гіпермереж, оскільки вони дозволяють одночасно враховувати транспортну інфраструктуру та логічні “накладені” мережі сервісів.

Як модель мережі філії пропонується використовувати гіпермережу, що дає змогу розглядати топооснову, первинну та вторинні мережі як єдиний об’єкт дослідження.

Гіпермережу задаємо кортежем:

$$H= (X,V,R; P,F,W),$$

де X - скінченна множина вершин (вузлів),

V - скінченна множина гілок (ліній/ділянок),

R – скінченна множина ребер (логічних зв'язків вторинної мережі),

Відображення P: V $\rightarrow$2X зіставляє кожній гілці v$\in$ V підмножину інцидентних вершин P(v) $\subset$ X. На основі P визначається граф первинної мережі: $P_S$ - (X, V: P).

Далі вводиться відображення $F: R \rightarrow 2_{ps}^{v}$- яке кожному ребру $r \in R$ ставить у відповідність множину F(r) $\subset$ V гілок первинної мережі, що формують маршрут для цього ребра (тобто шлях у графі $P_S$. Відображення F задає гіперграф $F_S$ = (V, R; F);

Нарешті, вводиться відображення $\forall r \in R\ W: r \rightarrow 2^{p(F(r))}$ де P(F(r)) — множина вершин графа $P_S$ , інцидентних гілкам маршруту F(r). Тобто W(r) визначає пари (або набори) вершин, між якими реалізується зв'язок, що відповідає ребру r. Таким чином формується гіперграф вторинної мережі: WS = (X,R;W).

Для опису вкладеності та взаємозв'язку рівнів використовується S-гіпермережа, у якій кожен вузол верхнього рівня може містити внутрішню структуру. Зокрема, вузол y∈Y замінюється графом:

$$y = \{x_j^i, E_j\}$$

де $x_j^i$ - j-та вершина відповідної вторинної мережі $WS_i$, а $E_j$ множина внутрішніх ребер/зв'язків, що описує локальну структуру вузла.

У результаті формується структурована S-гіпермережа $S_A$=(Y,V,G($X_i$,$R_i$)), яка, на відміну від "звичайної" гіпермережі, допускає більш гнучке відображення: вершини вторинних мереж можуть розміщуватися у вузлах первинної мережі незалежно одна від одної, включно з ситуаціями, коли кілька вершин однієї вторинної мережі відповідають одному вузлу первинної. Така властивість дозволяє описувати не лише ієрархію, а й реальні взаємозалежності між рівнями мережевої архітектури.

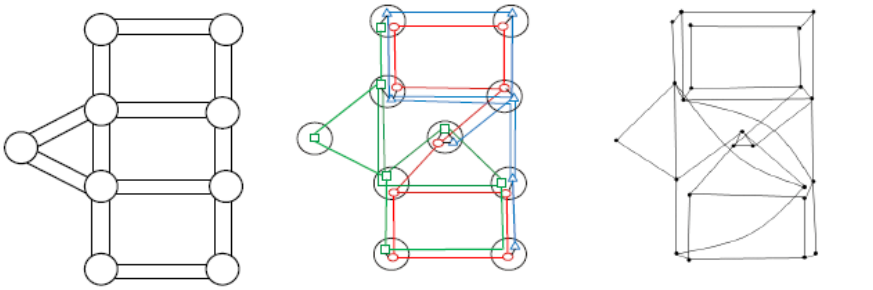



Рис. 2.12 Подання мережі регіону у вигляді S-гіпермережі та схема об’єднання її рівнів

Вважатимемо, що первинний (транспортний) рівень гіпермережі NNN описується графом PS = (X,V), де X – множина вузлів: |X| = n; V - множина каналів зв’язку: | V | = m. Для кожного каналу задаються щонайменше два параметри: поточне навантаження та гранична пропускна здатність.

Вторинний рівень подамо як множину пар вершин $X' \subseteq X \times X$, для яких допускається встановлення з’єднань (тобто множину “тяжіючих” пар, між якими може формуватися логічний зв’язок у рамках відповідної служби).

Таким чином, телекомунікаційна система, що синтезується, має ієрархічну будову та включає: топооснову, первинну (магістрально-транспортну) мережу і сукупність вторинних мереж (рівень доступу/служб). Магістральна частина через канали зв’язку поєднує вузли доступу, які забезпечують передавання інформації між абонентськими встановленнями, закріпленими за різними вузлами. Окрім вузлів доступу, транспортний сегмент містить елементи керування, вузли надання сервісів та шлюзи для взаємодії з вищими (зовнішніми) мережами.

Для формалізації введемо ієрархічну гіпермережу: N = (X, V, A, B, C),

де $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ - множина вершин (вузлів);

$V = \{v_1, v_2, \dots, v_n\}$ - множина гілок/каналів первинної мережі;

$A = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$ - множина зв’язків (ребер) вторинного рівня для однієї групи служб;

$B = \{b_1, b_2, \dots, b_n\}$ - множина зв’язків вторинного рівня для іншої групи служб (зокрема, сервісів, що використовують ресурси первинної мережі);

$C = \{c_1, c_2, \dots, c_n\}$ - множина структурних елементів/вершин, що деталізують зв'язки на сервісному рівні (3-й рівень).

Параметризацію технологічної основи вторинних мереж задамо через множини:

К - підмножина мереж, побудованих на симетричних (мідних) кабельних системах;

О - підмножина мереж на базі волоконно-оптичних кабельних систем;

Р – підмножина мереж, що використовують радіодоступ.

На рис. 2.13 показано принцип включення відповідних графів у гіпермережу N. Із наведеної схеми випливає, що вторинні мережі логічно групуються за типом сервісів (телефонія, передавання даних, IP-телефонія), а всередині кожної групи можливе подальше розбиття на підтипи, які визначаються використовуваними системами передавання та технологіями доступу.

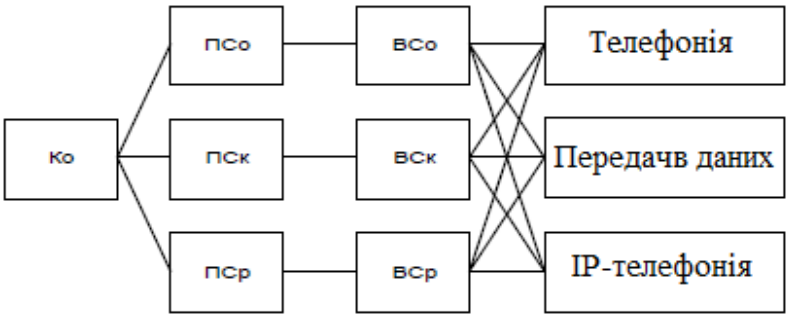



Рис. 2.13 Включення графів первинної та вторинних мереж у структуру S-гіпермережі (за видами сервісів)

Під час розв'язання задач розміщення серверів часто застосовують поняття медіани графа або гіпермережі як точки (вузла) з мінімальною сумарною "вартістю" доступу до множини споживачів/вузлів попиту. Передавання інформації в такій постановці може інтерпретуватися по-різному залежно від технології та рівня моделі:

- через фізичні оптичні траси між вузлами (маршрути);
- через групові канали "від джерела до групи приймачів" (квазімаршрути), що характерно для широкомовних сценаріїв;

- через використання будь-яких доступних ділянок кабельної інфраструктури під час проєктування/підключення абонентів (слабкі маршрути), коли допускається широкий набір альтернативних проходжень.

Структуризацію рівнів і складових S-гіпермережі подано в табл. 2.3.

Таблиця 2.3

Структура S-гіпермережі регіональної телекомунікаційної системи: рівні, графові подання та множини елементів (кабельна каналізація, первинна транспортна й вторинна сервісна мережі)

| | | |
|---|---|---|
| Мережа кабельної каналізації (КК)<br>1 рівень | $\text{ПС}_k = (X_1 \doteq X_2^*, B_k)$ | X1 - множина вершин, що відповідають вузлам лінійних споруд (будівлі, колодязі, вводи в будівлю тощо);<br>Bk— множина зв'язків/ділянок кабельної каналізації між вузлами;<br>$A = \{a_1, a_2, \dots a_{m_a}\}$ множина сегментів (ділянок) КК, які можуть використовуватися для прокладання/організації ліній. |
| Первинна (транспортна) мережа<br>Рівень подається трьома незалежними графами, що відповідають різним фізичним середовищам перенесення трафіку.<br>2 рівень | Симетричні (мідні) кабельні системи<br>$\text{ПС}_k = (X_1 \doteq X_2^k, B_k)$ | $X_2^k$ - множина мережевих вузлів (РШ, крос АТС, бокс, ВК, виносний концентратор);<br>$B = \{ab_1, b_2, \dots b_{m_b}\}$<br>множина однорідних ділянок кабельної лінії між вузлами. |
| | Оптоволоконні (волоконно-оптичні) системи<br>$\text{ПС}_0 = (X_1 \doteq X_2^0, B_0)$ | $X_2^0$– множина мережевих вузлів оптичного сегмента; $B = \{ab_1, b_2, \dots b_{m_b}\}$- множина ділянок лінії між мережевими вузлами, що відображає структуру з використанням ВОК. |
| | Радіодоступ (радіотранспорт)<br>$\text{ПС}_p = (X_1 \doteq X_2^p, B_p)$ | $X_2^p$ - множина мережевих вузлів радіосегмента (опорна станція, абонентський термінал);); $B = \{ab_1, b_2, \dots b_{m_b}\}$ множина однорідних ділянок радіотракту (радіостволів) між відповідними вузлами; граф відображає первинну мережу, побудовану на системах радіодоступу. |
| Вторинна мережа<br>Рівень охоплює три типи графів, що відповідають сервісним підсистемам: традиційна телефонія, IP-телефонія та мережа передачі даних.<br>3 рівень | Вторинна мережа на базі симетричних кабельних ліній<br>$BC_k^m = (X_2 \doteq X_2^{(km)}, C_k^m)$ | $X_3^{km}$ - вершини, що відповідають АТС, РШ, боксу, ВК; $C = \{c_1, c_2, \dots c_n\}$ - лінії вторинної мережі (кабельні лінії та каналоутворююча апаратура). |
| | Вторинна мережа на базі оптичних ліній<br>$BC_0^m = (X_2 \doteq X_3^{(om)}, C_0^m)$ | $X_3^{om}$ - вершини, що відповідають АТС, оптичному кросу, РШ, боксу, ВК; $C = \{c_1, c_2, \dots c_n\}$ — зв'язки вторинної мережі, що реалізуються оптичними кабельними лініями. |
| | Вторинна мережа з використанням радіодоступу<br>$BC_p^m = (X_2 \doteq X_3^{(pm)}, C_p^m)$ | $X_3^{pm}$ - вершини, що відповідають опорній станції, базовим станціям, абонентським терміналам; $C_p^m = \{c_1, c_2, \dots c_n\}$ - радіостволи (радіоканали) систем радіодоступу, які формують зв'язки вторинної мережі. |

Особливості задачі розміщення серверів у гіпермережі

Ключова відмінність задач розміщення серверів у гіпермережевій моделі порівняно зі звичайними графовими постановками полягає в тому, що спочатку необхідно узгодити різні типи “шляхів” (маршрути, квазімаршрути, слабкі маршрути) і, залежно від прийнятої інтерпретації, перейти від гіпермережі до еквівалентного графа (або орієнтованого графа). Після цього:

- виконується редукція гіпермережевої структури до графового представлення, яке відповідає прийнятому типу шляху;
- до отриманого графа застосовується алгоритміка пошуку найкоротших шляхів (зокрема, алгоритм Дейкстри) для побудови дерева найкоротших ланцюгів;
- визначаються точки встановлення контент- і кеш-серверів за алгоритмами, що відповідають цілій постановці (для різних варіантів цілей — алгоритм підбирається окремо, а інколи формується спеціально під задачу).

Етап 1 — синтез гіпермережі з урахуванням ємності каналів

На першому кроці виконується вкладення вторинної мережі у первинну з урахуванням пропускної здатності. Для кожної пари вузлів із множини X’ визначається найкоротший (або найменш “вартісний”) шлях по гілках первинної мережі за умови виконання обмежень на ємність. Для цього доцільно використати модифікацію алгоритму Флойда, результатом якої є матриця найкращих маршрутів і, як наслідок, сформоване вкладення вторинних зв’язків у транспортну основу.

Етап 2 — виявлення найбільш навантажених ділянок/вузлів локалізації

На другому кроці визначаються елементи, що формують “вузькі місця” при доставці контенту. Вагові коефіцієнти доцільно задавати так, щоб модель була чутливою до обмежень саме каналів:

- вага вузла береться як величина, обернена пропускній здатності відповідної лінії/підключення, оскільки навіть за високої продуктивності серверів критичним обмеженням часто залишається саме ємність каналу;
- вага ребра задається фактичним завантаженням лінії (наприклад, у Гбіт/с), що дозволяє виділяти перевантажені напрямки.

Етап 3 — формування цільової функції

Критерій оптимальності задається цільовою функцією, яка залежить від набору істотних параметрів $\delta_i$. Загальний запис:

$$\Psi(\delta_i) \to opt \tag{2.7}$$

Для задач проєктних рішень у мережах зв'язку цільова функція часто включає складові, які впливають на CAPEX (вартість ліній, обладнання, будівельно-монтажні роботи тощо). Наприклад, у випадку мінімізації витрат на мережеву інфраструктуру можна використовувати форму:

$$\Psi = \sum_{i \in L} C_i\, x_i + \sum \rho_L(x_i, x_j) \cdot S_k \to min \tag{2.8}$$

де $S_k$ - вартість 1 км кабелю, $\rho(x_i, x_j)$ – відстань між вузлами $x_i$ і $x_j$ у мережі кабельної каналізації L', $C_i$ - ціна $_i$-ї ділянки мережі L', а xi — змінні, що відображають вибір/використання елементів.

Оскільки у роботі розглядається задача розміщення контент- та кеш-серверів із фокусом на економічний ефект, доцільно перейти до критерію максимізації рентабельності:

$$\max\left(\frac{E}{W}\right) \tag{2.9}$$

Дохідна складова:

$$E = \sum_m \sum_k q_k(m) \cdot v_{mk} \cdot E(S_k) \tag{2.10}$$

де $q_k(m)$ відображає попит/інтенсивність звернень, $v_{mk}$ — обсяг або "вага" відповідного сервісу/контенту, $E(S_k)$ — очікуваний дохід (або ефект) від надання послуги/контенту типу k.

Витратна частина:

$$W = \sum_{r=1}^{V} [D(z_r^s) b_r] + \sum_{r=1}^{N} \sum_{s=1}^{N} [w^z(c_{rs}) + d_{rs}^z] \cdot b_{rs}^z \tag{2.11}$$

де компоненти $D(\cdot), w^z(\cdot), d_{rs}^z$ описують витрати/впливи, пов'язані з розміщенням і використанням ресурсів мережі (зокрема — канали, вузли, взаємодія "r–s"), а коефіцієнти $b_r$, $b_{rs}^z$ відображають інтенсивність використання або включення відповідних елементів у рішення.

Обмеження та вимоги до гіпермережі

Під час розв'язання задачі накладаються такі групи вимог:

- якість надання послуг (обмеження, пов’язані з QoS/QoE);
- обмеження на пропускну здатність каналів:

$$f_{rs} < c_{rs}, \forall r, s, b_{rs}^{z} \neq 0;$$

- незалежність шляхів у топооснові (трасування лінійних споруд реалізується окремими/альтернативними маршрутами, якщо це передбачено умовами стійкості);
- обмеження на кількість серверів (або на доступні майданчики/ресурсні ліміти).

Аналіз отриманої математичної постановки задачі синтезу мультисервісної телекомунікаційної системи показує, що вона належить до класу NP-складних: точний пошук оптимуму потребує експоненційних витрат часу зі зростанням розмірності мережі, кількості вузлів і набору сервісів. Тому в практичних умовах доцільно переходити до наближених (евристичних) методів, які забезпечують прийнятні рішення за розумний час і добре масштабуються, що є типовим підходом для інженерних задач планування мереж в сучасних умовах високої невизначеності попиту та вартості ресурсів.

У межах цієї роботи пропонується евристичний алгоритм ітеративного типу, який включає такі кроки:

1. Побудова початкової топології мультисервісної ТКС за критерієм мінімізації сумарної вартості за умови повного виконання заявок абонентів:

$$v_{ik} = 1, \forall i, k \text{ за умови } q_k(i) > 0.$$

Тобто на старті забезпечується надання всіх запитаних сервісів тим абонентам, для яких попит є ненульовим.

2. Підбір параметрів структурних елементів (ємності каналів, конфігурації вузлів, параметрів серверів/платформ) з метою зниження витрат при збереженні заданих обмежень якості та пропускної здатності. На цьому етапі фактично оптимізуються числові характеристики вже обраної структури.

3. Покращення економічного результату за рахунок корекції набору сервісів V, що надаються окремим абонентам. Для цього виявляються абоненти (або пари “абонент–послуга”), для яких витрати на забезпечення сервісу

перевищують очікувані доходи, і розглядаються варіанти зміни складу послуг (наприклад: відмова від нерентабельної опції, заміна на альтернативний сервіс, перенос навантаження на інший сценарій доставки/локалізації тощо).

4. Повторення циклу (кроки 1–2) доти, доки всі кандидати на вилучення/модифікацію не будуть опрацьовані, а подальше покращення критерію (вартість/прибуток) не стане незначним або неможливим в межах заданих обмежень.

У сучасній практиці планування та оптимізації телекомунікаційних мереж (зокрема для мультисервісних систем із швидкозмінним профілем навантаження) евристичні схеми зазвичай посилюють процедурами локального пошуку та ітеративного покращення. Після побудови початкового рішення застосовують операції “малої перебудови” (переміщення вузла, заміна маршруту, перерозподіл потоків, зміна конфігурації елементів), а якість рішення контролюють за комбінованими критеріями: витрати, виконання обмежень пропускної здатності, ризик перевантаження та показники якості обслуговування. Для уникнення “застрягання” в локальному мінімумі можуть використовуватися елементи метаевристик (наприклад, імітація відпалу, табу-пошук або генетичні підходи), які дозволяють досліджувати ширший простір варіантів і підвищують шанс знайти економічно вигіднішу конфігурацію за прийнятний час.

# 3 АЛГОРИТМІЧНІ РІШЕННЯ ДЛЯ МІЖОПЕРАТОРСЬКОЇ ВЗАЄМОДІЇ, КОНТРОЛЮ ТРАФІКУ ТА ПРОТИДІЇ ШАХРАЙСТВУ

У цьому розділі уточнюється зміст поняття фроду, подається його узагальнена класифікація за типами сервісів і способами реалізації, а також обґрунтовується доцільність застосування аналітики трафіку для виявлення підозрілих шаблонів, зокрема випадків використання модифікованих або підмінних номерів. Окремо розглядається підхід, що дає змогу виконувати швидкий аналіз термінації трафіку та виявляти ситуації, які призводять до втрат доходу.

Якщо розглядати процес формування даних про виручку як послідовність етапів — від комутації виклику і формування записів подій до тарифікації, виставлення рахунку та фактичного надходження платежів — можна визначити точки, на яких виникають втрати. Як показано на рис. 3.1, падіння доходів найчастіше пов’язане зі збоями, неузгодженістю даних між системами, помилками конфігурації, конфліктами налаштувань, а також із шахрайськими діями.

Під фродом (fraud) у телекомунікаціях розуміють умисне неправомірне отримання послуг або використання ресурсів оператора без належної оплати, а також несанкціоноване звернення до службової/технологічної інформації чи інші дії, що мають на меті отримання незаконної вигоди або завдання фінансових збитків оператору.

З огляду на це, раннє виявлення та оперативне блокування шахрайських сценаріїв використання каналів зв’язку є одним із ключових завдань експлуатаційних і білінгових підрозділів оператора, оскільки зволікання навіть на короткий час може приводити до масштабованих втрат через високі обсяги трафіку та автоматизований характер зловживань.

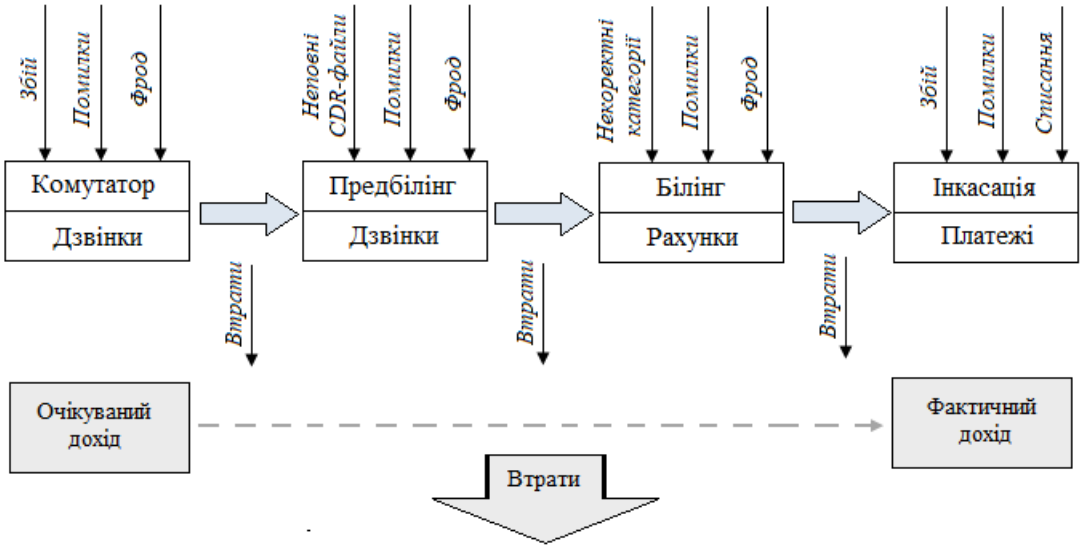



Рис. 3.1 Етапи формування виручки оператора та джерела втрат доходу (збої, помилки, фрод).

Розглянемо ключові етапи ланцюга формування виручки оператора зв'язку:

- Комутаційне обладнання. На цьому рівні послуга фактично надається абоненту, а подія її використання має бути коректно зафіксована (наприклад, як запис про виклик/сесію).
- Передбілінг. Це проміжний контур програмно-апаратних засобів, який виконує приймання, нормалізацію, валідацію та доставку технічних подій із мережі до систем ділової підтримки. Його основна роль — забезпечити білінг достовірними даними від елементів мережі для подальшого розрахунку доходу.
- Білінг. Автоматизована система тарифікації та взаєморозрахунків, яка на підставі подій використання послуг формує нарахування, рахунки та інші фінансові результати.
- Інкасація/платежі. Контур, що забезпечує приймання оплат і зіставлення платежів із нарахуваннями (тобто перехід від "нараховано" до "отримано").

Різні види втрат виникають через унікальну комбінацію сервісів, технічних платформ та бізнес-процесів у кожного оператора. Запропонована схема втрат доходу дає змогу не лише локалізувати проблемні ділянки і встановити їхню

природу (збої, помилки конфігурації, неузгодженість даних, шахрайські сценарії), а й визначити напрямки удосконалення контролю та профілактики таких випадків.

Окрему групу ризиків формує фрод, який трапляється в мережах різних типів (фіксованих, мобільних, супутникових) і не прив'язаний до одного конкретного способу передавання інформації. Несанкціоноване використання ресурсів або нелегітимна термінація трафіку створюють прямі фінансові втрати, а також негативно впливають на репутацію компанії (скарги абонентів, претензії партнерів, регуляторні ризики). За оцінками, що наводяться в галузевих публікаціях та звітах профільних організацій, частка втрат від шахрайства може становити кілька відсотків від доходів, а для операторів на ранньому етапі розвитку — бути помітно вищою через незрілі процеси контролю та моніторингу.

У ряді галузевих матеріалів наводяться оцінки, що сукупні втрати операторів від шахрайства в структурі трафіку можуть становити приблизно 4–9% доходу. Для України в окремих джерелах згадується значна регіональна відмінність частки нелегальної термінації міжміського/міжнародного трафіку: від відносно невисоких рівнів у малих мережах до значних значень у великих адміністративних та економічних центрах. На підставі таких даних інколи робиться узагальнена оцінка, що рівень некоректної термінації може досягати порядку 25–35% у сегменті "далекого" трафіку, який приземлюється на мережі операторів.

Разом з тим необхідно зазначити, що в Україні відсутня стабільна та загальновизнана публічна статистика щодо реальних обсягів fraud-втрат як у фіксованих, так і в мобільних мережах. Основні причини — обмежене розкриття даних з боку операторів та складність повного вимірювання збитків через зростання кількості шахрайських сценаріїв і швидке пристосування зловмисників до контрзаходів. Навіть поодинокі інциденти можуть давати відчутний фінансовий ефект, зокрема через зростання дебіторської заборгованості та додаткові витрати на підтримку.

Для зниження втрат оператори впроваджують різні системи управління та контролю, що автоматизують бізнес-процеси й експлуатацію мережі, а також механізми протидії несанкціонованому використанню ресурсів. Водночас через

широку номенклатуру технологій і методів зловживань створення універсального інструмента, який би покривав усі можливі випадки, є практично недосяжним. Тому обґрунтованою є потреба у розробці та застосуванні алгоритмів аналізу поведінки трафіку та використання ресурсів, спрямованих на виявлення нелегітимних сценаріїв і своєчасне припинення збиткових активностей.

## 3.1 Типологія фроду в телекомунікаційних мережах і канали виникнення ризиків

Класифікація фроду потрібна для того, щоб коректно визначити предмет виявлення, задати межі задачі моніторингу, обрати адекватні методи детекції та сформувати практичні підходи до протидії телекомунікаційному шахрайству. Разом із тим систематизація fraud-сценаріїв у телекомунікаціях є складною, оскільки шахрайські схеми постійно змінюються: зловмисники адаптуються до нових тарифів, політик безпеки та технічних засобів контролю, а також використовують оновлені інструменти підміни параметрів з’єднання. За даними профільної спільноти CFCA (Communications Fraud Control Association), у галузі описано сотні різновидів шахрайства, що відрізняються механікою реалізації та цілями атак [22].

Шахрайські дії в мережах зв’язку можуть спричиняти комплексні наслідки для оператора, зокрема:

- зменшення доходів через невиставлені/неотримані нарахування, прострочені платежі, а також втрати у міжоператорських взаєморозрахунках;
- репутаційні ризики: погіршення клієнтського досвіду, зростання кількості скарг, зниження довіри до бренду;
- ослаблення фінансової стійкості (погіршення показників ліквідності, зростання дебіторської заборгованості, додаткові витрати на розслідування інцидентів і компенсації).

Класифікація за спрямованістю дій зловмисників. Фрод у телекомунікаціях доцільно розглядати з позиції того, хто є основною стороною, що зазнає збитків. Як показано на рис. 3.2, частина сценаріїв спрямована безпосередньо проти абонентів (наприклад, викрадення облікових даних, соціальна інженерія, підміна SIM/ідентифікаторів), тоді як інша група атак націлена на оператора (нелегітимна термінація, маніпуляції з трафіком/маршрутизацією, експлуатація помилок конфігурації чи білінгових правил). Такий поділ спрощує постановку задачі детекції та дозволяє точніше визначати інструменти протидії для кожного класу загроз.

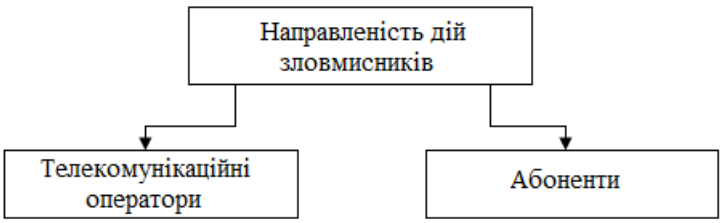



Рис. 3.2 Розподіл фрод-сценаріїв за цільовою стороною (абонент / оператор)

Для результативного виявлення телекомунікаційного шахрайства важливо не лише фіксувати підозрілі події, а й визначати звідки саме формується ризик. Поділ за джерелом дає змогу точніше обрати інструменти контролю, налаштувати моніторинг і розподілити відповідальність між технічними та бізнес-підрозділами.

У практиці операторів до базових груп фроду зазвичай відносять:

- клієнтське (абонентське) — ініціюється користувачами сервісів або пов’язаними з ними пристроями/обліковими даними;
- операторське — виникає на межі взаємодії з іншими операторами, партнерами з інтерконекту, агрегаторами та постачальниками контенту;
- внутрішнє — пов’язане з діями персоналу або використанням доступів усередині компанії, включно з ризиками людського фактора та зловживаннями повноваженнями.

На практиці найчастіше фіксують інциденти, що належать до абонентського сегмента, оскільки масовість послуг і велика кількість кінцевих користувачів створюють широкий “фронт” атак. Водночас внутрішні ризики залишаються

критичними через наявність привілейованих доступів, а “операторський” клас порушень (через партнерські канали, контент-платформи та суміжні мережі) потребує окремих механізмів контролю взаєморозрахунків і коректності термінації. Одна з узагальнених схем такого поділу наведена на рис. 3.3.

Окремо варто зазначити, що в останні роки фокус шахрайських схем зміщується у бік цифрових каналів самообслуговування (особисті кабінети, мобільні застосунки, API), де зловмисники намагаються перехоплювати доступи, змінювати параметри облікових записів або підміняти ідентифікаційні дані. Паралельно зростає частка атак, що поєднують технічні прийоми та соціальну інженерію (маніпуляції з підтвердженнями, відновленням доступу, підміною SIM/ідентифікаторів), а також сценарії, орієнтовані на міжоператорську взаємодію (маніпуляції термінацією/маршрутизацією та розрахунками). Це означає, що системи протидії мають контролювати не лише трафік, а й події в OSS/BSS, логіку бізнес-правил та аномалії у поведінці абонентів і партнерських каналів.

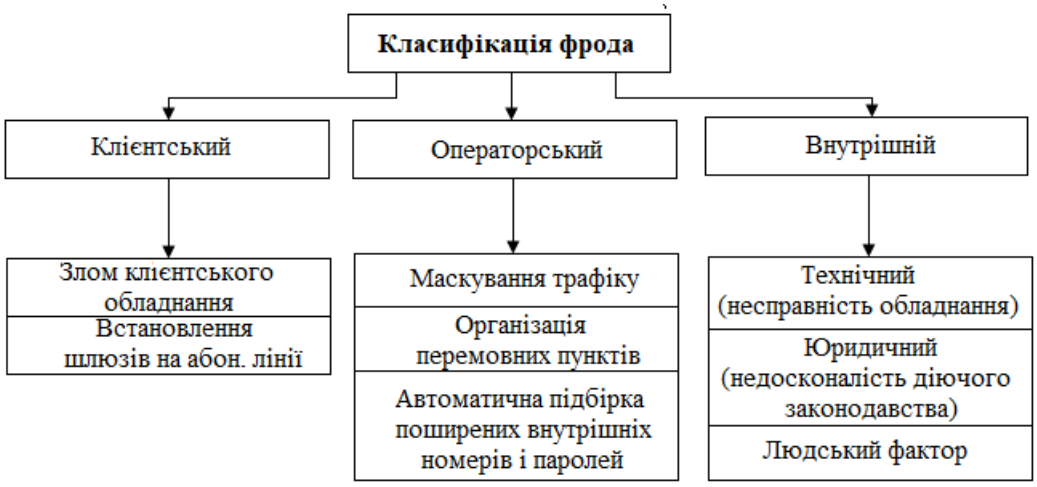



Рис. 3.3 Групування фрод-інцидентів за джерелом загрози (клієнтське, операторське, внутрішнє)

Клієнтський фрод у фіксованих мережах. До абонентсько-орієнтованих зловживань у фіксованому зв’язку відносять дії, коли ініціатором порушень є кінцевий користувач або особи, що використовують абонентську інфраструктуру як “точку входу” в мережу. Для української практики найбільш характерними є такі сценарії:

- Самовільне підключення до лінії іншого абонента. Йдеться про фізичне втручання в лінійно-кабельну інфраструктуру з метою отримання доступу до послуг без належного оформлення та оплати.
- Нелегальна термінація через абонентське підключення. Злочинці можуть оформлювати у оператора кілька ліній або “пакет” номерів (інколи через підставних осіб), після чого під’єднувати міні-АТС чи інше обладнання з підтримкою пакетної телефонії (VoIP-шлюзи/АТА). Надалі такі номери використовуються як точки доступу до сторонньої голосової платформи, через яку здійснюється масовий пропуск “дорогого” трафіку. Окремо трапляються ситуації з нелегальним розповсюдженням кодів доступу (PIN) та імітацією механізмів авторизації, що порушує як правила приєднання до мережі, так і умови надання послуг.
- Підміна/імітація сигналізації. Застосування спеціалізованих пристроїв або схем, які дозволяють формувати несанкціоновані з’єднання (зокрема міжміські/міжнародні) та обходити тарифікацію.
- Організація нелегальних переговорних пунктів. Такі точки можуть створюватися через фіктивне підключення на юридичну особу, оренду приміщення з подальшим заведенням ліній, використання ліній третіх осіб або компрометацію офісної інфраструктури.
- Дії з передплаченими картками (carding). Це емулювання телефонних карток або шахрайські операції з передоплаченими продуктами, включно з неправомірним поповненням або модифікацією даних обліку.
- Ухилення від оплати. Ризик реалізується насамперед тоді, коли оператор надає сервіс із відстроченим платежем або кредитним лімітом, а абонент навмисно формує борг без подальшого погашення.
- Операторський фрод. Окрема категорія ризиків виникає на рівні взаємодії між мережами. Операторське шахрайство часто проявляється у побудові нетривіальних схем маршрутизації та обміну трафіком, які використовують слабкі місця налаштувань мережевого обладнання, недоопрацьовані пункти інтерконект-

угод або “сіру” зону регуляторних норм. Типова мета — зменшити власні витрати на термінацію, переклавши частину навантаження або витрат на партнера.

Зниження платежів за термінацію може реалізовуватися як відверто незаконними способами (в порушення умов договорів і вимог регулятора), так і формально “легальними” механізмами, які однак шкодять економічним інтересам оператора, що приймає трафік. Найчастіше об’єктом таких маніпуляцій стає внутрішньозоновий, міжміський та міжнародний трафік, оскільки ставки термінації для нього є найбільш чутливими.

Приклади операторського фроду (сценарії та механіка)

1) Маскування міжнародного трафіку та подальше перенаправлення (“злив”)

Один із типових сценаріїв полягає в тому, що трафік міжнародного або міжміського походження перетворюється “на вигляд” у локальний, після чого термінується в мережі оператора-одержувача як місцевий виклик. Практично це може реалізовуватися оператором, який має дозвіл лише на локальні/зонові послуги: використовуючи комутаційні платформи (міні-АТС, softswitch/шлюзи), він приймає трафік (часто через IP-мережі) та передає його у власну чи чужу мережу з параметрами, що відповідають місцевому напрямку. Для абонента такі виклики інколи тарифікуються як “дешеві” або навіть безкоштовні, тоді як оператор, що термінується, втрачає дохід, який був би отриманий за легальної термінації зонового/міжміського/міжнародного виклику.

2) Навмисна підміна адресної/сигнальної інформації (спотворення нумерації)

У цьому випадку недобросовісний учасник інтерконекту змінює параметри виклику таким чином, щоб у мережі партнера він виглядав як внутрішній, хоча фактично є міжнародним. При недоліках налаштувань або слабкому контролі сигнальної/адресної частини приймаюча сторона може не ідентифікувати справжній напрямок і застосувати неправильну ставку. Як наслідок, “шахрай” виставляє своєму клієнту рахунок за міжнародне з’єднання, але сам несе витрати

лише на рівні місцевого чи міжміського проходження, тоді як оператор-жертва фактично несе дорогу міжнародну складову при нижчій компенсації.

Узагальнена логіка такої схеми може виглядати так:

- до номера штучно додається локальний/національний код;
- на транзитному етапі “зайвий” префікс відкидається (як нібито службовий або помилковий);
- далі виклик іде за реальним набраним номером — часто у міжнародному напрямку. [23]

3) “Зациклення” викликів (call looping)

Механізм looping зазвичай виникає там, де тарифи на взаємну передачу викликів між операторами відрізняються. Недобросовісний оператор може повертати виклик назад у мережу, з якої він прийшов, але не напряму, а через третю мережу. У підсумку формується цикл: виклик повторно проходить через мережу оператора-жертви, а зловмисник може навмисно “проганяти” його багато разів, отримуючи економічний ефект за рахунок міжоператорських розрахунків. Фактично створюється штучне нарощування обсягів проходження (і потенційних нарахувань) без реальної потреби.

4) “Приземлення” трафіку (тунелювання через VoIP)

Цей різновид полягає у доставлянні клієнтського трафіку до мережі оператора-одержувача через IP-транспорт (VoIP) із подальшою термінацією так, ніби це “звичайний” локальний/національний виклик. Для реалізації встановлюються IP-телефонні шлюзи на стороні, де виклик завершується, а виграш формується за рахунок різниці між вартістю “правильного” завершення міжнародного/міжміського трафіку та значно дешевшої маршрутизації/оформлення такого трафіку як локального. У результаті оператор, який мав би отримати оплату за дорогий напрямок, стикається з втратою доходів, а зловмисник суттєво зменшує власні витрати.

5) Виведення трафіку через партнерські схеми (“обхід” ліцензійних/тарифних обмежень)

Ще одна група маніпуляцій — створення організаційних і технічних схем, де трафік фактично надається за заниженими ставками або із порушенням ліцензійних вимог. Наприклад, оператор без потрібної ліцензії домовляється з партнером, який має мережеву інфраструктуру, і використовує її як транзит для пропуску власного трафіку з подальшим “вливанням” у мережу третього оператора, який не підозрює про подвійне походження потоків. У підсумку через мережу “жертви” проходить трафік від кількох джерел, але оплата відображає лише частину обсягів у межах формальної угоди — виникає упущена вигода та перекіс у взаєморозрахунках. [24]

Внутрішній фрод (insider fraud)

Внутрішній фрод охоплює дії працівників оператора зв’язку, які мають умисний характер і призводять до фінансових втрат, зокрема через викривлення обліку трафіку або маніпуляції з мережевими ресурсами. Мотиви можуть бути різними: від прагнення отримати особисту вигоду шляхом використання службових повноважень до свідомого нанесення шкоди компанії (наприклад, унаслідок конфлікту з керівництвом чи колективом). Оскільки співробітники можуть мати доступ до критичних підсистем (комутація, медіа-шлюзи, білінг, OSS, маршрутизація), внутрішні інциденти часто складні для виявлення і можуть маскуватися під “технічні збої”.

Нижче наведено типові приклади внутрішніх зловживань.

1) Приховування частини тарифікаційних записів на комутаційному обладнанні

Комутаційні платформи формують службові дані про з’єднання, зокрема CDR (Call Detail Records), і передають їх у системи подальшої обробки. За наявності адміністративного доступу можливі налаштування, за яких:

- облік для окремих напрямів/маршрутів не створюється або створюється не повністю;
- записи можуть виводитися на інший, не контрольований канал/порт або спрямовуватися в “обхід” штатного тракту збору даних.

Небезпека цього сценарію в тому, що білінг не отримує первинних відомостей, а отже відсутність нарахувань виглядає як “нормальний стан”.

Додатково інцидент можна пояснити “помилкою конфігурації”, що ускладнює доведення умислу. [14]

2) Маніпуляції з тарифікацією на рівні білінгових/передбілінгових систем

Навіть якщо CDR коректно створюються на мережевих елементах, зловмисник може вплинути на етапах нормалізації, завантаження та рейтингу в BSS/білінгу. Типові ризики:

- припинення обробки певних класів записів або їх частини;
- зміна правил тарифікації для окремих напрямів/клієнтів;
- “виключення” подій із розрахунків шляхом зміни фільтрів, мапінгу або бізнес-правил.

У такому випадку мережа “бачить” виклики, але фінансова система відображає їх у спотвореному вигляді (або не відображає зовсім).

3) Збитки, пов’язані з помилками або втручанням у LCR-маршрутизацію

Формально неправильна маршрутизація не завжди є шахрайством, однак у практиці операторів саме порушення налаштувань LCR (Least Cost Routing) часто дає відчутний економічний ефект. Принцип LCR полягає у виборі маршруту, який відповідає заданим правилам вартості та якості. У мережі зазвичай існує кілька альтернативних шляхів на один напрямок, і некоректні параметри можуть призвести до того, що:

- трафік піде через маршрут із вищою ціною термінації;
- собівартість проходження виклику стане вищою за тариф для абонента, тобто оператор фактично працює “в мінус” на частині з’єднань;
- паралельно погіршиться QoS через невідповідність маршруту вимогам для конкретного типу трафіку.

Виявити першопричину лише за нарахуваннями складно: фінансові дані відображають факт дзвінка, але не завжди дають достатньо прозорості щодо того, чому було обрано саме цей маршрут (особливо якщо первинні технічні дані неповні або потрапляють у систему з затримками).

Фрод у телекомунікаціях доцільно групувати не лише за джерелом загрози, а й за тим, у якій функціональній частині мережі або сервісу він реалізується. У

такому підході виділяють, зокрема: шахрайство в роумінгу, зловживання у пакетних сервісах мобільних мереж (GPRS/LTE/5G), зловмисні схеми з преміальними напрямками/номерами, транзитні маніпуляції, VoIP-фрод, а також SMS-шахрайство та суміжні сценарії.

Найчастіше на практиці фіксуються: роумінгові схеми (включно з генерацією трафіку з-за кордону та іншими "витратними" сценаріями), SIM-box/інтерконект-байпас, PBX-hacking, а також IRSF/AIT (штучне "накручування" трафіку, що особливо відчутне у повідомленнях і контент-механіках). Для 2024–2025 років додатково підсилюється роль ризиків, пов'язаних із автоматизацією атак, AIT-схемами та обхідними механізмами термінації.

Окремо варто зазначити тенденцію конвергенції фіксованих і мобільних сервісів: один і той самий шахрайський сценарій може починатися у VoIP/інтернет-сегменті, а завершуватися на мобільній термінації (або навпаки). Через це межі між категоріями інколи розмиті: певні кейси важко "однозначно" віднести до одного класу (наприклад, коли SMS-розсилка використовується як тригер для подальшого дзвінка на преміальний напрямок, або коли AIT маскується під легітимну взаємодію застосунків).

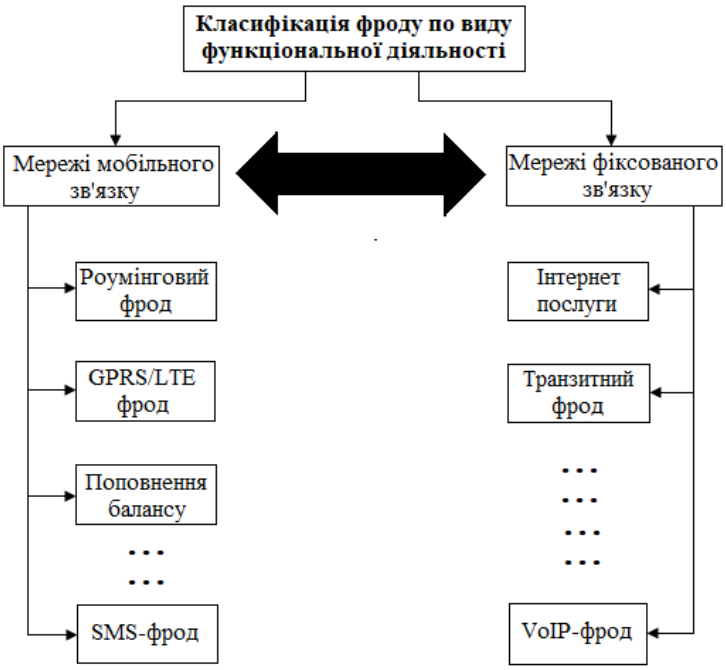



Рис. 3.4 Функціональні домени прояву телекомунікаційного шахрайства (мобільні та фіксовані мережі)

## 3.2 Практичні процедури детекції фроду: ознаки, правила та аналіз викликів/сесій

Наявні підходи до Fraud Management зазвичай потребують не лише спеціалізованих технологічних інструментів, а й окремої команди, що підтримує процеси моніторингу, розслідування та реагування. Для частини операторів повноцінні промислові комплекси виявляються фінансово обтяжливими, тому за умов лімітованого бюджету практична боротьба з фродом часто спирається на власні процедури контролю та використання вже розгорнутих елементів OSS/BSS і білінгу.

Щоб своєчасно помічати та зупиняти телекомунікаційні зловживання (не обмежуючись контрольними тест-дзвінками), доцільно організувати набір регулярних дій:

- отримання та централізоване збирання CDR у визначених точках контролю;
- нагляд за динамікою навантаження й пошук аномалій (типові ознаки — раптові стрибки, нетиповий профіль по напрямках/часу);
- звірка облікових записів і параметрів тарифікації, контроль коректності довідників та правил обробки;
- відбір і фіксація нетарифікованих або “підозрілих” записів із подальшим визначенням причин;
- перевірка правильності термінації міжміського/міжнародного трафіку та коректності приземлення по регіонах;
- виявлення модифікації/підміни номера (аномалії в адресній інформації, невідповідності планам нумерації, підозрілі шаблони);
- контроль багатоканальності та встановлення порогів (thresholds) для тригерів інцидентів;
- у разі підтвердження інциденту — оперативне блокування некоректного пропуску і приведення маршрутизації у відповідність до договорів;
- посилення договірних умов із партнерами (у т.ч. санкції за схеми, що призводять до фінансових втрат або порушують правила інтерконекту).

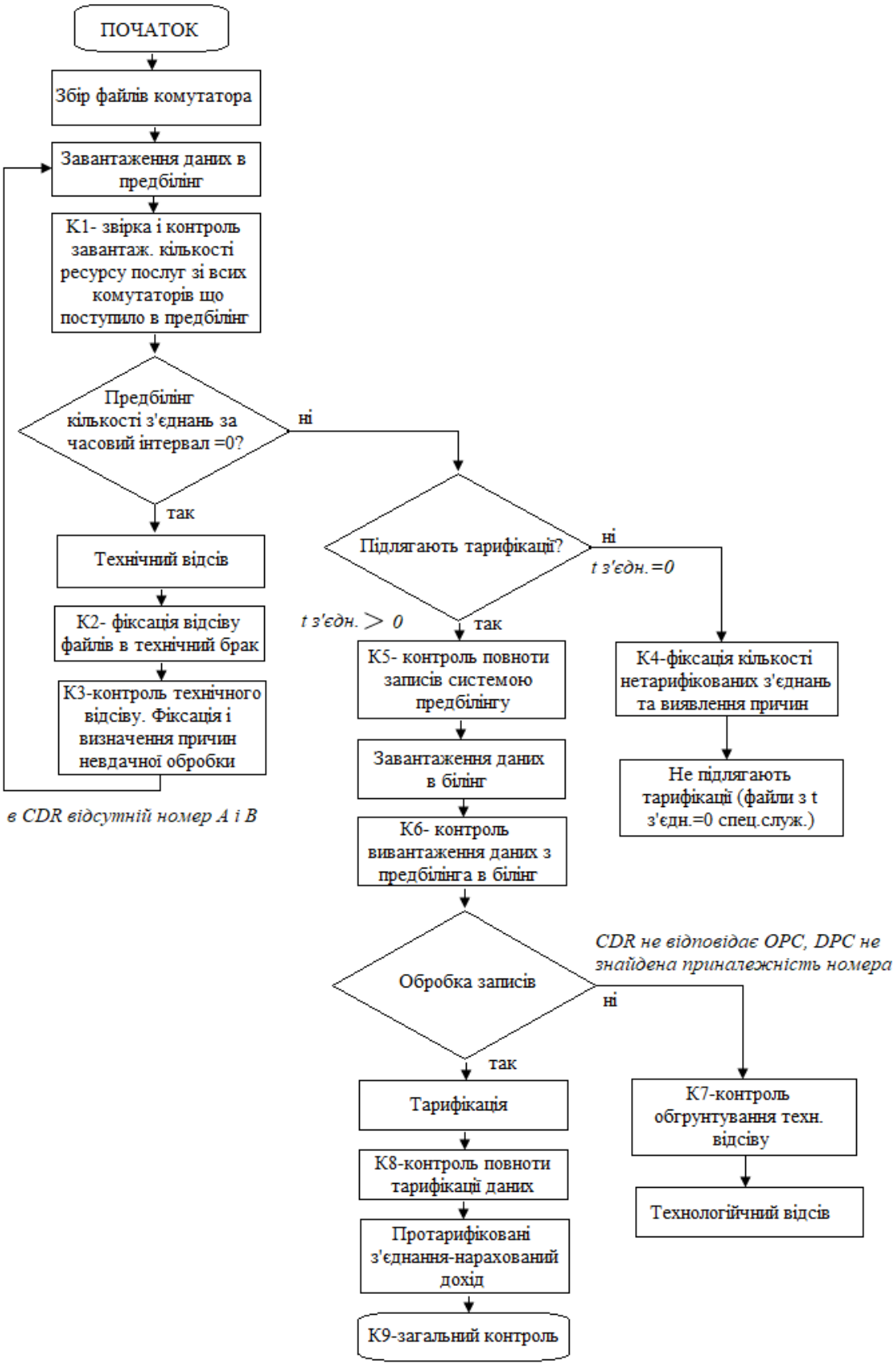



Рис. 3.5 Схема контролю доходів на основі контрольних точок

Метод контрольних точок. Для задач assurance (гарантування доходу) та виявлення несанкціонованого пропуску трафіку доцільно розкласти технологічний ланцюг формування доходу на контрольні вузли. Кожна контрольна точка перевіряє повноту, коректність і узгодженість даних між етапами: від первинної реєстрації події виклику/сесії до предбілінгу, білінгу та платежів. Алгоритм такого поділу і логіку перевірок доцільно подати блок-схемою (рис. 3.5), де для кожного переходу видно: що саме звіряється, які умови вважаються відхиленням і яке рішення приймається при виявленні проблеми.

Для наскрізного контролю ланцюга формування доходів використовується статистична обробка даних CDR/облікових файлів: усі показники звіряються з еталонними значеннями, зафіксованими у технологічних регламентах і супровідній документації. Контрольні процедури виконуються для внутрішньозонових, міжміських і міжнародних викликів, сеансів комутованого доступу до Інтернету, а також для IP-телефонії (зокрема у кредитній моделі) й охоплюють увесь цикл збору та обробки інформації про з’єднання на контрольних пунктах.

К1 — вхідний контроль завантаження з комутаторів у систему медіації (предбілінг).

На цьому етапі зіставляється кількість вихідних файлів, сформованих на комутаційному обладнанні, з числом файлів, що фактично потрапили до медіаційної системи. Додатково перевіряються аномалії навантаження (нетипові стрибки трафіку) та ознаки підміни/модифікації номерів.

К2 — відбір файлів, відхилених у “технологічний брак”. Фіксуються файли реєстрації, які не змогли коректно завантажитися або були відхилені на вході предбілінгу.

К3 — контроль причин технічного відсіву і повторна обробка. Підраховується кількість записів, що не пройшли обробку, та класифікуються причини відмов. За потреби запускається повторна обробка/довантаження на рівні предбілінгу.

К4 — контроль нетарифікованих записів. Окремо обліковуються з’єднання, які не підлягають тарифікації (службові виклики, спецслужби тощо): фіксуються обсяги та підстави нетарифікації.

К5 — перевірка повноти обробки у предбілінгу. Оцінюється, чи всі записи, що повинні тарифікуватися, коректно оброблені. Виконується звірка: *вхідні записи предбілінгу* проти *оброблених*, з урахуванням технічного відсіву та нетарифікованих подій. Усі записи, що підлягають оплаті, мають бути передані далі в білінг.

К6 — контроль передачі тарифікованих даних у білінгову БД. Перевіряється повнота доставки: порівнюється кількість файлів/пакетів, сформованих предбілінгом на вивантаження, із кількістю, що фактично прийнята білінгом для розрахунку.

К7 — аналіз технічного відсіву вже на стороні білінгу. Відстежується динаміка технологічного відсіву протягом звітного періоду та перевіряється обґрунтованість його списання (щоб виключити “маскування” втрат під технічні причини).

К8 — контроль повноти тарифікації. Підтверджується, що дані про з’єднання, які відбулися та підлягають оплаті, дійшли до тарифікації й коректно відображені у нарахуваннях.

К9 — підсумкова перевірка наскрізного процесу. Оцінюється сумарний обсяг відсіву на всіх етапах, аналізуються типи відхилень і правомірність причин їх виникнення; формується зведена картина втрат/ризиків.

Запропонований підхід забезпечує цілісність і повноту даних про з’єднання на всіх контрольних етапах, дає змогу швидко виявляти збої або втрати, а також організувати їх усунення з мінімальними витратами часу, ресурсів і коштів.

## 3.3 Метрика Хаусдорфа для виявлення відхилень у профілях трафіку: алгоритм застосування

У контрольній точці К1 окрім звірки повноти завантаження CDR та первинного контролю цілісності даних виконується детекція нетипових змін інтенсивності трафіку. Для цього доцільно застосовувати числову міру, яка дозволяє швидко порівнювати “форму” фрагментів часових рядів і виявляти ділянки, що різко відрізняються від очікуваної поведінки. У роботі як така міра використовується метрика Хаусдорфа, оскільки вона дає можливість оцінювати відхилення між двома множинами точок, що представляють порівнювані траєкторії трафіку.

Для мереж операторів характерні об’ємні та динамічні процеси, тому системи контролю мають спиратися на алгоритми, здатні працювати у близькому до реального часу режимі. Практичним способом подання мережевого навантаження є розгляд трафіку як часового ряду, що відкриває можливість використання інструментів прикладного аналізу даних і типових моделей розкладу на компоненти.

Під трафіком надалі розуміємо обсяг інформації або кількість подій/повідомлень, переданих через канал за заданий інтервал часу. Для телефонних мереж, окрім “масових” показників у байтах, важливими є й параметри викликів: інтенсивність спроб встановлення з’єднання, кількість і тривалість сеансів, частка успішних завершень тощо. Через це для аналізу доцільно формувати окремі ряди за різними показниками: завантаженням каналів у фіксовані моменти, активністю вибраних абонентів або тарифних груп, характеристиками конкретної станції (кількість/тривалість викликів), структурою напрямків і т. ін.

Отримані часові ряди є типовими об’єктами прикладного аналізу даних, тому для їх опису зручно використовувати адитивну модель, у якій значення спостереження подають як суму трендової, сезонної та випадкової складових. На практиці нелегальне або нетипове використання ресурсів часто проявляється як аномальні фрагменти: сплески, провали або різкі злами траєкторії. Такі прояви

можуть відповідати як зловживанням, так і “легальним” подіям (маркетингові кампанії, аварійні перемикання, масові інциденти), тому простого факту аномалії недостатньо.

Звідси випливає, що після первинного виявлення підозрілих ділянок трафіку необхідна диференціація причин. Зазвичай для цього залучають додаткові ознаки та перевірки: стаж абонента в мережі, середню кількість викликів за інтервал, середню тривалість з’єднань, структуру напрямків, частку невдалих завершень, часові патерни, наявність реакції на вхідні виклики тощо. Наприклад, шлюзове шахрайське обладнання може демонструвати нетипову картину: значний вихідний потік за одночасно низької або “аномальної” відповіді на вхідні виклики для пов’язаного номера.

Отже, для автоматизації К1 потрібні:

математичні моделі, придатні для аналізу часових рядів із “втручаннями” (інтервенціями) та різкими змінами;

механізми перевірки супутніх ознак, щоб відокремлювати фрод/зловживання від нестандартної, але припустимої поведінки;

процедура ескалації, коли для остаточного рішення необхідні додаткові тести або ручна експертиза.

У літературі зустрічаються різні підходи до розпізнавання аномалій у трафіку: зокрема методи сегментації кривих і модифікації алгоритмів “голосування” у задачах розпізнавання образів, де близькість фрагментів оцінюється спеціальною функцією складності [23]. Інший популярний клас методів пов’язаний з кластеризацією, коли об’єктом аналізу виступає профіль абонента, сформований як набір найбільш інформативних характеристик, представлених у вигляді “об’єкт–властивість” [25]. У межах даної роботи метрика Хаусдорфа використовується як оперативна числова оцінка відмінності між фрагментами часових рядів, а остаточна інтерпретація підозрілих випадків підкріплюється аналізом додаткових ознак.

Матриця ознак задається як $X = \{Xij\}$, $j = 1,2, ..., n$, де $i=1,2,\ldots, m$ — номер об’єкта (рядок матриці, що містить числові значення всіх властивостей iii-го

об’єкта), j=1,2,…, n — номер ознаки (стовпець матриці, тобто значення j-ї властивості для всіх об’єктів), m— кількість об’єктів, n — кількість ознак. Для вимірювання відстані між об’єктами з багатьох можливих метрик обираємо евклідову, оскільки вона найкраще узгоджується з інтуїтивним трактуванням “подібності” у просторі ознак [25].

Під час вибору правила визначення відстані між класами (або кластерами) потрібно враховувати ефект методу об’єднання: зв’язування за найближчим сусідом зазвичай “стискає” простір ознак (формує витягнуті ланцюжки), тоді як зв’язування за найдальшим сусідом може “розтягувати” простір і породжувати надто компактні групи. Якщо задача потребує значних обчислювальних ресурсів і передбачає подальше нарощування складності моделей класифікації, доцільним напрямом є використання нейромережевих підходів.

Для аналізу мовного трафіку та виявлення ознак нелегальної термінації у цій роботі пропонується застосовувати метрику Хаусдорфа, оскільки вона придатна для порівняння часових залежностей (кривих) і добре фіксує локальні “піки” та провали.

В основі обчислення середніх (очікуваних) значень трафіку лежать імовірнісні характеристики потоків, які генеруються різними мережевими елементами. Щоб застосувати відповідну методику, необхідно мати відомості про:

- топологію/структуру мережі;
- чисельність абонентів у кожному вузлі;
- розподіл користувачів за класами обслуговування;
- перелік сервісів і їх параметри (характеристики послуг).

Розрахунок трафіку виконується окремо для кожної послуги на кожному вузлі. Математичне очікування трафіку для k-ї послуги у і-му вузлі можна записати як:

$$Y_i^{(k)} = B_{cp}^{(k)} * N_{\text{аб}\,i}^{(k)} * T_c^{(k)} * f_{\text{виклик}\,i}^{(k)} \qquad (3.1)$$

де, k – індекс послуги;

і – індекс вузла;

$Y_{i(k)}$- очікуваний трафік, сформований k-ю послугою у вузлі і;

$B_{\text{ср}(k)}$ – середня швидкість передавання (біт/с);

$N_{\text{аб } i(k)}$ – кількість абонентів у вузлі iii, що користуються kkk-ю послугою;

$T_{c(k)}$ – середня тривалість сеансу для kkk-ї послуги;

$f_{\text{викл.},i(k)}$- середня інтенсивність викликів (у ЧПН) для користувачів вузла iii, які споживають k-у послугу.

Крім того, вимірювання доцільно попередньо розділяти за типами днів із близькою статистичною поведінкою. Відповідно до підходів ITU-T, практично виділяють щонайменше три групи: робочі, вихідні та особливі (пікові) дні. Таке групування є важливим, оскільки дні з аномально великою кількістю викликів (наприклад, новорічний період) можуть істотно зміщувати оцінки та погіршувати якість порівнянь.

Метрика Хаусдорфа використовується у задачах розпізнавання як міра “близькості” кривих. Для кількісного порівняння введемо відстань Хаусдорфа [26]. Нехай на відрізку [t1,t2] задані графіки трафіку f1 та f2 Тоді відстань між ними визначається як:

$$p(f_1, f_2) = max_{x\in[t_1,t_2]}|f_1(x) - f_2(x)| \quad (3.2)$$

Отримана величина (рівномірна метрика) показує найбільше відхилення значень однієї функції від іншої на заданому інтервалі, тобто характеризує “найгіршу” різницю між двома кривими.

На рис. 3.12 наведено статистичні дані трафіку в контрольній точці К1 у розрізі комутаторів, а також довірчі межі (верхню/нижню границі) профілю на поточний момент часу на інтервалі [$t_1$,$t_2$].

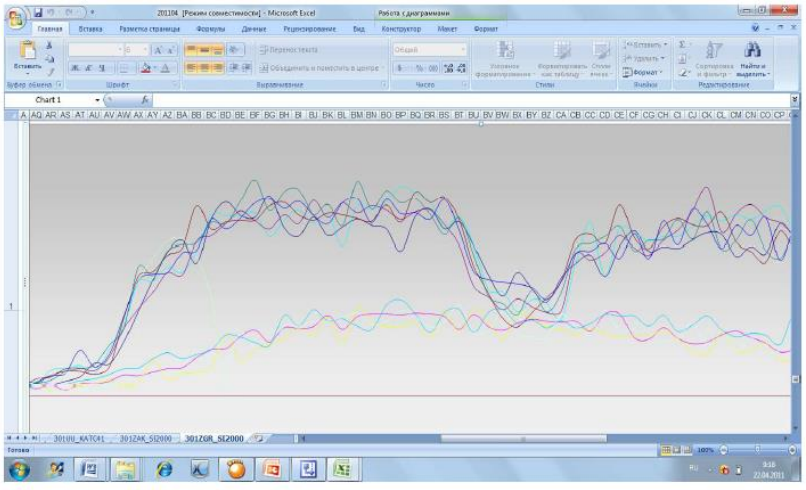


Рис. 3.6 Профіль трафіку в контрольній точці К1 (за комутаторами)

Якщо значення рівномірної відстані (метрики Хаусдорфа) на відрізку [t1,t2].перевищує заданий поріг (граничний рівень), то зафіксований профіль трафіку розглядається як аномальний і може бути індикатором несанкціонованого використання ресурсів мережі (потребує подальшої перевірки джерела сплеску).

### 3.4 Виявлення підміни та унікальності номерів: евристична схема аналізу

Мережа зв’язку загального користування зазвичай описується як багаторівнева структура: локальний сегмент забезпечує доступ абонентів і комутацію на місці, регіональний/зоновий рівень об’єднує локальні вузли в межах територій, а “далекий” шар відповідає за міжміські та міжнародні напрямки. Для підтримання конкуренції на кожному з рівнів необхідні узгоджені правила інтерконекту: технічні умови приєднання мереж та порядок фінансових розрахунків за пропуск і завершення викликів.

У практиці голосових сервісів поширена модель CPP (Calling Party Pays), коли витрати на встановлення з’єднання та його доставку закладаються на стороні ініціатора, а оператор, що завершує виклик, отримує оплату за термінацію згідно з договором. Саму логіку нарахувань і точки, де виникають платежі між учасниками, схематично показано на рис. 3.7.

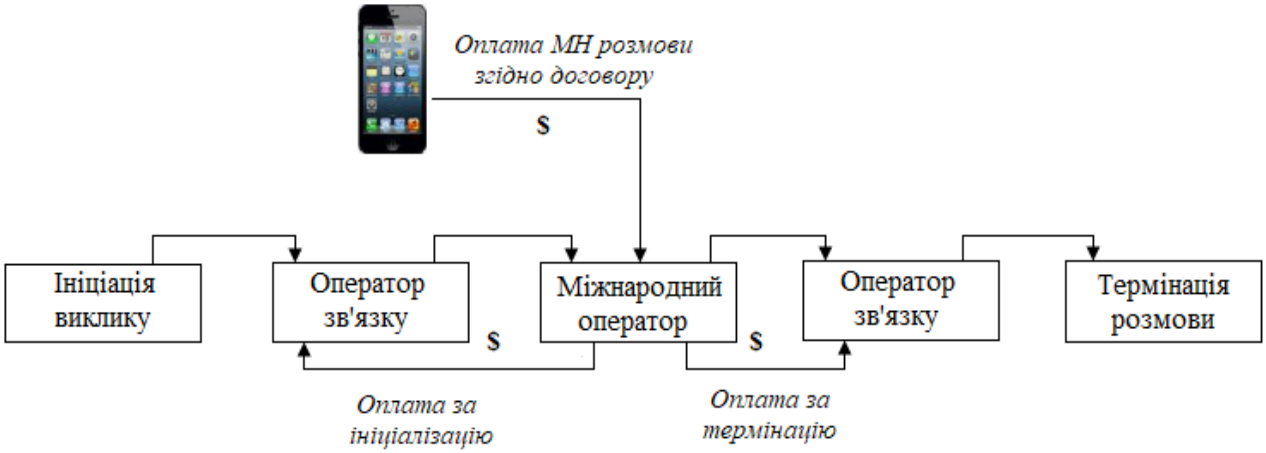



Рис. 3.7 Схема міжоператорських взаєморозрахунків та маршрутизації МН/МГ викликів (принцип Calling Party Pays)

Бізнес-процес пропуску трафіку в межах цієї моделі можна подати як послідовність взаємодії сторін: абонент А → оператор доступу/ініціатор → транзитний(і) оператор(и) → оператор термінації → абонент В. Структуру такого ланцюга та роль кожної сторони в проходженні виклику наведено на рис. 3.8.

Для міжоператорського білінгу критичним є коректне визначення маршруту проходження дзвінка (зокрема за напрямом та trunk group), адже саме це задає, кому і за якою ставкою належить оплата. Первинними даними для розрахунків виступають записи про з'єднання (CDR), що формуються комутаційними елементами та далі обробляються системами передбілінгу/білінгу.

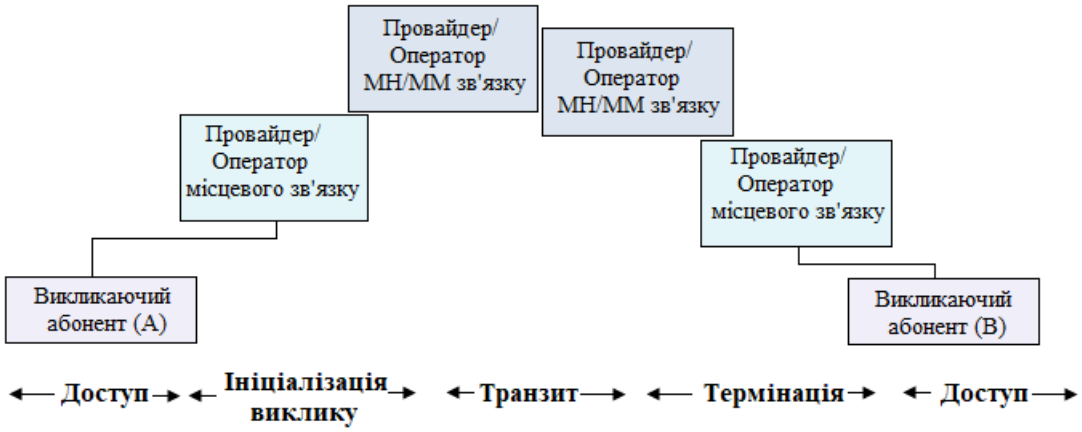



Рис. 3.8 Ланцюг проходження голосового трафіку в моделі CPP: ініціація — транзит — термінація

Оскільки послуги пропуску й завершення викликів (термінації) формують відчутну маржинальність, вони стають зоною підвищеної уваги для всіх учасників ланцюга взаємодії. Загальна логіка взаєморозрахунків і маршрутизації для МГ/МН з'єднань показана на рис. 3.7, а типова послідовність бізнес-ролей у моделі *Calling Party Pays* (CPP) — на рис. 3.8. Внаслідок цього інтереси сторін часто розходяться: ініціююча сторона намагається мінімізувати плату за термінацію, тоді як мережа, що приймає трафік, прагне зберегти повний дохід від завершення з'єднання.

Практика показує, що скорочення витрат на завершення викликів досягається як відверто протиправними механізмами (обхід тарифів, підміна походження трафіку), так і «умовно легальними» схемами, що спираються на прогалини угод чи регуляторики. Найчастіше об'єктом таких маніпуляцій стає саме

міжміський/міжнародний напрям — там ставки за термінацію, як правило, вищі, а економічний ефект від обхідних сценаріїв значніший. Один із сучасних масових інструментів — SIM-box / SIM-farm та VoIP-шлюзи, які дозволяють «перетворювати» міжнародні виклики на нібито локальні та обходити частину перевірок автентифікації виклику; це прямо веде до втрат виручки й підриває довіру до голосового каналу. cfca.org+1

Показовий ризиковий сценарій ілюструє рис. 3.9: якщо оператор, що має власну місцеву/зонову інфраструктуру (оператор А), з'єднаний на локальному рівні з мережею іншого учасника (оператор Б), то за певних умов Б може спробувати передавати на А «далекий» трафік через місцеве приєднання (у т.ч. із заміною реальних А-номерів на номери зі свого ресурсу). У такій ситуації А отримує навантаження та витрати, характерні для МГ/МН термінації, але ризикує недоотримати відповідну оплату, якщо реальне джерело або клас трафіку спотворено. Законність і кваліфікація подібних дій визначаються тим, звідки фактично походить трафік і як саме оформлені міжоператорські домовленості, маршрутизаційні правила та контроль адресної/сигнальної інформації (що й обґрунтовує необхідність окремого аналізу сценаріїв на рівні інтерконекту).

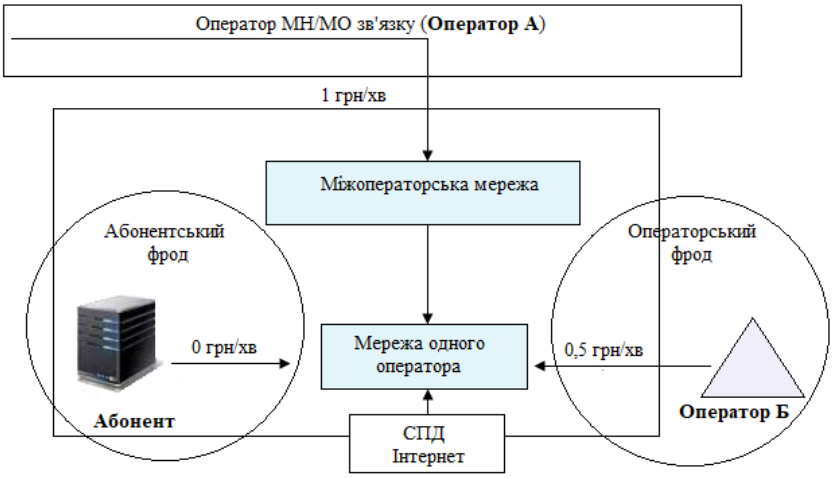



Рис. 3.9 Схема фінансових стимулів і ризиків некоректної термінації (абонентський та операторський фрод)

Послуги транзиту та завершення викликів зазвичай належать до наймаржинальніших напрямів, тому кожен учасник ланцюга прагне впливати на

власні витрати або виручку. Ця логіка добре ілюструється на рис. 3.9, де видно, що сторона, яка передає трафік у мережу-одержувач, зацікавлена мінімізувати оплату, тоді як термінуючий оператор намагається отримати оплату за «дорогим» класом — зоновим, міжміським або міжнародним.

Зменшення платежів за термінацію досягають як відверто незаконними практиками (в обхід ліцензій, правил інтерконекту чи регуляторних вимог), так і «формально допустимими» схемами, які виникають через прогалини угод або неоднозначність регулювання. Найчастіше об’єктом маніпуляцій стає далекий трафік (МГ/МН), оскільки саме для нього ставки завершення, як правило, найбільші. У рис. 3.9 це відображено як конфлікт інтересів: одна сторона прагне «знизити категорію» виклику, інша — зберегти коректну маршрутизацію та тарифікацію.

Якщо оператор із власною місцевою та зоновою інфраструктурою (оператор А) має місцевий інтерконект із партнером (оператор Б, див. рис. 3.9), виникає ризик, що через цей «місцевий» стикувальний інтерфейс у мережу А почне надходити не лише місцевий, а й внутрішньозоновий чи міжнародний трафік. Додатково проблема загострюється, коли подається змінена адресна інформація (підміна А-номера або використання номерного ресурсу, який не відповідає фактичному джерелу). Практична можливість обмежити такі сценарії — чітко зафіксувати в договорі інтерконекту, що на місцевому рівні дозволені лише місцеві виклики абонентів оператора Б; тоді будь-яке «приземлення» далекого трафіку через місцевий стикувальний канал матиме ознаки операторського фроду (узгоджено з логікою, показаною на рис. 3.9).

У межах цієї роботи всі наведені приклади, коли далекий трафік завершується «не тим способом», що відповідає його реальному походженню та економічній моделі взаєморозрахунків, пропонується позначати узагальненим терміном «некоректна термінація трафіку».

Окрім порушень маршрутизації та категорії виклику, можливі й спотворення реальної тривалості з’єднання. Такі ситуації пов’язані з імітацією або підміною сигнальних повідомлень встановлення/роз’єднання з метою отримати неправильну

тривалість тарифікації — приклад механіки показано на рис. 3.10. У сучасних мережах (особливо на тлі зростання шахрайства та автоматизації атак) додаткову небезпеку створюють соціоінженерні сценарії та використання інструментів на базі GenAI для масштабування шахрайських операцій; галузь прямо вказує на швидку еволюцію таких загроз і необхідність багаторівневої протидії (технічні заходи + кооперація + регуляторні механізми).

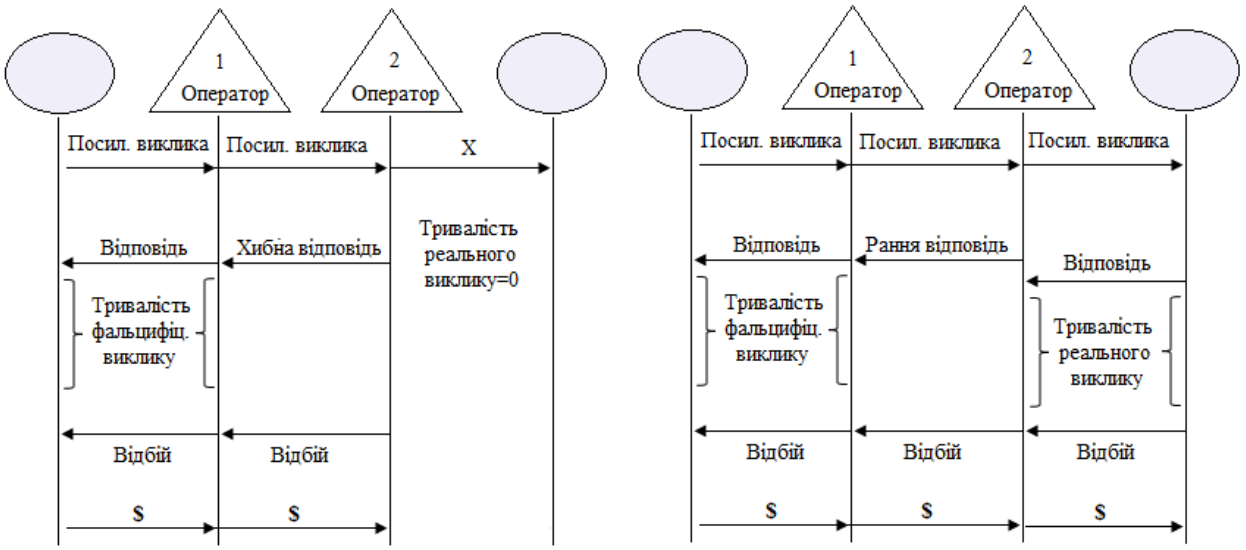



Рис. 3.10 Приклад маніпуляцій сигнальними повідомленнями (викривлення WAS/FAS) під час встановлення та роз’єднання з’єднання

Щоб знаходити некоректну термінацію, викривлення тривалості з’єднань і зменшувати ризик повторення таких інцидентів, у роботі запропоновано алгоритм контролю унікальних та модифікованих номерів. Його сильна сторона — налаштовуваний набір критеріїв, порогів і параметрів сигнальних ознак, що дає змогу адаптувати перевірки під різні напрямки та партнерів. Наприклад, можна окремо для конкретного оператора задати умову блокування із фіксованою причиною відмови та власним порогом спрацювання. Загальна логіка перевірок і послідовність кроків подані на рис. 3.11. Запропонований підхід складається з кількох стадій і дозволяє протидіяти фроду як на вихідних, так і на вхідних маршрутах.

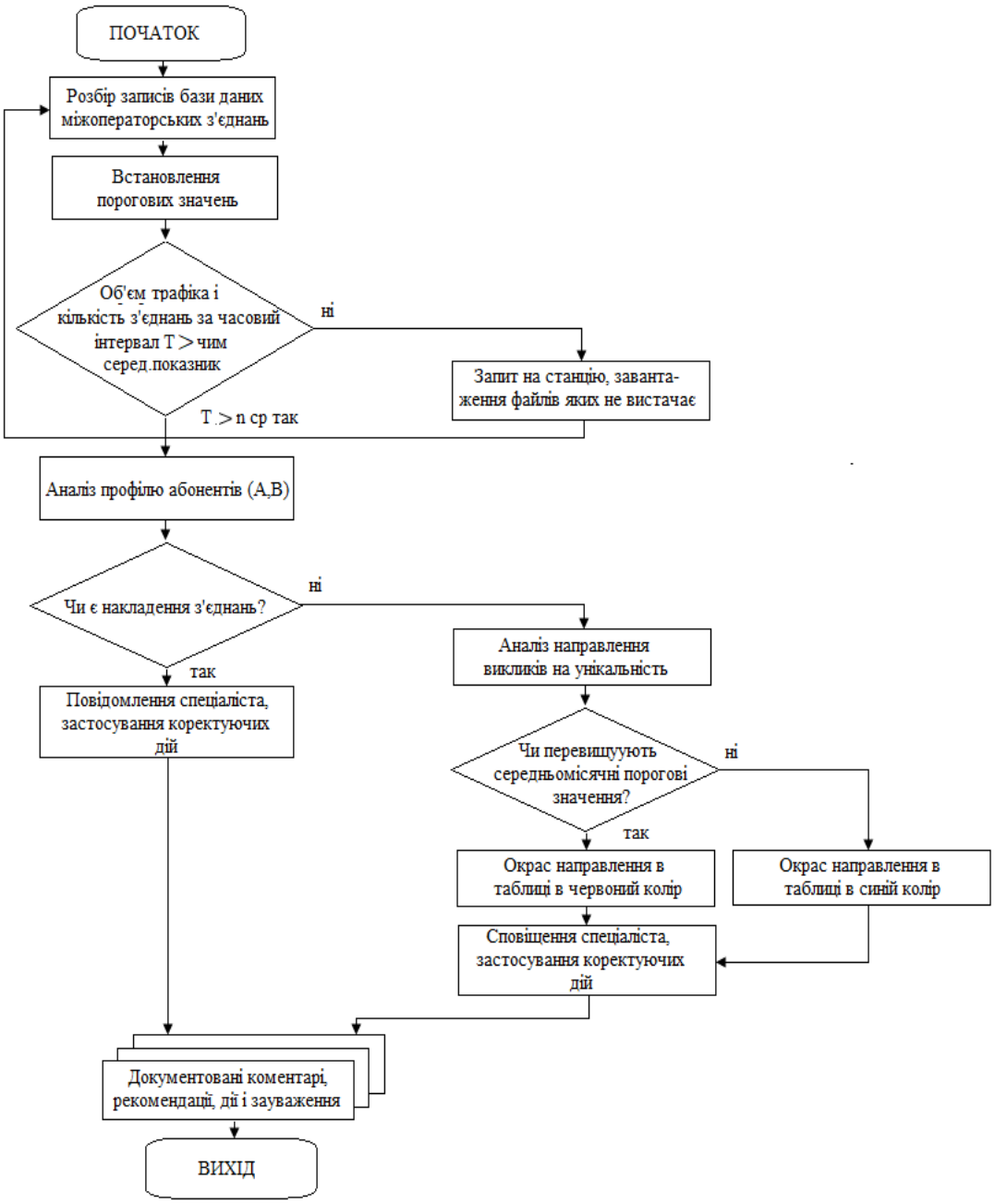


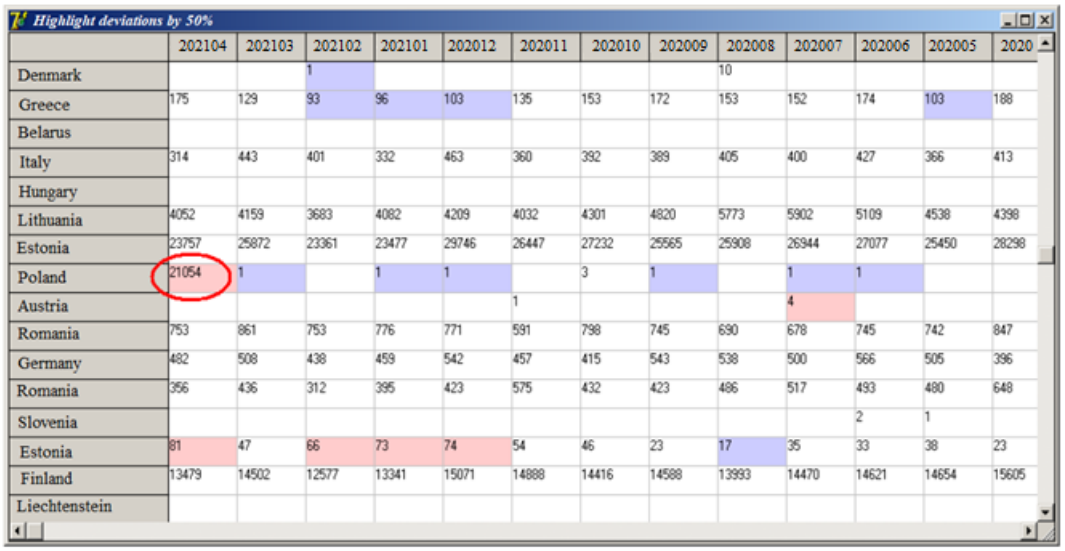

Рис. 3.11 Алгоритм виявлення унікальних/модифікованих номерів і аномалій термінації трафіку

Аналіз вихідного трафіку.

1. На першому кроці перевіряється «нетиповість» напрямків за рахунок контролю унікальності номерів абонентів, яким телефонують, та динаміки викликів. У пріоритеті — вихідні МГ/МН-напрями: для інтервалу t = 24 години підраховується кількість з’єднань і зіставляється зі середнім добовим рівнем для

цього ж напряму. Далі статистику агрегують і на її основі формують порогові значення для кожного напрямку окремо.

Якщо подія потрапляє у «тривожну» зону (тобто кількість з'єднань вища за допустимий поріг на даному маршруті), перевищення позначається рожевим маркером, а заниження відносно очікуваного рівня — блакитним. Такий підхід дозволяє швидко бачити різкі сплески або провали та переходити до пошуку першопричини. Приклад нетипового приросту на конкретному міжнародному напрямку показано на рис. 3.12 (умовно — різке зростання трафіку до Польщі). У разі підтвердження шахрайської схеми потрібно оперативно припинити «злив» трафіку, а також усунути технічні передумови, щоб знизити ймовірність повторних атак на телекомунікаційну мережу.




| | 202104 | 202103 | 202102 | 202101 | 202012 | 202011 | 202010 | 202009 | 202008 | 202007 | 202006 | 202005 | 2020 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Denmark | | | 1 | | | | | | 10 | | | | |
| Greece | 175 | 129 | 93 | 96 | 103 | 135 | 153 | 172 | 153 | 152 | 174 | 103 | 188 |
| Belarus | | | | | | | | | | | | | |
| Italy | 314 | 443 | 401 | 332 | 463 | 360 | 392 | 389 | 405 | 400 | 427 | 366 | 413 |
| Hungary | | | | | | | | | | | | | |
| Lithuania | 4052 | 4159 | 3683 | 4082 | 4209 | 4032 | 4301 | 4820 | 5773 | 5902 | 5109 | 4538 | 4398 |
| Estonia | 23757 | 25872 | 23361 | 23477 | 29746 | 26447 | 27232 | 25565 | 25908 | 26944 | 27077 | 25450 | 28298 |
| Poland | 21054 | 1 | | 1 | 1 | | 3 | 1 | | 1 | 1 | | |
| Austria | | | | | | 1 | | | | 4 | | | |
| Romania | 753 | 861 | 753 | 776 | 771 | 591 | 798 | 745 | 690 | 678 | 745 | 742 | 847 |
| Germany | 482 | 508 | 438 | 459 | 542 | 457 | 415 | 543 | 538 | 500 | 566 | 505 | 396 |
| Romania | 356 | 436 | 312 | 395 | 423 | 575 | 432 | 423 | 486 | 517 | 493 | 480 | 648 |
| Slovenia | | | | | | | | | | | 2 | 1 | |
| Estonia | 81 | 47 | 66 | 73 | 74 | 54 | 46 | 23 | 17 | 35 | 33 | 38 | 23 |
| Finland | 13479 | 14502 | 12577 | 13341 | 15071 | 14888 | 14416 | 14588 | 13993 | 14470 | 14621 | 14654 | 15605 |
| Liechtenstein | | | | | | | | | | | | | |

Рис. 3.12 Моніторинг аномалій трафіку за унікальними напрямками/номерами (за даними CDR)

Подальші кроки алгоритму, реалізація якого показана на рис. 3.11, базуються на аналізі CDR та контролі порогів за ключовими показниками трафіку. Приклад вихідних даних і візуального контролю відхилень наведено на рис. 3.12.

2) На основі CDR-записів виконується добовий аналіз активності абонентів групи А за двома метриками: кількість хвилин та число одночасних з'єднань. Далі визначаються абоненти, у яких будь-який із показників перевищує задані граничні значення (пороги «тривоги»).

3) Окремо досліджується структура викликів на предмет накладень: перевіряється, чи не перевищує кількість паралельних з’єднань допустимий рівень за умови, що абоненти A і B не мають багатоканальності. Це дозволяє виявляти схеми з використанням шлюзів/проксі, коли характер трафіку не відповідає типовій поведінці звичайного абонента.

Аналіз вхідного трафіку.

1. Для вхідних напрямків аналогічно контролюються обсяги хвилин і кількість одночасних з’єднань: попередньо задаються порогові значення для виявлення аномальних ситуацій, після чого фіксуються невідповідності контрольованих параметрів установленим межам.

2. Додатково виконується перевірка накладень з’єднань, оскільки саме цей індикатор часто сигналізує про некоректну термінацію або про несанкціоноване використання ресурсів мережі.

Ефективність телекомунікаційної взаємодії напряму визначається тим, наскільки результативно працюють інформаційні технології, що підтримують бізнес-процеси оператора та провайдера. Для збереження якості сервісів і конкурентних позицій оператору важливо використовувати мережеві ресурси раціонально та не допускати (або мінімізувати) нелегітимний пропуск трафіку. У випадках шахрайства чи недобросовісної експлуатації каналів зв’язку страждає не лише якість обслуговування, а й фінансовий результат: можливі суттєві втрати та додаткові зобов’язання у міжоператорських взаєморозрахунках.

Зменшення прибутковості, у свою чергу, підвищує собівартість послуг і звужує можливості модернізації мережі. Саме тому швидке виявлення і своєчасне припинення спроб фродового використання каналів є одним із ключових завдань операторів, а розробка моделей і методів, що дозволяють знаходити нелегітимні сценарії на основі CDR-даних (див. рис. 3.11–3.12), залишається актуальною. Практичне впровадження описаних підходів у підсистемах керування мережевою безпекою та в системах управління інфраструктурою дає змогу помітно скоротити втрати завдяки ранньому виявленню та блокуванню несанкціонованого використання ресурсів оператора.

# ВИСНОВКИ

У магістерській кваліфікаційній роботі розглянуто комплекс проблем ефективної експлуатації та розвитку мультисервісних телекомунікаційних мереж в умовах зростання мультимедійного навантаження, конкуренції на ринку й підвищених вимог до якості та безпеки послуг. Отримані результати дають підстави для таких висновків:

1. **Встановлено ключові вимоги до сучасних мереж зв'язку та інфокомунікаційних сервісів** (мультисервісність, широкосмуговість, мультимедійність, інтелектуальність, інваріантність доступу, багатооператорність), а також показано доцільність комплексного підходу до управління якістю, що охоплює показники обслуговування, параметри послуги та характеристики інфокомунікаційної мережі.

2. **Обґрунтовано роль OSS/операційної підтримки** як інструмента зниження непродуктивних витрат оператора (дублювання експлуатаційних процесів, неефективність використання інфраструктури, втрати доходів), а також зазначено практичну різницю між вертикальними та горизонтальними підходами до побудови OSS, що узгоджується з багаторівневою логікою управління мережею.

3. **Підтверджено тенденцію сталого зростання трафіку** (зокрема зовнішнього/вхідного), що підсилює ризики перевантаження рівнів доступу/агрегації/концентрації та деградації QoS. Динаміка навантаження проілюстрована часовими рядами і слугує підставою для необхідності оптимізації транспортних ресурсів та переходу до більш "локальної" моделі обслуговування контенту.

4. **Показано, що локалізація трафіку є одним із найефективніших економічних важелів**, який зменшує витрати на закупівлю зовнішнього трафіку та вивільняє пропускну здатність магістралей. Класифікацію основних груп заходів локалізації (контентне наповнення власних ресурсів, обмеження зовнішнього навантаження за рахунок кешування/дзеркал, домовленості з іншими операторами/контент-провайдерами).

5. **Обґрунтовано доцільність впровадження CDN/кеш-контент інфраструктури** як практичного механізму “наближення” даних до користувача та розвантаження “вузьких місць” зовнішніх магістральних каналів. Показано, що задача встановлення/розміщення контент- і кеш-серверів логічно формулюється через цільову функцію та систему обмежень; процес формалізації задачі подано у вигляді технологічної блок-схеми.

6. **Проаналізовано ієрархічну архітектуру мультисервісної мережі регіону** та функціональні ролі рівнів доступу, концентрації/розподілу, ядра/транспорту, агрегації, магістралі й кордону. Показано, що розвиток абонентського доступу (перехід від мідних технологій до оптичних/FTTx/PON) створює додатковий тиск на транспортну частину, тому оптимізація структури мережі та серверної інфраструктури стає критичною.

7. **Для прогнозування обсягів локалізованого трафіку застосовано декомпозицію часових рядів** з трендовою й сезонною складовими та порівнянням ліній тренду.

8. **Розроблено формалізований підхід до задачі оптимального розміщення серверів на основі гіпермережевого опису**, що дозволяє розглядати топооснову, первинну та вторинні мережі як єдиний об’єкт. У межах цієї постановки показано NP-складність задачі синтезу мультисервісної ТКС, тому запропоновано евристичний алгоритм із ітеративним уточненням топології та параметрів елементів мережі.

9. **У частині захисту доходів оператора проаналізовано джерела та механізми фрод-втрат** у ланцюжку “комутація → передбілінг → білінг → інкасація”, наведено класифікації фрода за спрямованістю дій та за джерелом загрози, а також за функціональними областями. Показано, що фінансові втрати посилюються через складність міжоператорських взаєморозрахунків і високий “економічний стимул” маніпуляцій на МГ/МН напрямках.

10. **Запропоновано практичний метод контролю доходів через контрольні точки** з фіксацією, звіркою й аналізом CDR/облікових файлів на різних стадіях обробки. Для оперативного виявлення нехарактерних сплесків

трафіку в контрольній точці К1 використано підхід порівняння часових профілів із еталонними межами, а як міру відхилення застосовано рівномірну метрику (метрику Хаусдорфа): при перевищенні граничного порогу ділянка трафіку класифікується як підозріла/несанкціонована.

11. **Розглянуто бізнес-логіку міжоператорських розрахунків та ризики некоректної термінації**, що виникають у моделі CPP та при транзиті/термінації викликів.

12. **Розроблено алгоритм виявлення унікальних/модифікованих номерів** для протидії некоректній термінації та аномаліям тривалості, який включає аналіз вихідного та вхідного трафіку за обсягом хвилин, кількістю одночасних з’єднань, накладеннями та відхиленням від типових добових значень.

Практична значущість

Запропоновані в роботі підходи (локалізація трафіку через CDN/кешування та оптимальне розміщення серверів; прогнозування навантаження; контроль доходів і виявлення фрода через контрольні точки, аналіз CDR та метрику Хаусдорфа) можуть бути використані оператором зв’язку для:

- зниження витрат на зовнішній трафік і розвантаження магістральних каналів;
- підвищення стабільності QoS за рахунок оптимізації структури мережі та ресурсів;
- скорочення втрат доходів, пов’язаних із некоректною термінацією та шахрайськими схемами.

# ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1.Бугрин В.П. Затраты и принятие решений: перев. с анг. / В.П. Бугрин, В.Н. Голубкин, В.Н. Карпов. Жуковский: МИН ЛИНК, 2017. Кн. 3. С. 6-27.

2. Гольдштейн А. Б. Управление телекоммуникациями как техническая система // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании. 2018. С. 236–242.

3. Lawrence, P., R., Lorsch, J., W. «Differentiation and Integratuion in Complex Organizations», Administrative Sciemce Quarterly, 12 June, 2016. - P.1-47.

4. Chandler A.D., Strategy and Structure. Cambridge, Mass: MIT Press, 2015. - P.382-383.

5. Самуйлов К. Е., Гайдамака Ю. В. Метод построения процессной модели компании с помощью аппарата сетей массового обслуживания // Технологии информационного общества X Междунар. отраслевая науч.-техн. конф. 2016. С. 61.

6. ITU T. Vocabulary of terms for ISDNs. Recommendation I.112. /Geneva, 2011.

7. Шувалов В.П., Величко В.В., Субботин, Ярославцев А.В. Телекоммукационные системы и сети: учебное пособие в 3 томах. Том 3, Мультисервисные сети - М.: «Горячая линия - Телеком», 2015. -592с.

8. Леваков А. К., Федоров А. В., Соколов Н. А. Задачи оценки показателей, определяющих качество функционирования телекоммуникационных сетей // Электросвязь. 2015. № 6.

9. Дымарский Я.С. Управление сетями связи: принципы, протоколы, прикладные задачи / Я.С. Дымарский, Н.П. Крутикова, Г.Г. Яновский. М.: ИТЦ «Мобильные коммуникации», 2017. 384 с.

10. Гордєєв Е.М. Нові технології у системах управління мережами зв'язку / Е.М. Гордєєв // Вісник зв'язку. 2015. С. 79-83.

11. Наумов В. А., Самуйлов К. Е., Самуйлов А. К. О суммарном объеме ресурсов, занимаемых обслуживаемыми заявками // Автоматика и телемеханика. 2016. № 8. С. 105.

12. Chandler A.D., Strategy and Structure. Cambridge, Mass: MIT Press, 2017. - P.382-383.

13. Gadde S., Chase J., Rabinovich M. Web caching and content distribution: A view from an interior. Computer Communs, 24, 2017. - P.222-231.

14. Chankhunthod A., Danzig P., Neerdaels C., Schwartz M. F., Worrell K. A hierarchical Internet object cache. Proc. 1996 USENIX Annu. Tech. Conf., San Diego, Jan 2011.- P.153-163.

15. Гордеев Э.Н. Новые технологии в системах управления сетями связи / Э.Н. Гордеев // Вестник связи. 2018. №1. С. 29-32; 2000. С. 79-83.

16. Douglas E. Comer. Automated Network Management Systems. Publisher: Prentice Hal, first edition, 2016. - 368 p.

17. Vijay K. Gurbani, Xian-He Sun. Architecting the Telecommunication Evolution. Auerbach, 2016. - 284 p.

18. Юзбашев М.М. О правильном измерении тренда при наличии периодических колебаний / М.М. Юзбашеев // Вопросы статистики № 3, 2019. - С. 72-73.

19. Попков В.К. Применение теории Гиперсетей для моделирования систем сетевой структуры/ В.К. Попков // Проблемы информатики №4 (8) 2015. - С. 3640.

20. Макшанова Л.М. Информационная модель АСР (автоматизированная система расчетов)/ Л.М. Макшанова// Международная НПК, ПФСИ. 2016. - С. 182-183.

21. Ченнинг И. Борьба с мошенничеством продолжается// Мобильные телекоммуникации. 2019. № 6. — С. 23—27.

22. Rapp Y. Planning of junction network in or multi-exchange area. Ericsson Technics. 2014, p.77.

23. Теленик С. Ф. Н. Выявление нелигитимного использования ресурсов операторов мобильной связи/ С. Ф. Теленик, А. Н. Ролик, П. Н. Милюков, Н. Н. Пищаева // Проблеми інформатизації та управління: зб. наук, праць - К.: НАУ, 2019. - Вин. 2 (26)-С. 135-139.

24. Geoff Ibbett. Fraud: telcos' biggest enemy, 2016.

25. Малюков П. Н. Сравнительный анализ методов классификации аномалий в трафике провайдера мобильной связи/ П.Н. Малюков, Н. Н. Пищаева // Електронiка та системи управлшня. 2017. №2(24). С. 148-152.

26. Хаусдорф Ф. Теория множеств / Ф. Хаусдорф. 4-е изд. М.: 2017. 304 с.

27. Ковалев Ю. Биллинг межоператорских услуг: новые требования и тенденции / Ю. Ковалев // Мобильные системы. 2016. №1.

28. Литягин П.Е. Роль системы мониторинга в инфраструктуре оператора МГ/МН связи / П.Е. Литягин//Журнал «Вестник связи»№9,2017. -С. 100-105.

# ДЕМОНСТРАЦІЙНІ МАТЕРІАЛИ

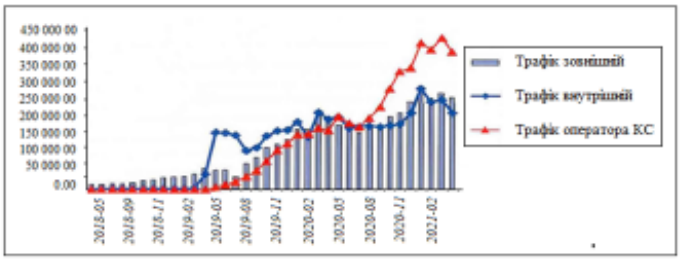
2

## МЕТА І АКТУАЛЬНІСТЬ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

**Мета роботи** – озробити та обгрунтувати підхід до підвищення економічної результативності й якості роботи мережі оператора шляхом оптимізації структури мережі.

**Об'єкт дослідження** – інфокомунікаційна телекомунікаційна мережа оператора зв'язку та процеси її технічної й економічної експлуатації.

**Предмет дослідження** – методи й моделі підвищення ефективності експлуатації мережі оператора




***Актуальність роботи:***

1. Стрімке зростання обсягів мобільного трафіку (відео, хмарні сервіси, IoT)
2. Посилення вимог до QoS/QoE та надійності мережіНеобхідність оптимізації CAPEX/OPEX для збереження рентабельності
3. Потреба в алгоритмічних підходах до прогнозування та локалізації трафіку, протидії фроду.

3

## ЕКОНОМІКА ТА ЕКСПЛУАТАЦІЯ МЕРЕЖІ МОБІЛЬНОГО ОПЕРАТОРА




Рис.1. Класифікація витрат оператора зв'язку за CAPEX/OPEX та складовими OPEX




Рис.2. Основні напрями підвищення рентабельності оператора зв'язку (доходи та оптимізація витрат)

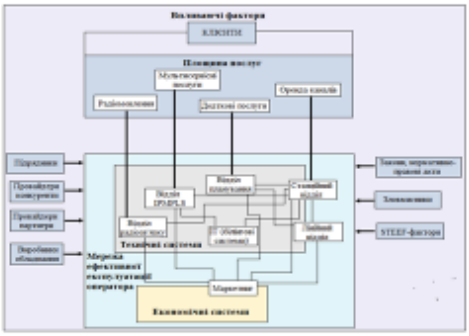



Рис.3. Модель експлуатаційної діяльності оператора зв'язку та зовнішніх чинників впливу (послуги–підрозділи–ресурси)

- CAPEX/OPEX формують витратну структуру оператора
- Рентабельність залежить від витрат та доходів
- Експлуатаційна діяльність забезпечує якість сервісу
- На мережу впливають внутрішні та зовнішні чинники

4

## ВЗАЄМОДІЯ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ ТА ЕКОНОМІЧНОЇ ПІДСИСТЕМ

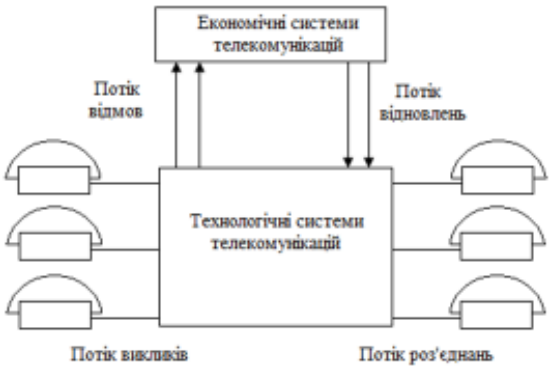



Рис. 4 Взаємодія економічної та технологічної підсистем телекомунікацій і потоки подій експлуатації

**KPI, що узгоджують роботу підсистем:**
*доступність мережі, середній час відновлення (MTTR), рівень дропів, пропускна здатність, ARPU, витрати на одиницю трафіку.*

- Витратна структура оператора включає **CAPEX** (інвестиції в мережу) та **OPEX** (експлуатаційні витрати).
- Ефективність управління мережею залежить від **балансу між якістю сервісу (QoS/QoE)** та витратами на підтримку інфраструктури.
- Експлуатаційна система об'єднує два контури:
- **технологічний** (мережеві елементи, трафік, відмови, продуктивність),
- **економічний** (доходи, тарифікація, витрати, рентабельність).
- **Взаємодія підсистем** визначає, як події в мережі впливають на економічні результати оператора.

5

## КЛАСИФІКАЦІЯ ПОСЛУГ ЗА ФУНКЦІОНАЛЬНИМИ ОЗНАКАМИ




Рис.5 Групування базових телекомунікаційних сервісів




Рис.6 Узагальнена схема класифікації сервісів зв'язку




Рис.7. Структурування послуг із доданою вартістю

***Різні класи послуг створюють різні вимоги до мережі (затримка, пропускна здатність, надійність)***

## СИСТЕМА УПРАВЛІННЯ МЕРЕЖЕЮ: МОДЕЛІ ТРАФІКУ ТА ПОКАЗНИКИ ЯКОСТІ

6

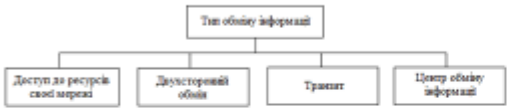



Рис.8. Моделі обміну трафіком: доступ, двостороння взаємодія, транзит та центр обміну

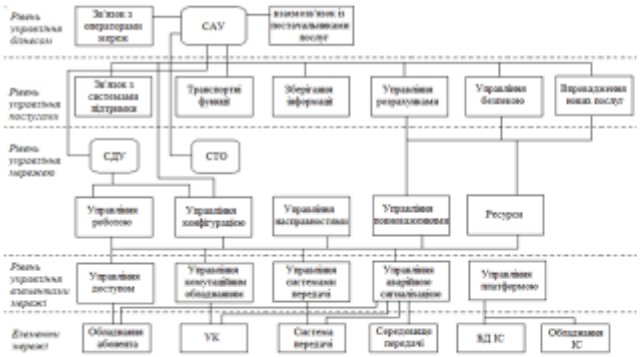



Рис.9 Ієрархія керування ресурсами оператора: від мережевих елементів до бізнес- та сервісного рівнів




Рис. 10 Структура показників якості (KPI) для інфокомунікаційних послуг і мережі

## ОПТИМІЗАЦІЯ МЕРЕЖІ ТА ЛОКАЛІЗАЦІЯ ТРАФІКУ

7

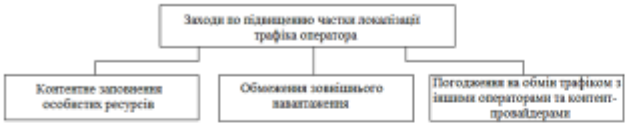



Рис.11. Заходи оператора для збільшення локалізації трафіку

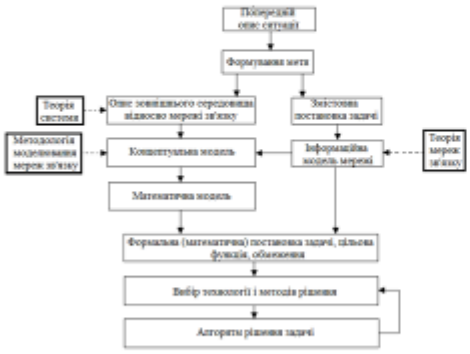



Рис.12. Логіка постановки та формалізації задачі оптимізації (від опису середовища до алгоритму розв'язання)

- Проблема: стрімке зростання мультимедійного IP-трафіку, обмежені магістральні ресурси
- Локалізація = перенесення обміну даними ближче до абонента (on-net CDN, кеші, peering)
- Ефекти: зменшення витрат на зовнішній транзит, розвантаження магістралей, зниження затримок

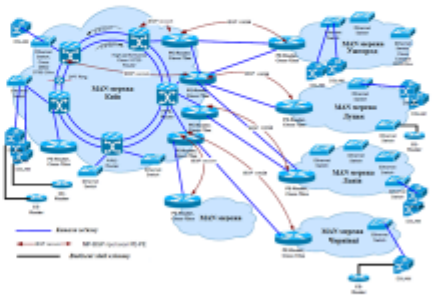


Рис. 13. Узагальнена архітектура мультисервісної мережі передавання даних регіону

***Оптимізація базується на поєднанні архітектурних рішень та математичної моделі розміщення ресурсів***

## АНАЛІЗ ТРАФІКУ ТА ПРОГНОЗУВАННЯ

8

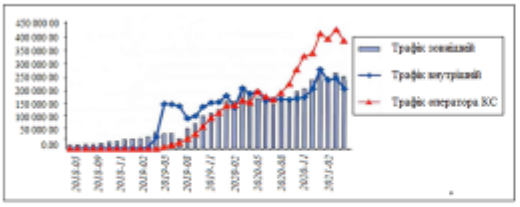



Рис.14 Часові ряди навантаження мережі




Рис.15 Порівняння трендових ліній за показником достовірності апроксимації




Рис. 16. Набір обраних способів апроксимації для подальшого моделювання

$$F = T + S + E$$

F – прогнозуюче значення;
T - тренд;
S - сезонна компонента,
E - помилка прогнозу

- **Виявлено стійкий тренд зростання трафіку** за роками.
- **Фіксується регулярна сезонність** (місячні та тижневі цикли).
- **Порівняно моделі тренду** — лінійна, експоненційна, поліноміальна.
- **Найкращу точність показала поліноміальна модель 3-го порядку.**
- Модель використовується для **прогнозування навантаження** та оцінки потреб у ресурсах.

## КЛАСИФІКАЦІЯ ФРОДУ

9

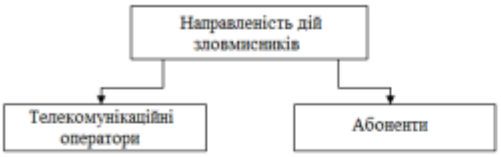



Рис.17. Розподіл фрод-сценаріїв за цільовою стороною (абонент / оператор)




Рис.18. Групування фрод-інцидентів за джерелом загрози (клієнтське, операторське, внутрішнє)




Рис.19. Функціональні домени прояву телекомунікаційного шахрайства (мобільні та фіксовані мережі)

## РЕАЛІЗАЦІЯ МЕТОДІВ ТА АЛГОРИТМІВ ВИЯВЛЕННЯ ФРОДУ

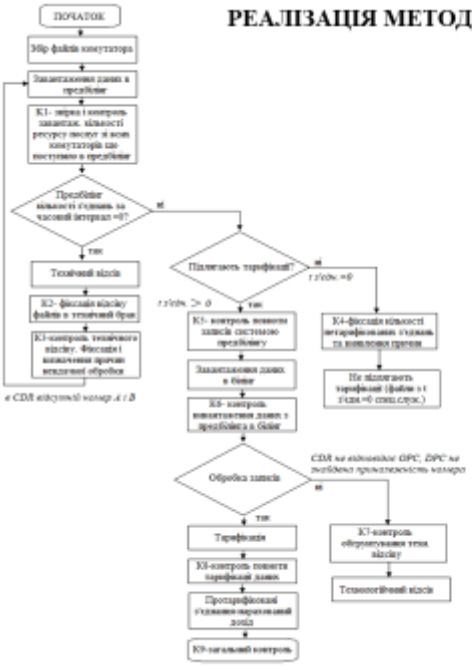



Рис.20. Схема контролю доходів на основі контрольних точок

**Заходи для виявлення та запобігання випадкам телекомунікаційного шахрайства:**

- Збирання CDR-файлів у контрольних точках.
- Моніторинг обсягів трафіку для виявлення аномальних сплесків.
- Аналіз абонентських записів та підозрілої активності.
- Виявлення не тарифікованих або некоректно приземлених з'єднань.
- Перевірка на багатоканальність та порогові значення.
- У разі виявлення - блокування трафіку та корекція маршрутизації.
- Встановлення штрафних санкцій для партнерів за порушення.

*Даний метод дозволяє забезпечити повноту даних про з'єднання по контрольних точках, що відбулися, і попередити всілякі збої і втрати, забезпечувати їх оперативне виявлення і ліквідацію з найменшими витратами і ресурсами.*



## АЛГОРИТМ ЗАСТОСУВАННЯ МЕТРИКИ ХАУСДОРФА В СИСТЕМАХ АНАЛІЗУ ТРАФІКУ

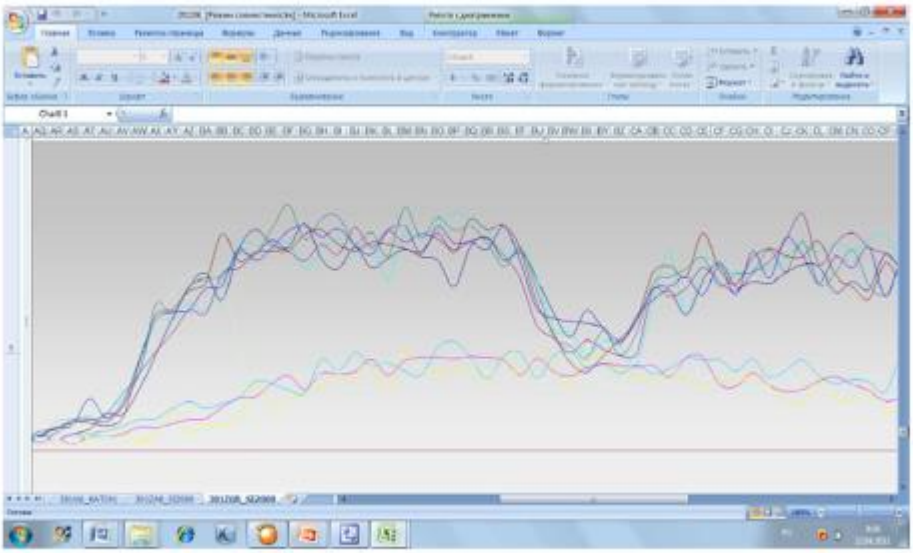


Рис.21 Профіль трафіку в контрольній точці К1 (за комутаторами)

12

## АЛГОРИТМ ВИЯВЛЕННЯ УНІКАЛЬНИХ ТА МОДИФІКОВАНИХ НОМЕРІВ

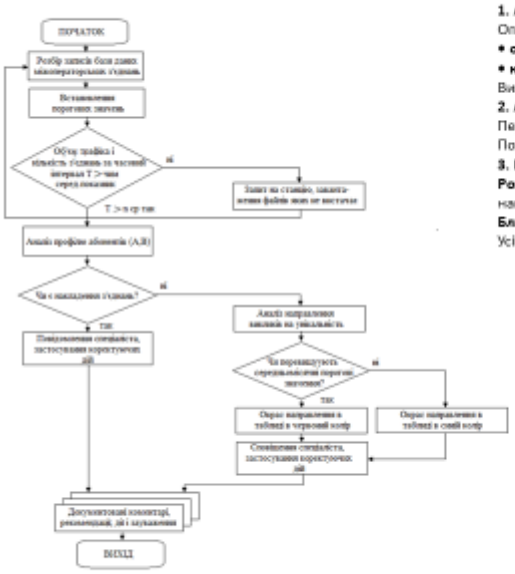



Рис. 22. Алгоритм виявлення унікальних/модифікованих номерів і аномалій термінації трафіку

**1. Аналіз добового трафіку абонента (етап 1):**
Опрацювання CDR-файлів за двома параметрами:
- **обсяг хвилин,**
- **кількість одночасних з'єднань.**

Виявлення абонентів, у яких ці значення **перевищують граничні пороги.**
**2. Аналіз структури викликів (етап 2):**
Перевірка унікальності номерів, на які здійснюються дзвінки протягом **24 годин.**
Порівняння з **середніми добовими значеннями** для цього напрямку.
**3. Виявлення аномалій:**
**Рожевий колір** - перевищення граничних значень (наприклад, різке збільшення трафіку до одного напрямку).
**Блакитний колір** - занижені значення.
Усі різкі сплески або спади проходять **додатковий аналіз причин.**

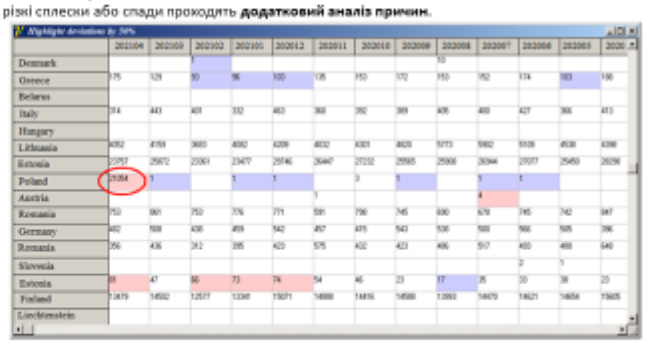



Рис. 23. Моніторинг аномалій трафіку за унікальними напрямками/номерами (за даними CDR)

13

## ВИСНОВКИ ТА АПРОБАЦІЯ

У кваліфікаційній роботі було виконано комплексне дослідження, спрямоване на підвищення ефективності управління мережею мобільного оператора. Зокрема:

- Проаналізовано структуру мережі оператора та ключові фактори її ефективності.
- Визначено вплив CAPEX/OPEX та KPI на якість і рентабельність.
- Обґрунтовано підхід до локалізації трафіку як засобу оптимізації витрат.
- Виконано аналіз трафіку та вибрано оптимальну модель прогнозування.
- Розроблено узагальнену оптимізаційну модель структури мережі та розміщення ресурсів.
- Досліджено методи виявлення фроду для підвищення безпеки оператора.

ПРАКТИЧНЕ ЗНАЧЕННЯ

- Оптимізація витрат оператора (CAPEX/OPEX).
- Розвантаження магістральних каналів через локалізацію трафіку.
- Підвищення QoS/QoE на основі прогнозування навантаження.
- Збільшення захищеності мережі від фроду.
- Можливість використання підходів у плануванні розвитку мереж.

АПРОБАЦІЯ

- Основні результати роботи представлені на трьох науково-практичних конференціях.

**Протокол аналізу звіту подібності науковим керівником**

Заявляю, що я ознайомився (-лась) з Повним звітом подібності, який був згенерований Системою виявлення і запобігання плагіату щодо роботи:

**Автор:** Андрій БЛОНСЬКИЙ

**Назва:** АЛГОРИТМИ ТА МЕТОДИ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ УПРАВЛІННЯ МЕРЕЖАМИ МОБІЛЬНОГО ЗВ'ЯЗКУ

**Координатор:** Олександр КРИВОНОСЕНКО

**Підрозділ:** ННІТ

**Коефіцієнт подібності 1**:3

**Коефіцієнт подібності 2**:0.5

**Тривога:** 26

**Після аналізу Звіту подібності констатую наступне:**

☐ виявлені в роботі запозичення є сумлінними і не мають ознак плагіату. Тому робота визнається самостійною і допускається до захисту;

☐ виявлені в роботі запозичення не мають ознак плагіату, але їх надмірна кількість викликає сумніви щодо цінності роботи і самостійності її автора. Роботу направити на доопрацювання;

☐ виявлені в роботі запозичення є недобросовісними і мають ознаки плагіату або в ній містяться навмисні спотворення тексту, що вказують на спроби приховування недобросовісних запозичень. У зв'язку з чим, робота не допускається до захисту.

…… ……

*Дата* *Підпис Наукового керівника*