

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

**Інститут телекомунікаційних систем
Кафедра Інформаційно-телекомунікаційних мереж**

До захисту допущено:

В.о. завідувача кафедри

_____ Лариса ГЛОБА

«___» _____ 2021 р.

Дипломна робота
на здобуття ступеня бакалавра
за освітньо-професійною програмою «Інформаційно-комунікаційні
технології»
спеціальності 172 «Телекомунікації та радіотехніка»
на тему: «Удосконалена методика оцінки структурної надійності
телекомунікаційної мережі»

Виконала:

студентка IV курсу, групи ТІ-72

Папушой Ольга Костянтинівна

Керівник:

Професор кафедри ІТМ ІТС, д.т.н., професор

Могилевич Дмитро Ісакович

Рецензент:

Доцент кафедри ТК ІТС, к.т.н, доцент

Явіся Валерій Сергійович

Засвідчую, що у цій дипломній роботі
немає запозичень з праць інших авторів
без відповідних посилань.

Студент (-ка) _____

Київ – 2021 року

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Інститут телекомунікаційних систем
Кафедра Інформаційно-телекомунікаційних мереж

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Спеціальність – 172 «Телекомунікації та радіотехніка»

Освітньо-професійна програма «Інформаційно-комунікаційні технології»

ЗАТВЕРДЖУЮ

В.о.завідувача кафедри

_____ Лариса ГЛОБА

«__» _____ 2021 р.

ЗАВДАННЯ

на дипломну роботу студентці

Папушой Ользі Костянтинівни

1. Тема роботи «Удосконалена методика оцінки структурної надійності телекомунікаційної мережі», керівник роботи Могилевич Дмитро Ісакович, професор кафедри ІТМ ІТС, д.т.н., професор, затверджені наказом по університету від «14» квітня 2021 р. № 1007-с
2. Термін подання студентом роботи 7 червня 2021 р.
3. Вихідні дані до роботи: інформаційні матеріали про мультисервісні системи зв'язку, наукові статті про структурну надійність телекомунікаційних мереж.
4. Зміст роботи :
 1. Аналіз способів побудови сучасних телекомунікаційних мереж.
 2. Аналіз існуючих методів оцінки структурної надійності телекомунікаційної мережі зв'язку.
 3. Аналіз факторів, що впливають на структурну надійність
 4. Удосконалена методика оцінки структурно-топологічних показників мережі при нормуванні її структурної надійності.

5. Перелік ілюстративного матеріалу (із зазначенням плакатів, презентацій тощо):

1. Титульний слайд
 2. Актуальність
 3. Мета, об'єкт, предмет
 4. Основні задачі
 5. Загальна архітектура мультисервісних систем зв'язку
 6. Постановка задачі
 7. Огляд існуючих рішень
 8. Опис представленої методики
 9. Блок-схема удосконаленої методики
 10. Результати
6. Дата видачі завдання 30 жовтня 2020 року

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Отримання завдання від керівника роботи	30.10.2020	Виконано
2	Підбір загальної та спеціальної літератури	31.10.2020 – 08.11.2020	Виконано
3	Аналіз сучасних телекомунікаційних мереж	09.11.2020 – 15.11.2020	Виконано
4	Написання 1 розділу дипломної роботи	16.11.2020 – 29.11.2020	Виконано
5	Аналіз методів оцінки структурної надійності і факторів, що впливають на них	30.11.2020 – 20.12.2020	Виконано
6	Написання 2 та 3 розділів дипломної роботи	21.12.2020 – 28.02.2021	Виконано
7	Написання наукової статті (ПРІТС-2021) та виступ	01.03.2021 – 15.04.2021	Виконано
8	Проведення оцінки залежності показників запропонованого методу	20.03.2021 – 18.04.2021	Виконано
9	Написання вступу та висновків	19.04.2021 – 02.05.2021	Виконано
10	Оформлення дипломної роботи	03.05.2021 – 31.05.2021	Виконано

Студент

Ольга ПАПУШОЙ

Керівник роботи

Дмитро МОГИЛЕВИЧ

РЕФЕРАТ

Тема роботи: удосконалена методика оцінки структурної надійності телекомунікаційної мережі.

Текстова частина дипломної роботи: 60с., 20 рис., 2 табл., 21 джерело.

Мета роботи: підвищення структурної надійності сучасної телекомунікаційної мережі зв'язку.

В даній роботі розглядається побудова сучасних телекомунікаційних мереж, а саме здійснюється опис мультисервісної мережі зв'язку, яка є складною системою, враховуючи її велику розмірність і більшого числа станів мережі. У зв'язку з цим, для оцінки і прогнозування структурної надійності телекомунікаційної мережі використовується метод декомпозиції, що дозволяє проводити оцінку залежності показників структурної надійності інформаційних напрямів від структури цих напрямів.

Ключові слова: мультисервісна мережа, NGN, телекомунікаційна мережа, структурна надійність, метод декомпозиції, структура, ймовірність.

ABSTRACT

Work topic: improved methods for estimation structural reliability of the communication network.

Text part of the thesis: 60 p., 20 figures, 2 tables, 21 sources.

Purpose: to increase the structural reliability of a modern telecommunications network.

This paper considers the construction of modern telecommunications networks, namely the description of a multiservice communication network, which is a complex system, given its large size and the large number of network states. In this regard, to assess and predict the structural reliability of the telecommunications network using the method of decomposition, which allows to assess the dependence of indicators of structural reliability of information directions on the structure of these directions.

Keywords: multiservice network, NGN, telecommunication network, structural reliability, decomposition method, structure, probability.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	9
РОЗДІЛ 1.....	12
ОБГРУНТУВАННЯ АКТУАЛЬНОСТІ УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДІВ СТРУКТУРНОЇ НАДІЙНОСТІ МУЛЬТИСЕРВІСНИХ МЕРЕЖ ЗВ'ЯЗКУ ...	12
1.1 Аналіз способів побудови сучасних телекомунікаційних мереж зв'язку.....	12
1.1.1 Узагальнена модель побудови телекомунікаційної мережі наступних поколінь.....	12
1.1.2 Аналіз моделей топологічної структури мережі.....	19
1.2 Аналіз факторів, які впливають на структурну надійність мереж зв'язку.....	26
1.3 Аналіз методів оцінки структурної надійності телекомунікаційної мережі зв'язку.....	30
1.4 Постановка задачі.....	34
Висновки:.....	35
РОЗДІЛ 2.....	36
МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ДЛЯ РОЗРАХУНКУ ПОКАЗНИКІВ СТРУКТУРНОЇ НАДІЙНОСТІ.....	36
2.1 Вибір показників телекомунікаційної мережі.....	36
2.2 Математична модель для розрахунку структурної надійності.....	38
Висновки:.....	41
РОЗДІЛ 3.....	42
УДОСКОНАЛЕНА МЕТОДИКА ОЦІНКИ ПОКАЗНИКІВ СТРУКТУРНОЇ НАДІЙНОСТІ.....	42

3.1 Методика оцінки структурно-топологічних показників мережі телекомунікаційного зв'язку при нормуванні її структурної надійності.....	42
3.2 Аналіз результатів розрахунку морфологічних показників мережі телекомунікаційного зв'язку при нормуванні її структурної надійності.....	49
Висновки:.....	55
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ПО РОБОТІ.....	57
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	58

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

ATM	(Asynchronous Transfer Mode) Асинхронний спосіб передачі даних
КЦ	Комутаційний центр
МСЗ	Мультисервісні системи зв'язку (Multiservice communication system)
СН	Структурна надійність
ТКМ	Телекомунікаційна мережа
IP	Internet Protocol
MOS	Mean Opinion Score
NGN	Next Generation Network (Мережа наступних поколінь)
QoS	Quality of Service (Якість обслуговування)

ВСТУП

Актуальність теми дослідження. Питання аналізу надійності розгалужених систем завжди були в центрі уваги проектування перспективних систем і модернізації існуючих. Мережі зв'язку відносяться до класу складно розгалужених систем. Такі мережі складатися з елементів

(вузлів, центрів і ліній зв'язку), що утворюють цілком певні структури. Тому умовно в проблемі аналізу надійності мереж зв'язку виділяють аспекти елементної і структурної надійності. Також фактом є те, що телекомунікації у всьому світі завжди знаходяться на етапі інтенсивного розвитку, одним з глобальних процесів якої стала еволюція мультисервісних систем. Еволюція системи зв'язку, викликала появу систем, орієнтованих на інтеграцію телекомунікаційних послуг — мультисервісних систем зв'язку (МСЗ). Подальший розвиток МСЗ визначається необхідністю створення на їх основі інформаційних систем, орієнтованих на надання різноманітних інформаційно-комунікаційних послуг, коли якість роботи системи багато в чому визначається якістю послуг, що надаються. У зв'язку з цим пред'являються все більш жорсткі вимоги, пов'язані із забезпеченням передачі даних при взаємодії з абонентами (користувачами) системи.

Розвиток інформаційних послуг, який спостерігається протягом усього періоду існування телекомунікаційної індустрії, відбувається за двома основними напрямками: поява принципово нових послуг і підвищення вимог до якості вже існуючих послуг. Зрозуміло, цей розвиток неможливий без необхідності вдосконалення і розвитку методів побудови МСЗ, що враховують взаємозв'язок між використовуваними технологічними рішеннями і пропускнуою спроможністю мережевих структур при дотриманні вимог високої надійності їх функціонування. Елементна надійність є властивістю, яка об'єктивно притаманна елементу мережі зв'язку, зберігати працездатність з якістю не гірше заданого на деякому інтервалі часу. Ця властивість обумовлюється багатьма факторами, в тому числі і стійкістю елементної бази до дестабілізуючого впливу зовнішнього середовища. Найбільш значною умовою надання якісних послуг є структурна надійність МСЗ, що залежить від параметрів структури та елементів системи. Під структурною надійністю мережі зв'язку розуміється об'єктивну властивість мережі забезпечувати зв'язність користувачів мережі з якістю не гірше заданого. Основним показником оцінки цієї якості є ймовірність зв'язності

двох вузлів, які у відповідності з організацією зв'язку можна виділити на мережі загального користування.

З огляду на те, що основною тенденцією розвитку інформаційних систем є їх все більше ускладнення, актуальною стає завдання створення спеціальних методів забезпечення надійності, включаючи розробку математичних методів розрахунку їх структурної надійності. Не зважаючи на значну кількість робіт, присвячених дослідженню надійності різних технічних систем, розробка математичних моделей розрахунку структурної надійності в умовах дії факторів, що впливають на них є актуальною науково-технічною проблемою. Тому процес дослідження та удосконалення методів оцінки структурної надійності мультисервісних систем зв'язку є досить актуальним завданням.

Мета й завдання дослідження

Мета роботи: підвищення структурної надійності телекомунікаційної мережі зв'язку.

Для досягнення мети дослідження було поставлено та вирішено такі **основні задачі:**

1. Аналіз способів побудови сучасних телекомунікаційних мереж.
2. Аналіз існуючих методів оцінки структурної надійності телекомунікаційної мережі зв'язку.
3. Аналіз факторів, що впливають на структурну надійність
4. Удосконалення методики оцінки структурно-топологічних показників мережі при нормуванні її структурної надійності.
5. Провести оцінку запропонованого рішення.

Об'єкт дослідження: процес функціонування телекомунікаційної мережі зв'язку.

Предмет дослідження: методи оцінки показників структурної надійності телекомунікаційної мережі зв'язку.

РОЗДІЛ 1

ОБГРУНТУВАННЯ АКТУАЛЬНОСТІ УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДІВ СТРУКТУРНОЇ НАДІЙНОСТІ МУЛЬТИСЕРВІСНИХ МЕРЕЖ ЗВ'ЯЗКУ

1.1 Аналіз способів побудови сучасних телекомунікаційних мереж зв'язку

1.1.1 Узагальнена модель побудови телекомунікаційної мережі наступних поколінь.

Процес розвитку галузі зв'язку не стоїть на місці, і доцільно оцінювати його з різних сторін. Розвиток телекомунікаційної галузі призвело до формування нової концептуальної моделі побудови мереж, яка визначає функціональні можливості цих мереж на найближчі кілька років. Відповідна концепція отримала назву NGN (Next Generation Network) — Мережа наступного покоління. Ідея переходу до NGN дуже приваблива як операторам зв'язку, так і всьому телекомунікаційному світу в цілому.

Для реалізації різних сервісів потрібно відповідний розвиток мереж зв'язку і, зокрема, їх транспортної інфраструктури. Актуальною проблемою сучасних телекомунікацій являє собою конвергенція комп'ютерних і телефонних мереж, так само і створення об'єднаної системи телекомунікаційних послуг, зокрема передача даних, відео і голосу в реальному часі та інтеграція різнорідних мережних технологій. Звичайно сукупність цих проблемних питань пов'язують з побудовою мереж майбутніх поколінь.

NGN — концепція мультисервісної мережі зв'язку, яка надає необмежений набір послуг, таких як передавання мови, даних, мультимедіа, базуючись на IP мережі. Мережа наступного покоління передбачає реалізацію універсальної транспортної мережі з розділеною комутацією, об'єднання з традиційними мережами зв'язку та внаслідок уніфікації мережових рішень надання управління і створення нових послуг [1].

Мережі наступного покоління являють собою єдину транспортну платформу, на базі якої об'єднуються різні види послуг. Застосування мереж наступного покоління дозволяє значно розширити спектр наданих інтелектуальних послуг. Одним з основних аспектів, який повинен братися

до уваги при проектуванні мереж NGN, є забезпечення відповідної якості обслуговування. З впровадженням мультисервісних мереж переважний стає підхід до завдання рівня обслуговування на підставі вимог самих абонентів до якості послуг. Таким чином, створення удосконаленої системи управління якістю послуг в мережах наступного покоління є актуальним завданням.

Архітектуру мережі зв'язку, побудованої відповідно до концепції NGN, показано на рисунку 1.1.

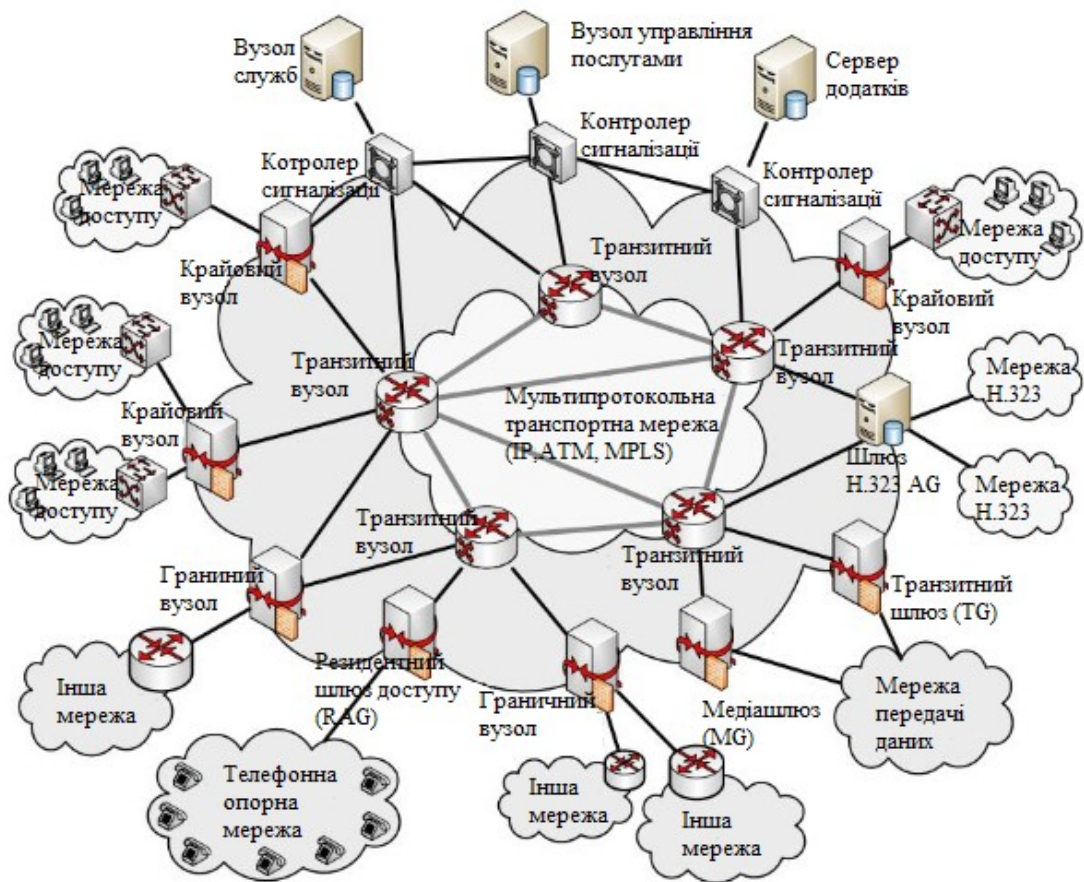


Рис. 1.1 Архітектура мультисервісних мереж

В транспортній мережі для виконання функцій комутації та передавання використовують транзитні вузли, шлюзи для підключення традиційних мереж зв'язку, кінцеві вузли для забезпечення доступу користувачів до мультисервісної мережі та контролери сигналізації, що здійснюють функції управління викликами, з'єднаннями та обробки інформації сигналізації. Використання загальних контролерів дає право

розглядати їх як цільну систему комутації. Призначенням транспортного рівня є надання послуг перенесення, прозора передача інформації користувача та комутація. Транспортний рівень базується на основі пакетних технологій передачі інформації, використовуючи технології ATM, які включають вбудовані засоби забезпечення якості обслуговування та можуть використовуватися при створенні NGN практично без змін і IP, що потребують реалізації в них додаткової функції забезпечення якості обслуговування. Користувачам надається загальна інтегрована платформа передачі даних з високою надійністю, забезпечення QoS (Quality of Service, якості обслуговування), високою продуктивністю. Від технологій багато в чому залежить рівень роботи всієї NGN і кількість сервісів, що надаються. Саме універсальна транспортна мережа є базою NGN, яка здійснює функції транспортного рівня і рівня управління комутацією [2].

Завданням рівня управління комутацією і передачею інформації є маршрутизація викликів, обробка інформації сигналізації та управління потоками. На цьому рівні використовується Softswitch (надання голосових і мультимедійних послуг) або технологія програмної комутації. Виконується забезпечення керуванням з'єднання та первинного управління викликами. До того ж гнучкий комутатор (SoftSwitch) відповідає за управління викликами, обробку протоколів, послуг мобільного зв'язку, розподілом ресурсів, а також за інтерфейси програмування додатків та управлінням доступу до медіашлюзів. В NGN підтримується більше число інтерфейсів та вища пропускна здатність, ніж в традиційних мережах. Все це приводить до необхідності перегляду принципів і підходів до мережевого управління для NGN. Система управління опирається на використанні об'єктно-орієнтованої розподіленої структури. Гнучка комутація, яка використовується для управління установлених з'єднань є основною технологією та цьому рівні, а метою є перенесення інформації в режимі реального часу. Однією з головних особливостей систем управління NGN є відкрита модульна архітектура, що

дозволяє розробляти та впроваджувати нові модулі, працювати з додатками та модернізувати наявні модулі.

Рівень управління послугами включає функції управління логікою послуг та додатків, надає інформаційно-комунікаційні послуги, створює та впроваджує нові послуги. Також рівень здатний включати багато незалежних підсистем, що базуються на різноманітних технологіях, мати абонентів, використовувати власні системи адресації, допускає вводити нові послуги, застосовувати одну програму логіки послуг, які є незалежними від типу транспортної мережі. В мережі NGN, крім послуг доставлення інформації, реалізована можливість підтримки надання розширених списків послуг.

Рівень доступу містить мережу абонентського доступу. Для цього використовують як традиційні мережі, клієнти яких отримують доступ до мультисервісної мережі через підключені до шлюзів вузли, так і інтегровані мережі доступу, які підключаються до крайових вузлів мультисервісної мережі.

Якість обслуговування є одним з основних аспектів, який потрібно брати до уваги при проектуванні мереж наступних поколінь (NGN). На відміну від мереж з комутацією каналів своєрідність пакетних мереж зводиться до того, що в інформаційному потоці може передаватися різноманітний трафік. Через пакетні мережі для передачі голосового трафіку існує поняття класи обслуговування, які дозволяють в пакетній мережі оцінити якість надання послуги. Якість обслуговування базується на методі експертних оцінок. Тобто немає гарантії, що при проектуванні мережі будуть закладені мережеві характеристики, які можуть дозволити забезпечити необхідну якість. Проте використання механізмів забезпечення якості обслуговування в процесі експлуатації впливає на надання послуг зв'язку, при цьому технічні характеристики дозволяють використати ці механізми.

Для оцінки якості послуг слід використовувати показники оцінки якості передачі мови та доставки інформації.

Найчастіше параметри, що фігурують у різноманітних визначеннях якості обслуговування, регламентують такі показники роботи мережі:

- пропускну здатність;
- затримки передачі пакетів;
- рівень втрат і перекручувань пакетів

А основними якісними характеристиками є сумарна затримка мовної інформації, час установлення з'єднання, ймовірність втрати пакетів та суб'єктивна оцінка якості мови користувачем по п'ятибальній системі MOS (Mean Opinion Score).

Якість обслуговування з точки зору користувача може бути виражено сукупністю параметрів (рисунк 1.2). Ці параметри описуються в термінах, зрозумілих як службі, так і користувачеві і не залежать від структури мережі.

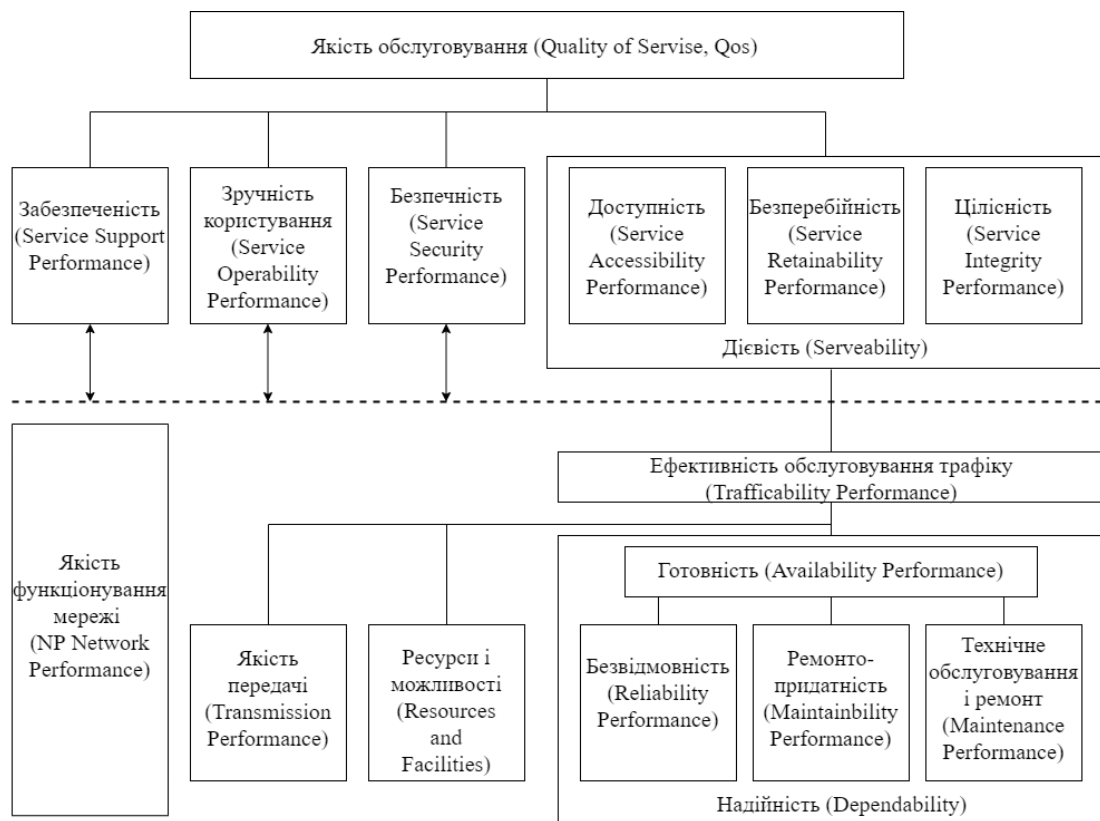


Рис. 1.2 Якість обслуговування телекомунікаційної мережі

Якщо розглядати класичну модель NGN, то взаємозв'язок між площинами транспорту та послуг полягає у висуванні вимог. Через те, що надання будь-якої інфокомунікаційної послуги опирається на доставлення тієї чи іншої інформації (голос, дані, відео) крізь телекомунікаційну мережу.

Ці норми повинні бути взаємними з боку площини транспорту до площини послуг та навпаки. При цьому до процесу транспортування послуга висуває певні вимоги. Але так само телекомунікаційна мережа визначає зворотні зобов'язання до послуг, що використовують цю мережу для транспортування навантаження, через характеристики та властивості технологій та архітектурних рішень.

Тому виникає два типи залежностей в цьому взаємозв'язку між транспортом та послугою. Звичайно ж, ідеальна технологія побудови мережі, буде вважатися та, яка буде забезпечувати надання всіх без винятку послуг, які у свою чергу будуть надаватися, незалежно від архітектури або технологій її побудови, у будь-якій мережі.

Основні вимоги, що визначають взаємний вплив площин транспорту та послуг показано на рисунку 1.3.

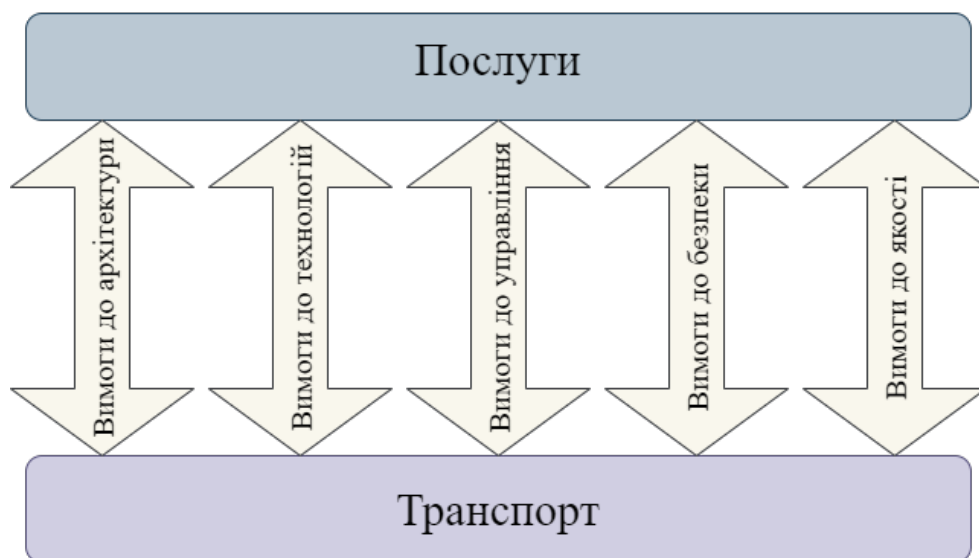


Рис. 1.3 Класифікація вимог між площинами послуг та транспорту

Проаналізуємо ці вимоги більш докладніше :

- Вимоги до архітектури. Деякі види послуг здатні функціонувати тільки у межах мережі доступу, або види послуг лише можуть базуватися на організації таких вузлів. Тому важливими складовими, які

характеризують спроможність функціонувати послугі в телекомунікаційній мережі, є саме мережна архітектура та архітектура послуги.

- Вимоги до безпеки. В залежності від призначення та технічних можливостей мережі розраховані на транспортування обмежених типів навантаження і потребують запровадження технологій фільтрації контенту. А несанкціоноване перехоплення інформації або порушення її цілісності сприяє до потреб забезпечити захист для безпечного обміну інформації між користувачами.
- Вимоги до технологій. Як правило, до цілого набору технологій, які визначають характеристики транспортного середовища, що будуть використовуватися для передачі навантаження інфокомунікаційних послуг, висувуються вимоги з боку цих послуг до технологій, за допомогою яких побудовано телекомунікаційну мережу. До цих вимог належать швидкість передавання інформації, надійності, граничного розміру затримки та ін. Технічні характеристики наборів технологій безпосередньо впливають на здатність використовувати послуги в тій чи іншій мережі.
- Вимоги до якості. Телекомунікаційні мережі вимагають від послуги підтримку відповідних механізмів та безпосередньо покладають на них частину функцій контролю якості. А послуги можуть висувати вимоги як до наявної системи контролю та до певних характеристик роботи телекомунікаційної мережі (або обладнання) за дотриманням заданого рівня якості обслуговування.
- Вимоги до управління. Наявність системи управління пристосовує роботу послуги до модифікації мережного середовища, а наявність цієї системи телекомунікаційного обладнання абсолютно, з заданим рівнем якості, може бути обов'язковою умовою функціонування послуги.

Ці всі вимоги враховують при розробці інфокомунікаційних послуг та при проектуванні телекомунікаційних мереж, або ж, як показує практика, розробник програмного забезпечення чи проектувальник мережі бере до уваги лише частину з них [3].

1.1.2 Аналіз моделей топологічної структури мережі

Один з вагомих процесів є процес згладжування відмінностей, який ґрунтується на різноманітних технологіях. Зазвичай в галузі зв'язку, в телекомунікаційних системах називають «процесом конвергенції». На різних рівнях ієрархії мереж, що є базою для надання різних видів послуг, застосовувалися різні архітектурні побудови. В мережах передачі даних практичне застосування лежить в архітектурній побудові «шина» та «зірка», у магістральних мережах — «дерево» та «зірка», а топологія «дерево» в телебаченні. До уніфікації структури транспортних мереж призвело впровадження цифрової системи передачі пакетної інформації. Інакше, структури транспортної мережі набули максимальної схожості.

Будь-яка мережа складена з сукупності пунктів та з'єднуючих ліній, з їхнім взаємним розташуванням, що характеризується зв'язністю мережі та можливістю забезпечити обмін інформацією між різними адресатами, називають топологія. Існують топології фізичних і логічних зв'язків. Відображення схем з'єднань елементів мережі забезпечує саме топологія фізичних зв'язків. Геометрична фігура під назвою граф, що зображується у вигляді точок і з'єднуючих їх дуг, зручно використовувати для дослідження топологічних особливостей, тому являється моделлю топологічних структур мереж. Дуги в графі, якщо не враховувати їх спрямованість, називаються ребрами, а точки — вершинами. Першим завданням при побудові мереж є саме вибір топології, що здійснюється з урахуванням таких вимог, як надійність та економічність. Набір стандартних технологій може використовуватися як окремо, так і в комбінації, а їх відомість є вирішенням

задачі вибору топології мереж. Детальніше про особливості базових топологій наведено нижче [4].

Топологія «точка-точка» є найбільш простим прикладом базової топології й уявляє собою сегмент мережі, який зв'язує фізично й логічно два пункти (рисунок 1.4).

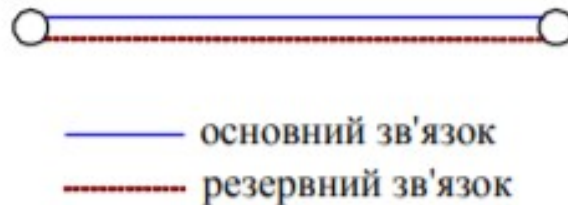


Рис. 1.4 Топологія "точка-точка"

В такому сегменті підвищення надійності відбувається внаслідок додавання резервного зв'язку, що є типом 1+1. Автоматично мережа приєднується до резервного зв'язку, якщо основний зв'язок вийде з ладу. Ця базова технологія, не зважаючи на свою простоту, широко використовується через високошвидкісні магістральні канали при передачі великих потоків інформації. Ця топологія також може використовуватись складовою частиною кільцевої топології [5].

Топологія шини — це тип мережі, де кожен пристрій підключений до одного кабелю, який проходить від одного кінця мережі до іншого (рисунок 1.5). Цей тип топології мережі часто називають топологією лінії. У топології шини дані передаються лише в одному напрямку. Якщо топологія шини має дві кінцеві точки, то її називають лінійною топологією шини. Топології шин часто використовувались у невеликих мережах. Всі пристрої підключені до одного кабелю, тому не є потреба керувати складною топологічною установкою.

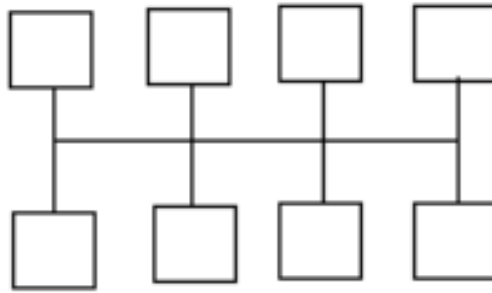


Рис. 1.5 Топологія "шина"

Дані передаються одним маршрутом, від однієї точки до іншої. Топологія шини економічно вигідна, оскільки її можна запустити одним кабелем. Однією з переваг шинної мережі є те, що комп'ютери та інші пристрої можуть бути приєднані та від'єднані в будь-якій точці шини, не порушуючи решту мережі. Ще однією перевагою є те, що вихід з ладу одного пристрою зазвичай не впливає на решту шинної мережі. Однак покладання на один кабель означає, що топології шини мають єдину точку відмови. Якщо кабель вийде з ладу, то вся мережа пропаде. Полумка кабелю буде коштувати організаціям багато часу, поки вони намагатимуться відновити обслуговування. Крім цього, високий мережевий трафік зменшить продуктивність мережі, оскільки всі дані проходять через один кабель.

Деревоподібна топологія (рисунок 1.6) — це структура, яка за формою нагадує дерево з безліччю гілок.

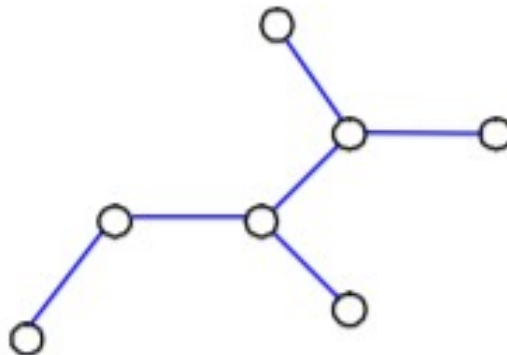


Рис. 1.6 Деревоподібна топологія

Топологічна мережа дерев — це структура, яка за формою нагадує дерево з безліччю гілок. Топології дерев мають кореневий вузол, який

підключений до іншої ієрархії вузлів. Ця топологія має щонайменше три рівні ієрархії.

У деревоподібній топології є особливість, яка характеризується зв'язністю n пунктів на рівні фізичної топології, що досягається числом ребер $R = n-1$. Це забезпечує високу економічність такої мережі, але з точки зору надійності, є низьким показником. За допомогою введення резервних зв'язків досягається підвищення надійності (захист типу 1+1). Ця топологія використовується для підтримки безлічі розподілених пристроїв в широкомасштабних мережах. Ієрархічний формат топології дерев дозволяє розширювати топології зірки та шини, легко додавати більше вузлів до мережі. Якщо кореневий вузол вийде з ладу, його всі підкореневі вузли стають розділеними, а це є слабкістю топології [4].

Топологія «кільце» (рисунок 1.7, а) характеризує мережу, в якій до кожного пункту приєднано дві лінії. У мережах з кільцевою топологією комп'ютери з'єднані між собою у круговому форматі.

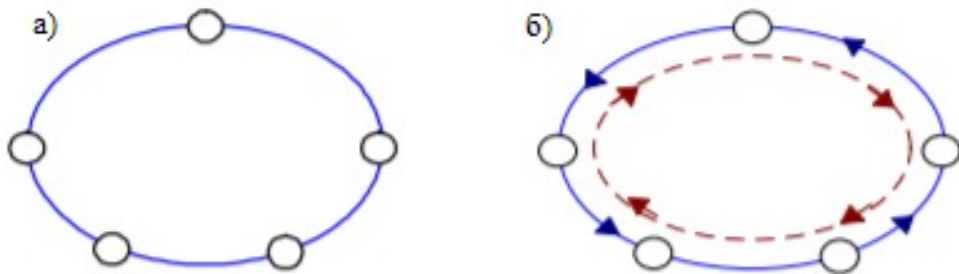


Рис. 1.7 Топологія: а) кільце; б) подвійне кільце

Дану топологію можна використовувати в локальних мережах і наприклад у мережах абонентського доступу, які організовані за допомогою волоконно-оптичного кабелю. Число ребер графа дорівнює кількості вершин, це відображає незначні витрати на мережу. Підвищення надійності зв'язку між кожною парою вузлів відбувається внаслідок організації двох незалежних зв'язних шляхів, прямого та альтернативного, при використанні так званого «подвійного кільця», рисунок 1.7,б. Подвійна кільцева топологія

має по два з'єднання кожного вузла, один напрям використовується як основний, другий є резервним.

Наразі, цю топологію рідко використовують, тому що вони є дуже вразливими до відмов. Якщо вийде з ладу один вузол, то це приведе до виведення з ладу всієї мережі. Тобто відбувалось постійне керування для забезпечення належного стану усіх вузлів мережі. Вносити зміни до кільцевої топології також було складною справою, адже для внесення змін до мережі, потрібно було її вимикати. Зміни в топологічній структурі призводили кожного разу до враховування простоїв мережі.

Топологія зірка є топологією, де кожен вузол мережі підключений до одного центрального комутатора, рисунок 1.8.

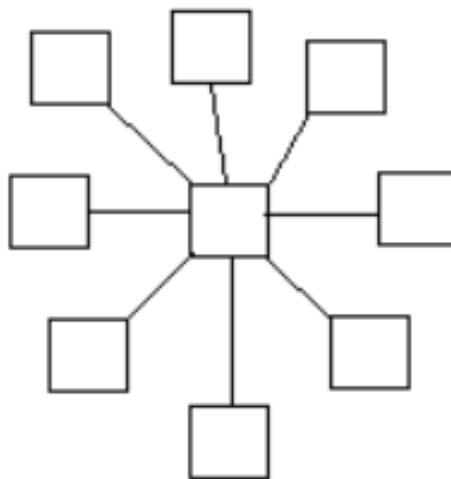


Рис. 1.8 Топологія «зірка»

Кожен пристрій опосередковано підключається до кожного вузла через комутатор. Сервер є центральним мережевим концентратором, а клієнтами являються інші пристрої. З'єднування вузлів відбувається за допомогою коаксіального кабелю, оптичним волокном чи крученою парою. Порівняно з іншими топологіями, зіркова топологія вимагає менше кабелів, завдяки чому це робить їх простішими в налаштуваннях і довгостроковому управлінні.

Керування всією мережею відбувається з центрального комутатора, але це їх робить відносно небезпечними до відмов. Оскільки вся мережа може

впасти, якщо центральний комутатор вийде з ладу. Обмеження кількості портів концентратора дає можливості нарощувати більшу кількість вузлів. Але іноді будують мережу використовуючи декілька концентраторів, які безпосередньо ієрархічно зв'язані між собою. В результаті одержана структура має назву ієрархічна зірка, або інша назва — дерево.

Коміркова топологія (сітка), рисунок 1.9 — це з'єднання точка-точка, де вузли взаємопов'язані. Кожний пункт сегмента безпосередньо пов'язаний, з найближчими за відстанню, невеликою кількістю вузлів. При малій кількості ребер, порівнюючи з повнозв'язним сегментом, коміркові сегменти мають вищу надійність зв'язку. Існує дві форми сітчастої топології: часткова топології і топологія повної сітки. В першій топології декілька вузлів підключені до двох або трьох інших вузлів, решта вузлів взаємопов'язані. В другій топології кожен вузол є взаємопов'язаним. .

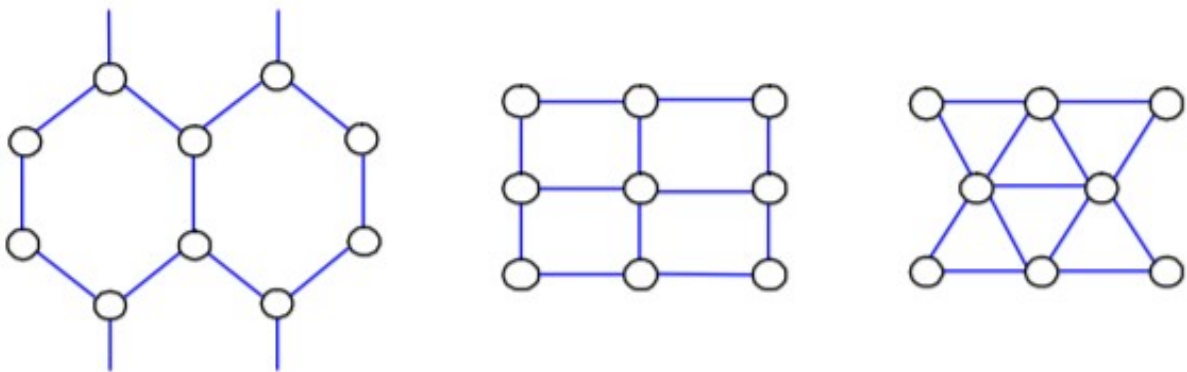


Рис. 1.9 Комірчасті топології

Топології сіток використовуються в першу чергу тому, що вони надійні. Взаємопов'язаність вузлів робить їх надзвичайно стійкими до збоїв. .

Повнозв'язна топологія (рисунок 1.10) забезпечує фізичне та логічне з'єднання пунктів за принципом «кожен з кожним».

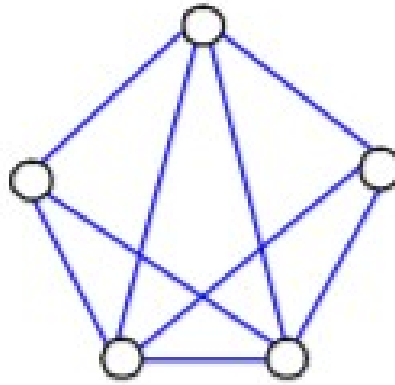


Рис. 1.10 Повнозв'язна топологія

Граф, який включає n вершин, містить $R = n(n-1)/2$ ребер, впливаючи на високу вартість мережі. Ця топологія забезпечена максимальною надійністю зв'язку, оскільки в неї є можливість організувати велику кількість обхідних шляхів. Використання на обхідних напрямках альтернативних середовищ поширення сигналів, як приклад, волоконно-оптичний кабель, має максимальну надійність зв'язку. Таку топологію частіше використовують при формуванні сегментів базових і опорних мереж. Реалізація повнозв'язної чи коміркової топології пов'язана з значними витратами, тому їх доцільно використовувати в сегментах з високою концентрацією трафіку.

Гібридна топологія, рисунок 1.11, називається топологія, яка складена з двох чи більше різних топологій. На великих підприємствах окремі підрозділи маючи мережеву топологію, що відрізняються один від іншої, в наслідок поєднання, призводить до гібридної топології. Можливості та уразливість мережі в даному випадку залежать від типів топології. Гібридні топології використовують з ряду причин, головною з яких є гнучкість. Масштабованість гібридних установок робить їх придатними для великих мереж.

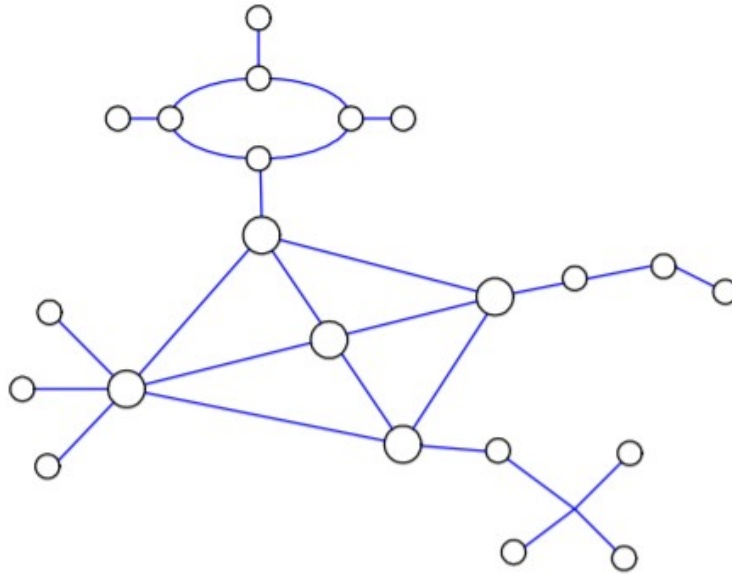


Рис. 1.11 Складна мережева топологія

На жаль, гібридні топології можуть бути досить складними, що залежить від топологій, які використовуються. Кожною топологією, яка є частиною гібридної топології, доведеться керувати відповідно до її унікальних мережевих вимог. Це надійна та масштабована топологія, але водночас вона дорога [6].

При проектуванні сучасних систем передачі даних використовуються змішані або гібридні топології, побудовані на базі стандартних топологій типу «зірка», «кільце», «сітка», «деревоподібна».

1.2 Аналіз факторів, які впливають на структурну надійність мереж зв'язку

Відмови окремих елементів мережі (вузлів і ліній зв'язку) не завжди призводять до неможливості встановлення з'єднання, тому що в мережі може бути обраний альтернативний маршрут для встановлення з'єднань.

Тому, при оцінці надійності мережі зв'язку розглядають, так звану, структурну надійність, тобто здатність мережі виконувати свої функції при відмові деяких її елементів [7].

Структурна надійність мультисервісних мереж зв'язку визначається надійністю елементів мережі, структурою і топологією, та особливо наявністю впливу факторів. Мережа зв'язку розбивається на напрямки зв'язку, кожному з яких може бути задана своя якість обслуговування заявок, що надходять, структурна надійність оцінюється окремо для кожного із цих напрямків. Структурну надійність мережі в цілому характеризується сукупністю показників всіх інформаційних напрямків. Формальна незалежна оцінка структурної надійності різних напрямків зв'язку не означає їхню функціональну незалежність, бо самі елементи мережі зв'язку входять в різні напрями зв'язку. Тому в умовах виникнення технічних відмов чи експлуатаційних помилок на її елементах без помітного погіршення ймовірісно-часових показників обслуговування заявок структурна надійність мультисервісних мереж зв'язку є характеристикою, яка визначає можливість абонентів обмінюватись інформацією [8, 9].

Надійність мережі є властивістю зберігання в часі значення певних параметрів ТКМ, які в умовах застосування і технічного обслуговування здатні виконувати необхідні функції. Оскільки ТКМ відносяться до структурних систем, особливе значення для ТКМ набувають питання оцінки структурної надійності. Структурний аспект надійності відображає функціонування мережі в залежності від працездатності або відмов вузлів або ліній, магістралей, пучків каналів мережі, тобто він пов'язаний з можливістю існування в мережі шляхів доставки інформації. Тому, коли говорять про структурну надійність (СН), як правило, мають на увазі надійність шляхів і зв'язків.

Структурна надійність мереж телекомунікації відображає функціонування мережі в цілому і пов'язана з можливістю існування в мережі шляхів доставлення інформації. Для мереж телекомунікації, що є складними багатофункціональними системами, які складаються з різномірних елементів можна виділити два основних аспекти надійності, які називають апаратним і структурним. Надійність апаратури, окремих пристроїв і їх

елементів розуміють під апаратурним аспектом, включаючи канали та лінійні тракти, що входять до вузлів зв'язку і лінії мережі. Структурний же аспект відображає функціонування мережі в цілому, в залежності як від працездатності вузлів, ліній, пучків каналів мережі, так і від структури самої мережі (структури шляхів між вузлами мережі), тобто він пов'язаний в першу чергу з можливістю існування в мережі шляхів доставлення інформації [11].

Для визначення структурної надійності зв'язку між парою вузлів мережі телекомунікації розглядають не надійність мережі в цілому, а надійність сукупності шляхів між заданою парою вузлів. Для зв'язку між цими вузлами мережі використовуються всі можливі шляхи між ними. Кожен шлях складається з проміжних вузлів і ліній між ними, через які проходить шлях. Під надійністю шляху розуміють ймовірність того, що даний шлях в довільний момент часу знаходиться в працездатному стані, тобто працездатними є всі вузли та лінії, що входять в цей шлях. Структурну надійність зв'язку між вузлами мережі оцінюють ймовірністю того, що працездатним є хоча б один шлях, що входить в безліч шляхів між цими вузлами.

Надійність мережі зв'язку характеризується здатністю забезпечувати зв'язок, зберігаючи в часі значення встановлених показників якості в заданих умовах експлуатації та відображає вплив на працездатність мережі передусім внутрішніх чинників:

- випадкових відмов технічних засобів, спричинених процесами старіння;
- дефектами технології виготовлення;
- помилками обслуговуючого персоналу. Наприклад, показниками надійності є відношення часу працездатності мережі до загального часу її експлуатації, ймовірність безвідмовного зв'язку [12].

В даний час методи оцінки надійності прийнято розділяти на структурну і функціональну надійність. До факторів, що впливають на

надійність телекомунікаційної системи ставитися зміни внутрішніх властивостей, наприклад, якість використовуваного обладнання. Основними подіями в системі є відмови і відновлення як окремих елементів, так і системи в цілому, визначаються показниками надійності. Загальноприйнятим на практиці основним показником надійності є ймовірність безвідмовної роботи.

Факторами, що визначають структурну надійність мереж зв'язку, розділяються на дві групи:

- Процеси, що викликають відмови елементів телекомунікаційної мережі. До цих факторів можна віднести недостатню структурну надійність елементів телекомунікаційної мережі.
- Міри, що приймаються в телекомунікаційній мережі, та її властивості, що забезпечують виконання значень показників якості обслуговування та перешкоджають виникненню відмов. Наприклад, використання техніки зв'язку, що є стійкими до зовнішнього негативного впливу, або раціональна побудова структури та топології мережі.

Сукупність факторів, які є агресивними і призводять до зниження надійності:

- збої, що викликають короткочасні перериви у функціонуванні;
- стійкі відмови обладнання, які потребують відновлення працездатності пристроїв, що відмовили у ремонтному органі;
- недостатня кваліфікація обслуговуючого персоналу.

Звичайно є ті фактори, які підтримують нормальне функціонування телекомунікаційного обладнання. До них відноситься використання окремо або спільно різних видів резервування-структурного, часового, навантажувального, що призводить до підвищення ефективності використання надлишковості.

Серед інших чинників, що найбільш суттєво впливають на надійність обладнання відносяться:

- відмови;
- різні методи резервного копіювання (конструкційні, навантажувальні, тимчасові);
- продуктивність ремонтного органу;
- можливість побудови моделей надійності з довільними законами розподілу деяких початкових випадкові величини (час поточного ремонту, тривалість підключення структурного резерву, час існування відмов та усунення їх наслідків);
- збоїв у роботі протоколів маршрутизації та програмного забезпечення обладнання, які суттєво впливають на показники надійності.

1.3 Аналіз методів оцінки структурної надійності телекомунікаційної мережі зв'язку

Оцінка надійності мережевої структури, в загальному випадку, є досить трудомістким завданням, що вимагає великого обсягу обчислень. Методи оцінки надійності таких структур засновані на методах теорії графів, алгебри логіки та теорії ймовірностей. На практиці для оцінки надійності мережевих структур можуть використовуватися як аналітичні методи, розроблені на їх основі обчислювальні програми, так і різні чисельні методи імітаційного моделювання. У ряді випадків завдання може бути зведена до розрахунків надійності простих мережевих структур або до оцінки інтервалу, в який потрапляє значення надійності, для структур, які не приводяться до простої форми [13].

Для оцінки надійності мережі зв'язку, як правило, потрібно провести розрахунок надійності функціонування мережі, при якому забезпечується зв'язок між двома абонентами або вузлами мережі. Складність виконання цього завдання визначається структурою даної мережі та вимогами до точності одержуваних оцінок. Складнощі, що виникають при оцінці надійності мережі, пояснюються наявністю деякої кількості шляхів пропуску

трафіку між розглянутими вузлами, які в загальному випадку можуть бути залежними, тобто містять загальні мережеві елементи. В такому випадку вихід з ладу загального елемента призводить до відмови залежних всіх цих шляхів. Тому розрахунок надійності для таких структур мережі може зажадати значного обсягу обчислень.

При оцінці структурної надійності мереж зв'язку, які є складними системами, враховується надійність утворених абонентських і мережевих елементів, до яких відносяться канали зв'язку, а також активні мережеві елементи, в яких здійснюється приймання, обробка, комутація і просування пакетів інформації. Для оцінки надійності мережі в цілому враховується надійність кожного складового елементу мережі. Існують різні методики визначення надійності складових елементів мережі зв'язку, які відносяться до статичних, математичних методів та імітаційних, що враховують різні фактори, які впливають на структурну надійність системи [14, 15].

Питання оцінки надійності мережевих елементів особливо актуальний в системі зростання обсягів мультимедійного трафіку мови, даних і відео переданого по мультисервісних мереж зв'язку.

Найважливішим показником надійності є ймовірність безвідмовної роботи, яка розраховується на основі даних, що визначають структуру об'єкта. Це є дані, що містять інформацію про ймовірність безвідмовної роботи вузлів і гілок. Якщо вузли є абсолютно надійними, то надійність розраховується на основі ймовірностей безвідмовної роботи гілок. Виникає проблема коли на рівні треба оцінювати СН мережі у комплексі сукупностей зв'язків, що не має тривіального рішення, тому що класичні методи здатні розраховувати надійність лише окремих гілок.

Одними з перших робіт, присвячених надійності складних систем представлені в роботах Е. Мура і К. Шеннона. Подальший розвиток теорії аналізу надійності викладені в роботах І.А. Ушакова, Р. Барлоу, Ф. Прошана, В.Н. Рогінського та інших фахівців.

Безліч методів розрахунку показників структурної надійності ТКМ, як і будь-якої іншої складної системи, ділиться на дві самостійні підмножини: точних і наближених методів. Як видно на рисунку 1.12, множина аналітичних методів містить вісім підмножин, що відрізняються один від одного використанням математичним апаратом.

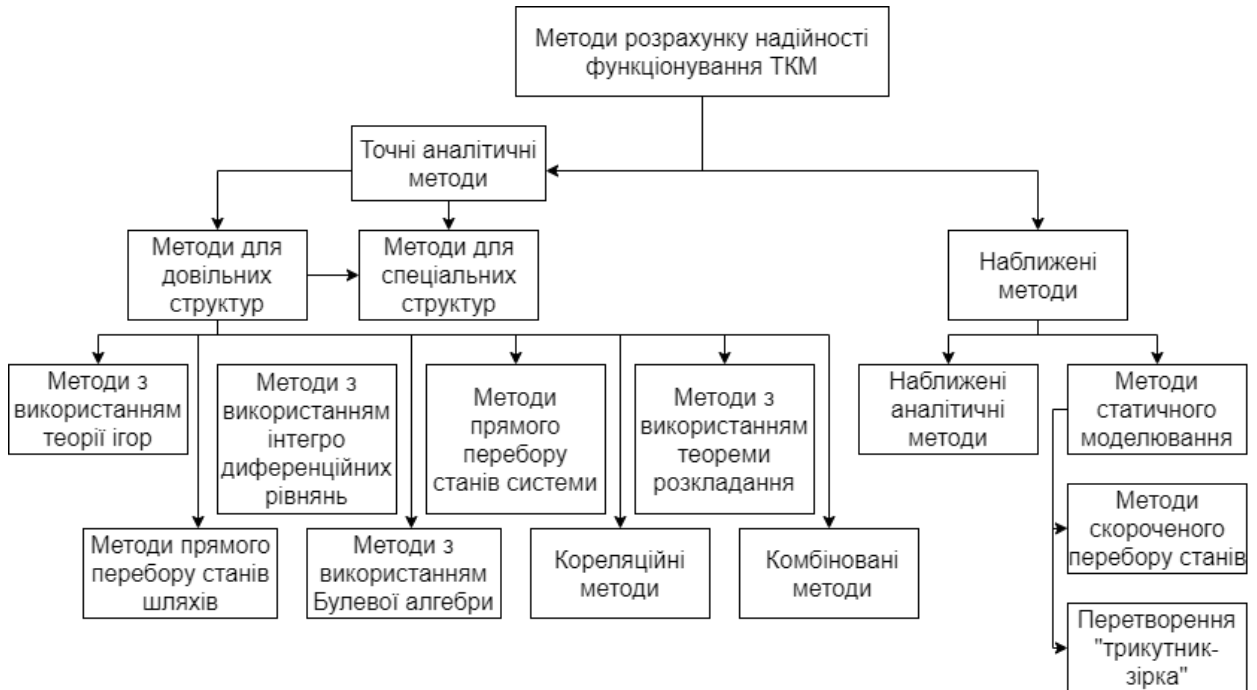


Рис. 1.12 – Схема розподілу методів надійності функціонування ТКМ

В даний час відомо велика кількість робіт, присвячених проблемі дослідження надійності складних систем зв'язку. Наприклад, метод СН за сукупністю шляхів і перетинів МСЗ, який можна застосовувати і для розрахунку ймовірності зв'язності мережі щодо виділеної пари вузлів, особливо в тих випадках, коли число перетинів в розглянутій мережі значно менше числа шляхів. Однак найбільший ефект, в сенсі скорочення трудомісткості обчислень, дає одночасне використання з методом нижче.

Одним з методів є метод двосторонньої оцінки структурної надійності для розгалужених МСЗ, яка дозволяє значно скоротити трудомісткість розрахунків в порівнянні, наприклад, повного перебору шляхів і перетинів.

Метод розрахунку СН з використанням математичної логіки (булевої алгебри), де існує можливість записати умови працездатності системи у

вигляді математичної формули, де їх можна піддавати математичній обробці, з'єднувати їх в більш складні структури, перетворювати, оптимізувати, знаходити по ним значення досліджуваних величин, переходити від формул до схем і навпаки. Таким чином дозволяє формалізувати умови працездатності складних структур і отримувати формули для розрахунку надійності.

Серед безліч методів і моделей оцінки структурної надійності мереж можна виділити універсальні, що придатні для аналізу довільних мережевих структур, і спеціалізовані, враховуючи певні особливості мережі та за рахунок цього дозволяють отримати для них більш точні оцінки [16]. Більша частина цих методів призначена на застосування в задачах аналізу мереж визначеної топології. Питанням оцінки структурної надійності СН складних систем і мереж присвячені праці В.О. Нетеса, М.М. Єгунова. Проблемі оцінки структурної надійності ТКМ відноситься до робіт Ю.М. Руденко, О. Л. Нєнова. Мережі з визначеною топологією в роботі [17] представлений метод отримання структурної надійності, заснований враховуючи базові структурні характеристики. В роботі [18] розглядалась можливість використання структурних характеристик для оцінки надійності мережі з невизначеною топологією, наведено метод отримання верхньої і нижньої меж структурної надійності для окремого зв'язку в мережі.

В даний час проблемі надійності сучасних транспортних мереж приділяється значна увага. Однак суттєвими недоліками зазначених робіт є:

- Досить складні моделі мереж зв'язку.
- Використання в якості показника надійності мережі коефіцієнта готовності мережі в цілому.

Ці недоліки обмежують область використання пропонованих методик для вирішення завдань проектування реальних транспортних мереж або корекції структури мереж в умовах експлуатації з урахуванням їх структурної надійності.

Незважаючи на значну кількість робіт, присвячених дослідженню структурної надійності різних технічних систем, розробка математичних моделей розрахунку СН мультисервісних систем зв'язку в умовах дії факторів, що впливають на них є актуальною науково-технічною проблемою.

1.4 Постановка задачі

Оскільки оцінка і прогнозування структурної надійності складних МСЗ на практиці викликає багато труднощів у зв'язку з великою розмірністю мережі і необхідності розгляду більшого числа станів мережі. Порядок створення МСЗ дозволяє при аналізі і прогнозування структурної надійності застосовувати принцип декомпозиції системи, тобто коли розглядаються система розбивається на менші за розміром підсистеми, аналіз кожної з яких істотно простіше аналізу вихідної системи.

Елементами мультисервісних мереж зв'язку є напрямки зв'язку, а також технічні засоби, що входять до складу вузлів комутації, концентраторів навантаження і комплексів мережевого доступу абонентів. При цьому будемо вважати, що показники надійності елементів системи відомі і є вихідними даними для розрахунку структурної надійності МСЗ.

Перед реалізацією удосконаленої методики необхідно вибрати показники телекомунікаційної мережі, щоб використати для оцінки структурної надійності. Розробити математичну модель що буде основою для оцінки показників структурно-топологічної побудови мережі зв'язку при нормуванні надійності цієї мережі.

Таким чином запропонувати методику оцінки, що буде ґрунтуватись на декомпозиції, щоб всім елементам цієї мережі можна було поставити відповідно значення ймовірностей незалежних подій, які полягають в ураженні факторів впливу на них.

Проаналізувати отримані практичні результати даного методу, та простежити вплив на показники структурної надійності.

Висновки

1) Розглянуті мультисервісні мережі зв'язку та мережі наступного покоління що є МСЗ, які підтримують інтеграцію послуг передавання мови, даних та мультимедіа та базуються на IP-мережі. Проаналізовано способи побудови сучасних телекомунікаційних мереж.

2) Через те, що надання будь-якої інфокомунікаційної послуги опирається на доставлення тієї чи іншої інформації (голос, дані, відео) крізь телекомунікаційну мережу, був розглянутий взаємозв'язок між площинами транспорту та послуг, що полягає у висуванні вимог в класичній моделі NGN.

3) Проаналізовано існуючі методи оцінки структурної надійності телекомунікаційної мережі зв'язку та проведений аналіз факторів, що впливають на структурну надійність.

РОЗДІЛ 2

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ДЛЯ РОЗРАХУНКУ ПОКАЗНИКІВ СТРУКТУРНОЇ НАДІЙНОСТІ

2.1 Вибір показників телекомунікаційної мережі

Для оцінки структурної надійності мережі використовують різні показники, які в тій чи іншій мірі характеризують стійкість функціонування мережі до відмов її елементів — вузлів або ліній зв'язку.

Всі характеристики мережі зв'язку можуть бути представлені трьома групами:

- морфологічні характеристики;
- характеристики функціонування;
- економічні характеристики.

Аналогічним чином можуть бути класифіковані показники, що описують ці характеристики і використовуються для оцінки побудови і функціонування телекомунікаційної мережі зв'язку. В рамках постановки задачі показники будь-якої із зазначених груп поділяються на екзогенні та ендогенні.

Екзогенні показники можуть вважатися первинними, що зумовлюють певні поняття, вимоги, умови. Ці показники, як правило, задаються на мережі зв'язку ззовні при формулювання завдання, при опису або оцінки її побудови і функціонування.

Ендогенні показники утворюються з екзогенних в результаті опису процесу побудови і функціонування мережі зв'язку. У цьому сенсі їх можна вважати похідними від первинних заданих показників.

У загальному випадку поділ показників мережі зв'язку на екзогенні та ендогенні може не мати чіткої межі, а визначатися характером розв'язуваної задачі. Разом з тим, такий поділ зручно при виконанні операцій, які

розкривають фізичну сутність, що протікають в мережі процесів або явищ, тим більше, що ендегенні показники взаємопов'язані з екзогенними прямими або зворотними зв'язками, а екзогенні в межах одного завдання зворотного впливу не мають.

Побудова будь-якої мережі зв'язку характеризується морфологічними показниками. До екзогенних, показниками цього типу відноситься в першу чергу розмірність мережі N , обумовлена числом що входять в неї КЦ. Комутаційні центри з'єднуються гілками. Число їх M значною мірою визначає можливості мережі по забезпеченню встановлення з'єднань, а також для ендегенних показників як побудова, так і функціонування даної мережі зв'язку.

Функціональним морфологічним елементом мережі зв'язку є напрямок зв'язку (інформаційний напрямок). Число I напрямків зв'язку задається забезпечуваною даною мережею системою управління. Кожне i -й напрямок зв'язку характеризується числом шляхів π_i встановлення з'єднань, які спільно з рядом показників функціонування обумовлює структурну надійність, пропускну здатність і інші показники даної мережі.

Довжина кожного шляху l може бути виражена загальним числом що входять в нього КЦ — n_i , або числом транзитних КЦ — b_i , кількістю складових шляхів гілок — m_i .

Надійність зв'язку оцінюється рядом екзогенних імовірнісних показників, види надійності мережі зв'язку визначається як структурна — $W(G)$ і функціональна — $W(F)$. Основними екзогенними показниками даного виду є структурна і функціональна надійність, $W(G)$ і $W(F)$ відповідно.

Для оцінки структурної надійності телекомунікаційної мережі необхідно застосовувати методи, що дозволяють розрахувати ймовірність $W(G)$ безвідмовного обслуговування заявок у заданих напрямках зв'язку. Для розрахунку такої ймовірності повинні використовуватися як можливі шляхи передачі інформації тільки незалежні шляхи.

2.2 Математична модель для розрахунку структурної надійності

Розглядаючи мережу зв'язку, можна визначити наступні параметри для опису вимог до її структурної надійності:

- число джерел (споживачів) інформації, якими є ПУ — N ;
- число напрямів зв'язку між ПУ — I ;
- нормовані значення структурної надійності елементів мережі зв'язку (ПУ і ліній зв'язку).

Відповідно до визначення структурної надійності $W(\pi_i)$ i -го шляху її величина може бути визначена як:

$$W(\pi_i) = \prod_{j \in \pi_i} W_j(\pi_i), \quad (2.1)$$

$W_j(\pi_i)$ — ймовірність існування j -го елементу, послідовного включеного в i -й шлях.

Розкриваючи цей параметр, і враховуючи, що КЦ і гілки, що утворюють i -й шлях включені послідовно, ймовірність виживання всього шляху рівна

$$W(\pi_i) = \prod_{j=1}^{N-1} W m_{jh}(\pi_i) \prod_{L=1}^{N-2} W n_L^T(\pi_i), \text{ де} \quad (2.2)$$

$W m_{jh}(\pi_i)$ — ймовірність існування гілки jh , що становить i -й шлях;

$W n_L^T(\pi_i)$ — ймовірність існування транзитних КЦ, що входять в i -й шлях.

За наявності X конкретних шляхів в заданому напрямі зв'язку ймовірність його виживання визначається як:

$$W(\pi) = 1 - \left[1 - \prod_{i=1}^X \left(\prod_{j=1}^{N-1} \left[1 - \prod_{n=1}^{X_j(\pi_i)} [1 - W m_{jh}(\pi_i)] \right] \prod_{L=1}^{N-2} W n_L^T(\pi_i) \right) \right] \quad (2.3)$$

Приведені вирази, що визначають параметри структурної надійності і основні співвідношення між цими параметрами можуть розглядатися:

- на етапі синтезу мережі, як початкові дані і вимоги, що пред'являються, в її структурній надійності;
- на етапі аналізу мережі, як результат, що досягається, по забезпеченню заданих показників надійності цієї мережі та її основних компонентів — напрямів зв'язку.

При оптимізації морфологічних показників (наприклад, структури мережі) може бути досягнуто відповідність одержуваного результату висунутим вимогам при мінімальних матеріально-технічних витратах.

Для морфологічного опису ТКМ скористаємося теорією графів, яка є зручним способом формального представлення структури мереж зв'язку.

Структуру ТКМ представимо у вигляді неорієнтованого графа $G = \{N, M\}$. Структура графа $G = \{N, M\}$, представлена у вигляді матриці зв'язності $A = \{a_{ij}\}$.

Сукупність шляхів з однієї вершини графа до іншої утворюють напрям зв'язку, причому в моделі визначаються незалежні шляхи.

При описі системи зв'язку необхідний облік не тільки морфологічних, а й функціональних особливостей мережі зв'язку, обумовлених, наприклад, процедурами вибору і складання шляхів встановлення з'єднань. Доцільно використовувати при вирішенні завдання дослідження ТКМ алгоритм управління встановлення з'єднанням — алгоритм Дейкстри.

Враховуючи, що при визначенні структурної надійності i -го шляху використовуються надійності елементів що становлять цей шлях, тому зручно описувати значення надійності елементів мережі матрицями певної розмірності.

Значення структурної надійності i -го КЦ описується одновимірною матрицею типу :

$$W(G) = |W_1(G), W_2(G), W_3(G) \dots W_i(G)|, \quad (2.4)$$

а значення надійності гілок (ліній зв'язку) матрицею розмірності N типу

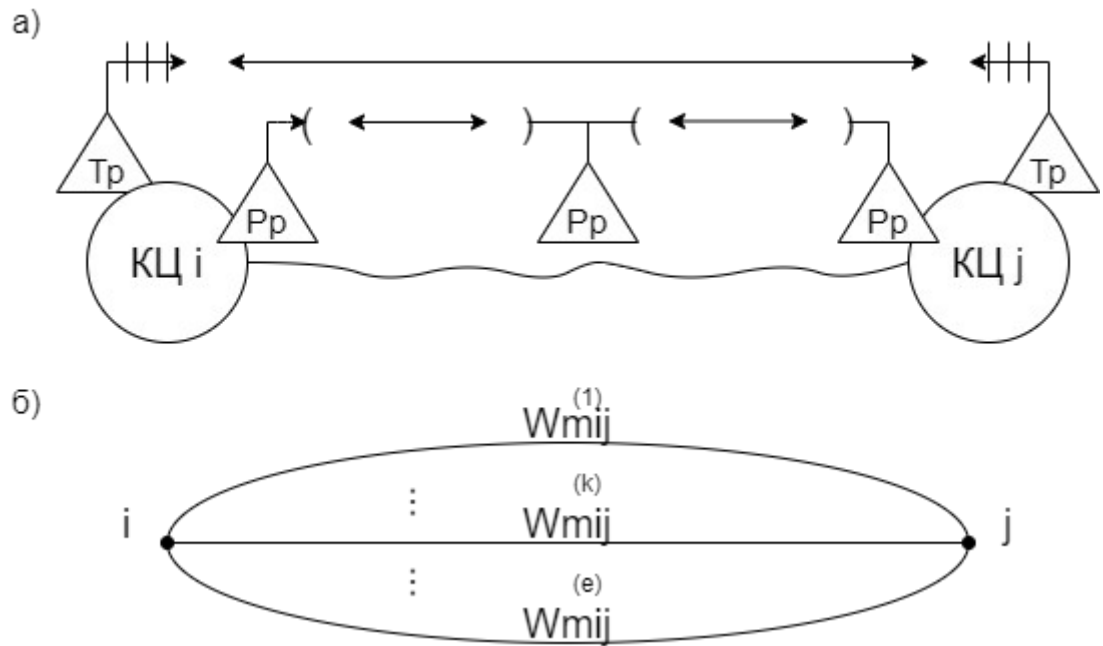


Рис. 2.1 Приклад гілки:

а) з декількома лініями зв'язку; б) багатолінійне ребро графа

Висновки

1) Представлені класифіковані показники, що описують характеристики і використовуються для оцінки побудови і функціонування телекомунікаційної мережі зв'язку.

2) Для оцінки структурної надійності телекомунікаційної мережі необхідно застосовувати методи, що дозволяють розрахувати ймовірність $W(G)$ безвідмовного обслуговування заявок у заданих напрямках зв'язку.

3) Запропонована математична модель, що є основою для оцінки показників структурно-топологічної побудови мережі зв'язку при нормуванні надійності цієї мережі.

РОЗДІЛ 3

УДОСКОНАЛЕНА МЕТОДИКА ОЦІНКИ ПОКАЗНИКІВ СТРУКТУРНОЇ НАДІЙНОСТІ

3.1 Методика оцінки структурно-топологічних показників мережі телекомунікаційного зв'язку при нормуванні її структурної надійності

Основою для оцінки показників структурно-топологічної побудови мережі зв'язку при нормуванні надійності цієї мережі є математична модель, описана в пункті 2.2. Першочерговим завданням структурно-топологічного уявлення мережі зв'язку є її декомпозиція таким чином, щоб всіх елементів цієї мережі можна було поставити відповідно значення ймовірностей незалежних подій, які полягають в ураженні цих елементів з боку зовнішнього агресивного середовища.

Рівень декомпозиції мережі зв'язку визначається характером зовнішніх впливів. Так, при глобальних ураженнях ділянок мережі, основним розрахунковим елементом є група засобів, що одночасно вражаються. При спільному розміщенні засобів комутації і систем передачі (радіорелейних, тропосферних і наземних космічних станцій) вони представляються як єдиний розрахунковий елемент, рисунок 3.1, а. Слід, однак, відзначити, що у зв'язку з прийнятою умовою ігнорування поразки крайових вузлів зв'язку (в цьому випадку, як вже відзначалося, поразка цих вузлів веде до виключення з розгляду усього інформаційного напрямку). Кожен такий елемент (укрупнений по засобах зв'язку) є ребром розрахункового графа, якому приписується відповідна ймовірність ураження. Вершини графа є єднальним елементом ребер, що входять в нього, і в розрахункових виразах враховуються лише при визначенні структури (форми) цих виразів.

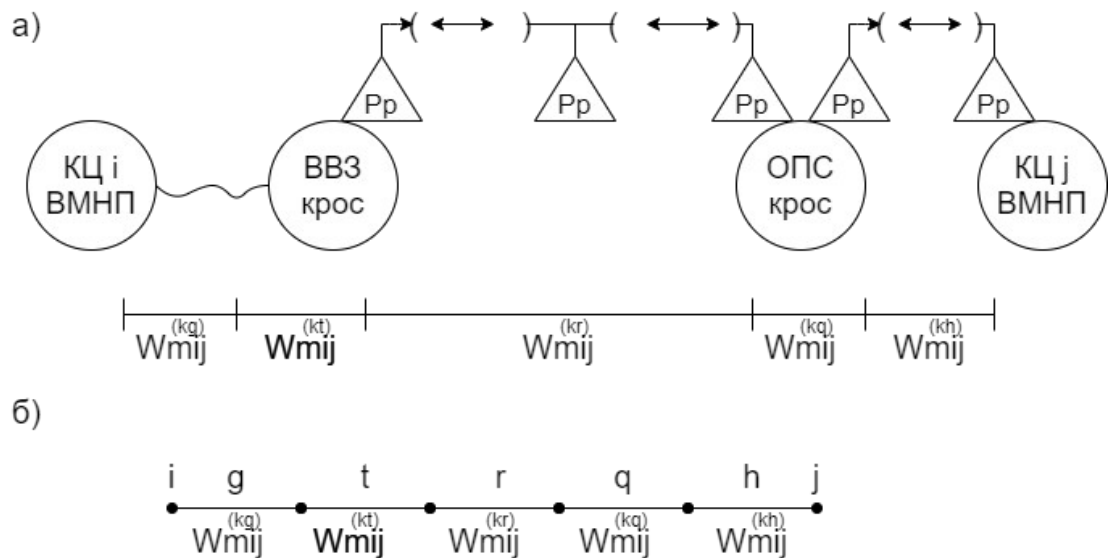


Рис. 3.1 Спільне розміщення засобів комутації і систем передачі

В випадку, коли події є незалежними, при складанні розрахункового графа кожному елементу мережі зв'язку (як лінії зв'язку, так і КЦ) ставиться у відповідності ребро, якому приписується ймовірність його виживання (ураження) в прогнозованих умовах функціонування мережі. Приклад складання розрахункового графа для оцінки надійності мережі зв'язку, фрагмент якого приведений на рисунку 3.1,а, показаний на рисунку 3.1,б. Відповідно до отриманого розрахункового графа складаються розрахункові вирази. При цьому використовують метод на підставі якого були отримані вирази (2.1) – (2.3); (2.7) і утворені матриці (2.6) і (2.5).

Порівняльний аналіз структур і топології одних і тих же мереж зв'язку показує, що незалежність елементів шляхів встановлення з'єднань, визначена за структурою не завжди означає незалежність цих же елементів на топології. Така «незалежність» прийнятна при оцінці пропускної здатності мережі зв'язку, але не може бути прийнята при визначенні надійності цієї ж мережі. Приклад цього положення ілюструється на рисунку 3.2. Структура довільної мережі зв'язку представлена на рисунку 3.2,а. Розглянемо склад інформаційного напрямку П14. По структурі мережі зв'язку у складі цього напрямку можна виділити три незалежні шляхи встановлення з'єднання :

$$\pi_1 = n_1 m_{14} n_4$$

$$\pi_2 = n_1 m_{12} n_2 m_{24} n_4$$

$$\pi_3 = n_1 m_{13} n_3 m_{35} n_5 m_{45} n_4$$

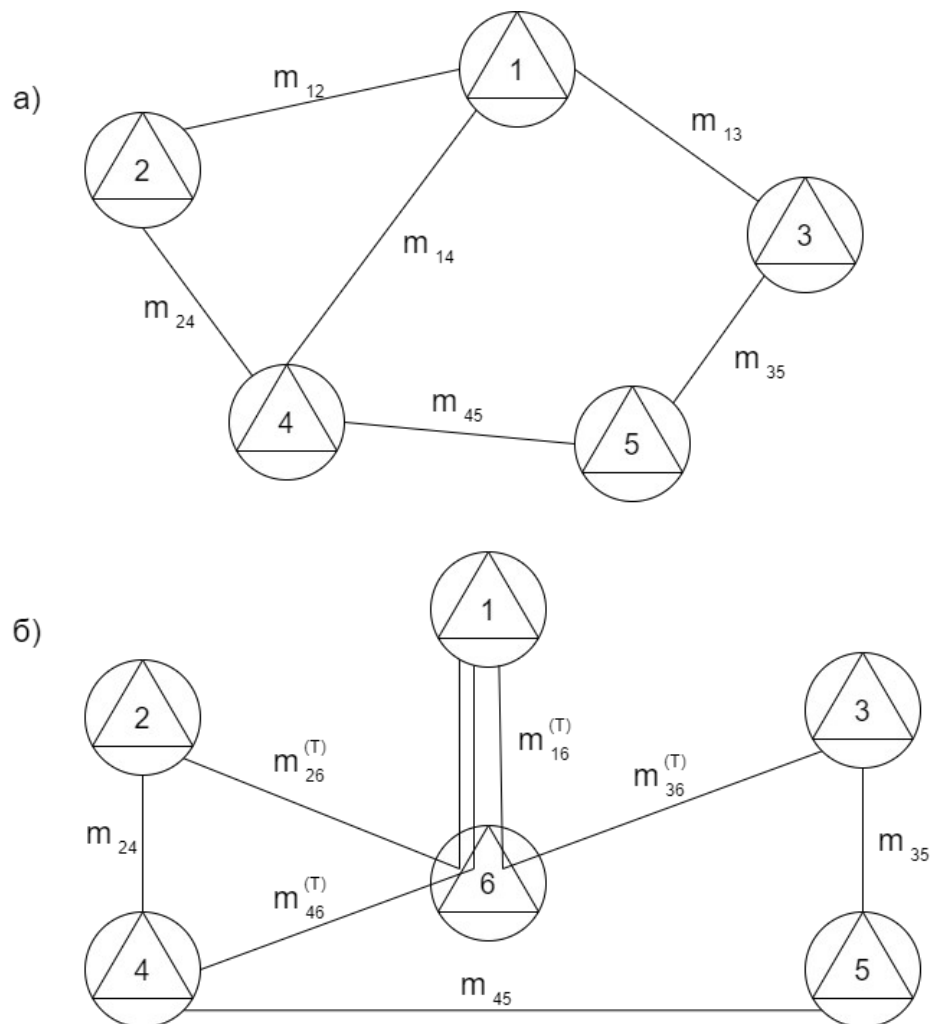


Рис. 3.2 Структура довільної і розглянутої мережі зв'язку

Однак, для оцінки надійності граф, побудований зазначеним чином, не відображає реальної ситуації, тому що невідомо як проходять лінії зв'язку та групуються канали в гілках розглянутих шляхів. Така інформація може бути отримана при аналізі топології цієї мережі.

Отже, з топології розглянутої мережі зв'язку (рисунок 3.2, б), канали першої ділянки всіх трьох шляхів утворюються на одній лінії зв'язку гілки $m_{16}^{(T)}$, що проходить через кросовий КЦ n_6 . Ураження гілки $m_{16}^{(T)}$, веде до одночасного ураження представлених на структурі гілок m_{12}, m_{13} та m_{14} . Без

урахування цього чинника розрахунковий граф для оцінки надійності даної мережі зв'язку міг би мати вигляд, наведений на рисунку 3.3 (а). Це було б справедливо, якби структура мережі і її топологія збігалася. В даному прикладі вони розрізняються, тому до складу розрахункового графа повинні включитися елементи загальні для всіх трьох шляхів: $m_{16}^{(T)}$ і n_6 . У зв'язку з вищесказаним, граф мережі зв'язку, що описується структурою, представленою на рисунку 3.2,а і топології — рисунок 3.2,б має вигляд, показаний на рисунку 3.3,б. Вираз для розрахунку надійності інформаційного напрямку I_{14} в розглянутому прикладі має вигляд:

$$W(I_{14}) = W(n_1) W(m_{16}^T) W(n_6) W(n_4) \left[1 - \left[1 - W(m_{46}^T) \right] \times \left[1 - W(m_{26}^T) W(n_2) W(m_{24}) \right] \times \left[1 - W(m_{36}^T) W(n_3) W(m_{35}) W(n_5) W(m_{45}) \right] \right]$$

Для порівняння може бути приведено вираз, що отримується з розрахункового графа, представленого на рисунку 3.3,а :

$$W(I_{14}) = W(n_1) W(n_4) \left[1 - \left[1 - W(m_{14}) \right] \left[1 - W(m_{12}) W(n_2) W(m_{24}) \right] \times \left[1 - W(m_{13}) W(n_3) W(m_{35}) W(n_5) W(m_{45}) \right] \right]$$

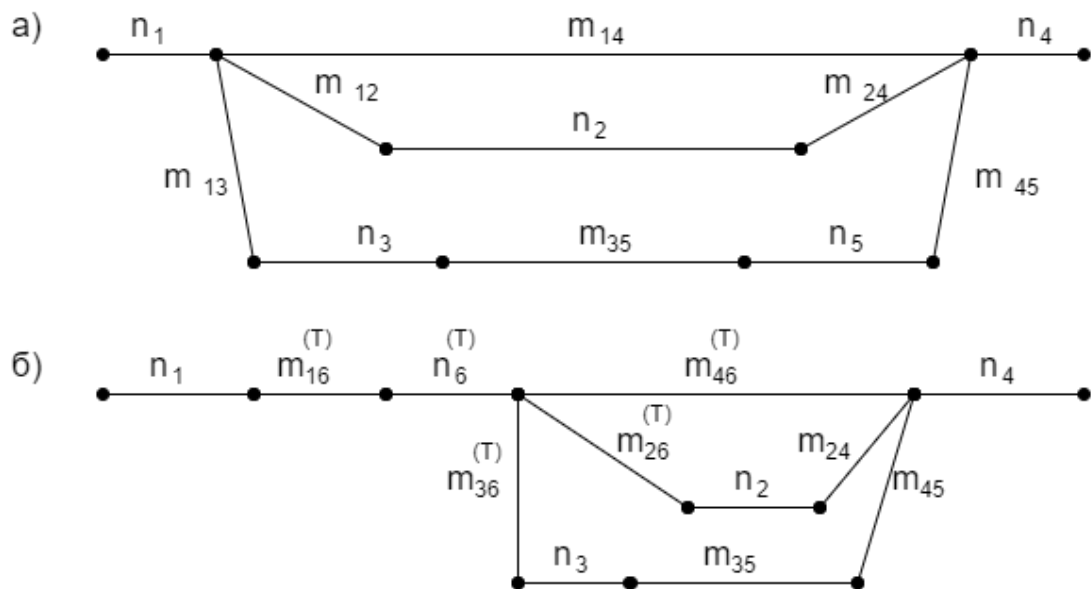


Рис. 3.3 Графи мереж зв'язку

При оцінці надійності даної мережі зв'язку аналогічним чином складаються розрахункові графи і вирази для усіх інформаційних напрямів (напрямів зв'язку).

У зв'язку з вищесказаним, необхідно ввести уточнення: матриці (2.5) і (2.6) складаються за даними, що отримуються при аналізі топології, а не структури досліджуваної мережі зв'язку.

Таким чином, методика оцінки структурної надійності мережі телекомунікаційного зв'язку (по напрямках зв'язку) включає:

- розробку структури і топології досліджуваної мережі і їх аналіз з метою визначення чисельних значень ймовірності виживання (ураження) її елементів з урахуванням їх використання і характеру вражаючих дій;
- складання розрахункових графів за кожним напрямом зв'язку;
- складання розрахункових виразів для оцінки надійності кожного напрямку зв'язку.

Узагальнюючи вищевикладене, можна сформулювати методику розрахунку і оцінки морфологічних показників мережі телекомунікаційного зв'язку при заданих значеннях її структурної надійності. В цілому, зазначена методика складається з наступних блоків (див. рисунок 3.4), що визначаються типами розв'язуваних завдань:

1. Формування вихідних даних.
2. Вибір вихідних даних.
3. Розрахунок показників структурної надійності мережі зв'язку.
4. Перевірка заданих для досліджуваної мережі умов і формування циклів розрахунків.
5. Обробка отриманих результатів.

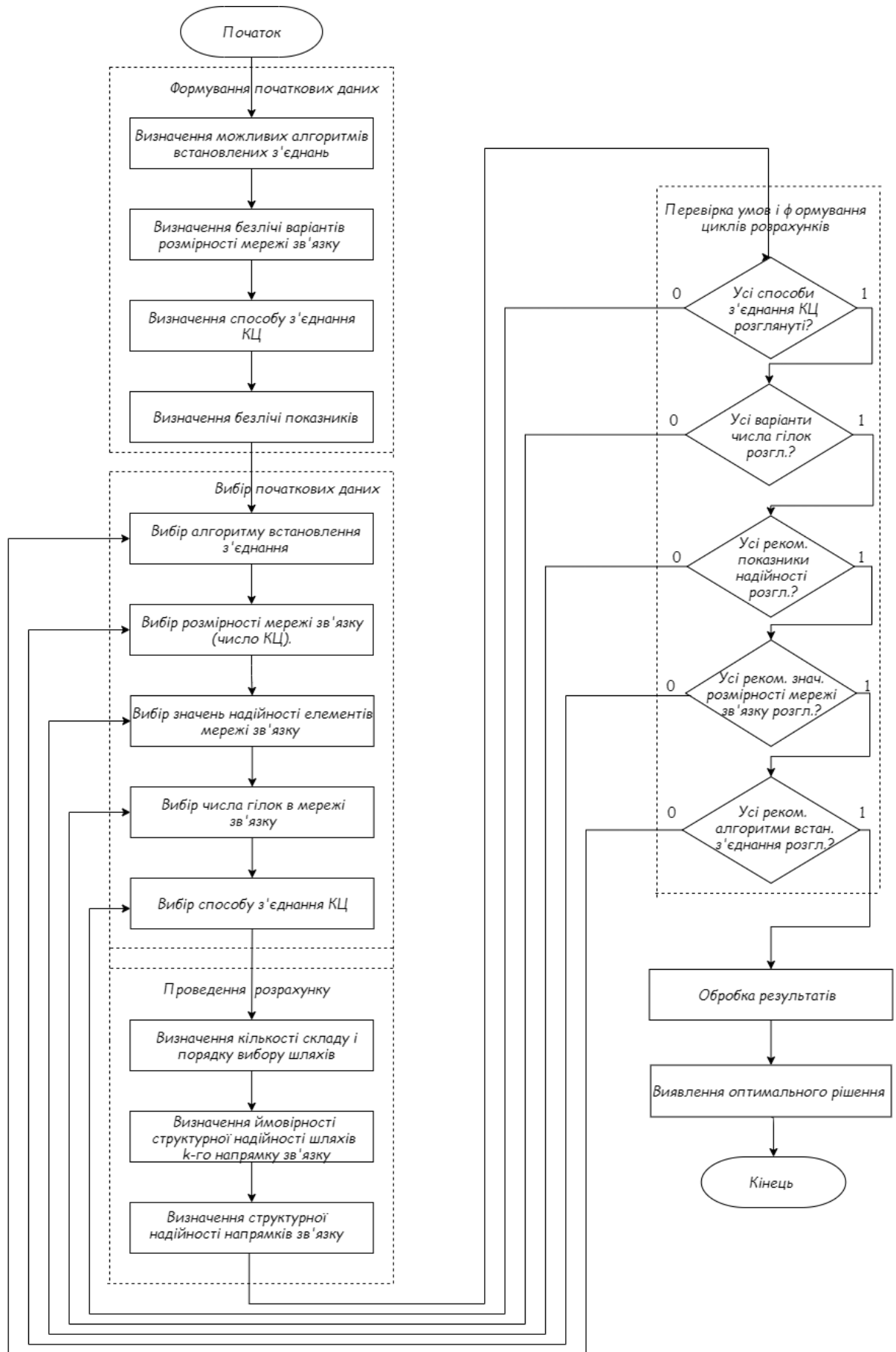


Рис. 3.4 Блок-схема удосконаленої методики

Формування обмеженої множини можливих вихідних даних обумовлюється класом досліджуваної мережі і умовами застосування при вирішенні оперативно-тактичних завдань. Операторами даного блоку є:

- визначення можливих алгоритмів встановлення на даній мережі з'єднання, що обумовлюється типами передбачуваних для використання в її складі комутаційних центрів і заданими алгоритмами управління цією мережею;
- визначення безлічі варіантів розмірності мережі зв'язку, який зумовлює принципами організаційно-технічної побудови досліджуваної мережі відповідно до її приналежності до певної ланки управління;
- визначення можливих способів взаємного з'єднання КЦ даної мережі, які обумовлюють безліч типів структур;
- визначення безліч показників оцінки мережі, що задаються в поставній частині на її дослідження;

При виборі вихідних даних здійснюється конкретизація кількісних значень в плані постановки розв'язуваної задачі. Процедура вибору вихідних даних по суті зводиться до їх послідовного перебору, забезпечуючи отримання рішень задачі при будь-якому поєднанні цих даних.

Проведення розрахунку параметрів структурної надійності досліджуваної мережі телекомунікаційного зв'язку здійснюється в третьому блоці, за окремою методикою викладеної вище.

Порядок перебору вихідних даних при проведенні розрахунку визначається утвореними циклами. Формування цих циклів відбувається в четвертому блоці відповідно до заздалегідь заданими умовами, обмеженнями, припущеннями.

По завершенні останнього циклу отримані дані обробляються з метою отримання оптимального для поставленого завдання рішення. Цим завершується розрахунок параметрів мережі телекомунікаційного зв'язку за пропонованою методикою.

3.2 Аналіз результатів розрахунку морфологічних показників мережі телекомунікаційного зв'язку при нормуванні її структурної надійності

Об'єктом розрахунку є телекомунікаційна мережа зв'язку. Розмірність мережі визначалася застосуванням від трьох до шести КЦ, значення виживання ліній зв'язку — від 0.2 до 0.7.

При проведенні розрахунків досліджувалися вирази аналітичної моделі (2.1) – (2.3) і методиці, викладена в п.3.1. Оцінка структурної надійності здійснювалася за сукупністю показників інформаційних напрямів.

Як і описувалося, при аналітичному аналізі зазначених виразів, залежність показників надійності інформаційних напрямків від структури (загальної топології) цих напрямків носить монотонний характер без перегинів (мінімумів і максимумів). З довжиною шляху його структурна надійність падає, зі збільшенням шляхів в інформаційному напрямку — зростає, рисунок 3.5 (а, б).

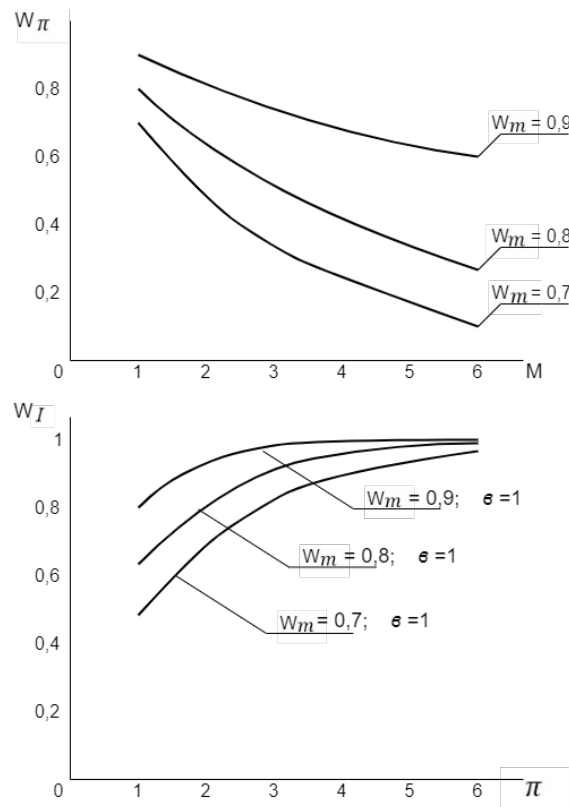


Рис. 3.5 Графік залежностей показників надійності: а) зі збільшенням довжини шляху; б) зі збільшенням шляхів

З огляду на великі обсяги необхідних обчислень, розрахунки проводилися на портативному персональному комп'ютері. На мові C++ розроблена програма, яка реалізує методику, описану в п.3.2. Приклад результатів розрахунку структурної надійності інформаційних напрямів для п'яти-елементної системи зв'язку при ймовірності виживання КЦ $W_{\text{КЦ}}(G)=0.9$ і ліній зв'язку в діапазоні $W_m=0.2-0.7$ приведений в таблиці 3.1 і таблиці 3.2 і на рисунку 3.6.

Як видно з отриманих результатів, крім підтвердження раніше прогнозованого характеру залежності показників структурної надійності від довжини і числа вхідних в інформаційний напрямок шляхів, простежується також вплив на показники надійності кількості рангів КЦ.

Результати аналізу структурних параметрів ТКМ, і, зокрема, вплив рангів КЦ цієї мережі на параметри її функціонування підтверджується і при оцінці морфології досліджуваної мережі з точки зору структурної надійності, тобто можна стверджувати, що при виборі варіанту структурної побудови мережі зв'язку (при відповідності загальної топології структури цієї мережі за ознаками незалежності проходження шляхів встановлення з'єднань) із заданою кількістю КЦ і гілок, варіант з мінімальним числом рангів КЦ цієї мережі буде мати надійність вище будь-яких інших. Характерно, що тенденція переважно вибору варіанту з певним (мінімальним) числом рангів КЦ для оцінки її морфологічних, за показниками, як пропускну здатності, так і надійності – співпадають [21].

Вплив числа рангів КЦ мережі зв'язку на її структурну надійність фактично єдиний "прихований" чинник, який зумовлює показники мережі за заданим параметром. За іншими параметрами, узагальнюючи їх вплив на показники надійності, можна відмітити, що надійність інформаційного напрямку вище:

- чим коротше шлях (для кабельних і ВОЛЗ це визначається їх кілометричною довжиною, для радіорелейних і тропосферних ліній зв'язку – числом переприймальних ділянок);

- чим більше незалежних шляхів встановлених з'єднань;
- чим більше ліній зв'язку («паралельних») утворюють одну гілку мережі;
- чим вище надійність кожного елементу мережі зв'язку, що входить в даний інформаційний напрям.

Таблиця 3.1

Результати розрахунку СН інформаційних напрямів мережі зв'язку ($W_{КЦ}(G)=0.9$)

Число ліній між КЦ	Надійність КЦ=0.9		Надійність напрямків зв'язку					
	Надійність ліній зв'язку		0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7
1	2	3	4	5	6	7	8	
m=5	Ранг 1	1	0.12	0.2	0.3	0.4	0.5	0.67
m=6	1	1	0.15	0.25	0.37	0.49	0.62	0.74
		2	0.15	0.25	0.37	0.49	0.62	0.74
		3	0.15	0.25	0.37	0.49	0.62	0.74
		4	0.15	0.25	0.37	0.49	0.62	0.74
		5	0.15	0.25	0.37	0.49	0.62	0.74
m=7	1	1	0.18	0.3	0.4	0.5	0.68	0.79
		2	0.18	0.3	0.4	0.5	0.68	0.79
		3	0.18	0.3	0.43	0.57	0.7	0.8
		4	0.18	0.3	0.43	0.57	0.7	0.8
		5	0.18	0.3	0.43	0.56	0.68	0.79
	2	6	0.18	0.3	0.43	0.57	0.7	0.8
		7	0.18	0.3	0.43	0.57	0.7	0.8
		8	0.18	0.3	0.43	0.57	0.7	0.8
		9	0.18	0.3	0.43	0.57	0.7	0.8
		10	0.18	0.3	0.43	0.57	0.7	0.8
m=8		1	0.21	0.2	0.48	0.62	0.74	0.84
		2	0.21	0.25	0.48	0.62	0.74	0.84

Продовження таблиці 3.1

Число ліній	Надійність КЦ=0.9	Надійність напрямків зв'язку					
	Надійність	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7

між КЦ	ь ліній зв'язку							
1	2		3	4	5	6	7	8
m=8	1	3	0.21	0.25	0.48	0.62	0.74	0.84
		4	0.21	0.25	0.48	0.62	0.74	0.84
		5	0.21	0.25	0.48	0.62	0.74	0.84
	2	6	0.21	0.3	0.5	0.64	0.77	0.87
		7	0.21	0.3	0.5	0.64	0.77	0.87
		8	0.21	0.3	0.5	0.64	0.77	0.87
		9	0.21	0.3	0.5	0.64	0.77	0.87
		10	0.21	0.3	0.5	0.64	0.77	0.87
m=9	1	1	0.24	0.39	0.54	0.68	0.8	0.89
		2	0.24	0.39	0.54	0.68	0.8	0.89
		3	0.24	0.39	0.54	0.68	0.8	0.89
		4	0.24	0.39	0.54	0.68	0.8	0.89
		5	0.24	0.39	0.54	0.68	0.8	0.89
m=10	1	1	0.26	0.4	0.56	0.7	0.82	0.9

Таблиця 3.2

Результати розрахунку СН інформаційних напрямів мережі зв'язку ($W_{\text{КЦ}}(G)=0.7$)

Число ліній між КЦ	Надійність КЦ=0.7		Надійність напрямків зв'язку					
	Надійність ліній зв'язку		0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7
1	2	3	4	5	6	7	8	
m=5	Ранг 1	1	0.12	0.19	0.28	0.39	0.51	0.63
m=6	1	1	0.14	0.25	0.37	0.49	0.62	0.74
		2	0.14	0.25	0.37	0.49	0.62	0.74
		3	0.14	0.25	0.37	0.49	0.62	0.74
		4	0.14	0.25	0.37	0.49	0.62	0.74
		5	0.14	0.25	0.37	0.49	0.62	0.74
m=7	1	1	0.17	0.29	0.4	0.5	0.65	0.76
		2	0.17	0.29	0.4	0.5	0.65	0.76
		3	0.17	0.29	0.4	0.53	0.65	0.76
		4	0.17	0.29	0.4	0.53	0.65	0.76

Продовження таблиці 3.2

Число ліній між КЦ	Надійність ь КЦ=0.7		Надійність напрямків зв'язку					
	Надійність		0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7

	ь ліній зв'язку							
1	2	3	4	5	6	7	8	
m=7	5	0.17	0.29	0.4	0.53	0.65	0.76	
	6	0.17	0.29	0.42	0.54	0.67	0.79	
	7	0.17	0.29	0.42	0.54	0.67	0.79	
	2 8	0.17	0.29	0.42	0.54	0.67	0.79	
	9	0.17	0.29	0.42	0.54	0.67	0.79	
	10	0.17	0.29	0.42	0.54	0.67	0.79	
m=8	1	0.2	0.33	0.46	0.6	0.71	0.82	
	2	0.2	0.33	0.46	0.6	0.71	0.82	
	3	0.2	0.33	0.46	0.6	0.71	0.82	
	4	0.2	0.33	0.46	0.6	0.71	0.82	
	5	0.2	0.33	0.46	0.6	0.71	0.82	
	6	0.21	0.34	0.48	0.62	0.75	0.85	
	7	0.21	0.34	0.48	0.62	0.75	0.85	
	2 8	0.21	0.34	0.48	0.62	0.75	0.85	
	9	0.21	0.34	0.48	0.62	0.75	0.85	
	10	0.21	0.34	0.48	0.62	0.75	0.85	
m=9	1	0.23	0.37	0.52	0.66	0.78	0.87	
	2	0.23	0.37	0.52	0.66	0.78	0.87	
	3	0.23	0.37	0.52	0.66	0.78	0.87	
	4	0.23	0.37	0.52	0.66	0.78	0.87	
	5	0.23	0.37	0.52	0.66	0.78	0.87	
m=10	1 1	0.25	0.39	0.54	0.68	0.78	0.88	

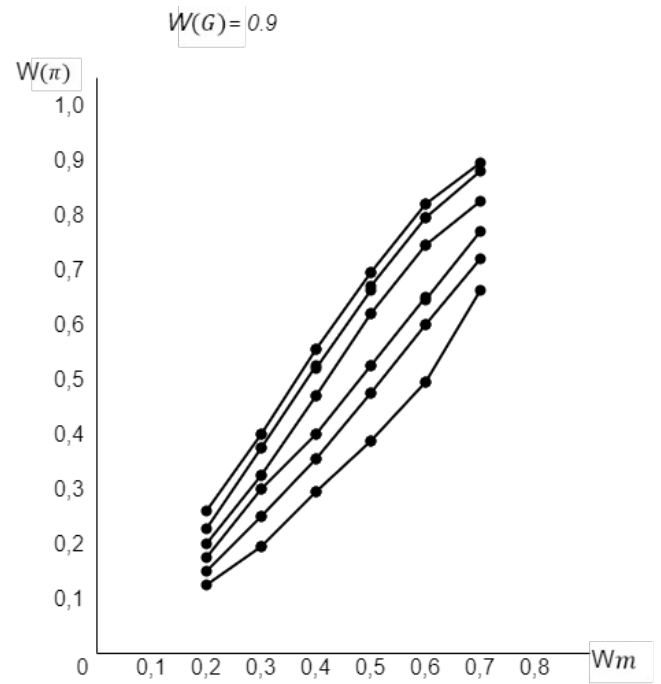
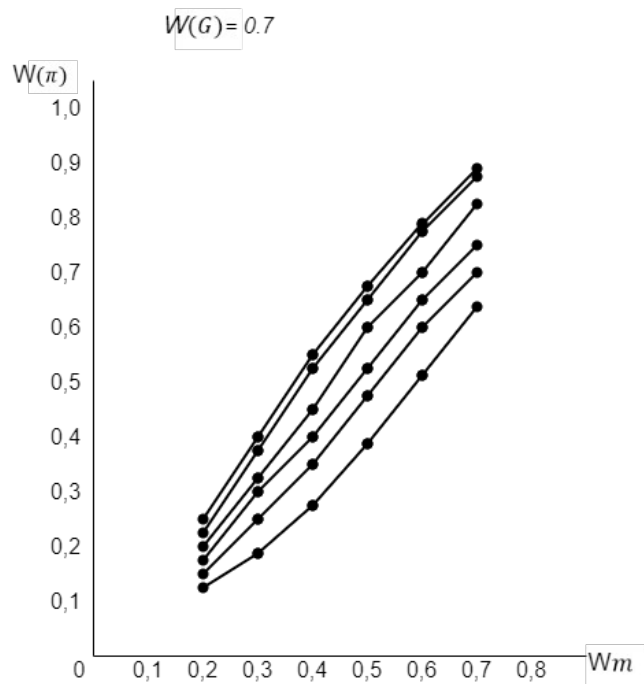


Рис. 3.6 Графіки розрахунків

При цьому слід зазначити, що вище перелічені чинники при однаковій своїй природі і рівних чисельних показниках, визначених ними однотипних параметрів, вносять різний «внесок» в підвищення або зниження надійності мережі зв'язку. Збільшення в інформаційному напрямі незалежних шляхів однакового складу і рівної структурної надійності дає рівний приріст структурній надійності цьому напрямку, рисунок 3.7,а. Однак, значимість цього приросту для шляхів з різною надійності неоднакова. Чим менше надійність шляху, тим більше приріст до цієї надійності дає черговий шлях. Характер такого збільшення ілюструється на рисунку 3.7,б. На представленому рисунку 3.7(а,б) — $W_n(G)$ — ймовірність виживання шляху при n включених в нього гілок ($n = 1, 2, \dots$), $W_{n+1}(G)$ — теж при шляху, довшого за попередній на одну гілку, π — число шляхів в інформаційному напрямку.

Зі зміною складу кожного наступного шляху (як правило це підвищення його довжини за рахунок збільшення вхідних в шлях транзитних КЦ) приріст, внесених а показник надійності інформаційного напрямку, змінюється (як правило зменшується) і залежності, показані на рисунку 3.7,а.

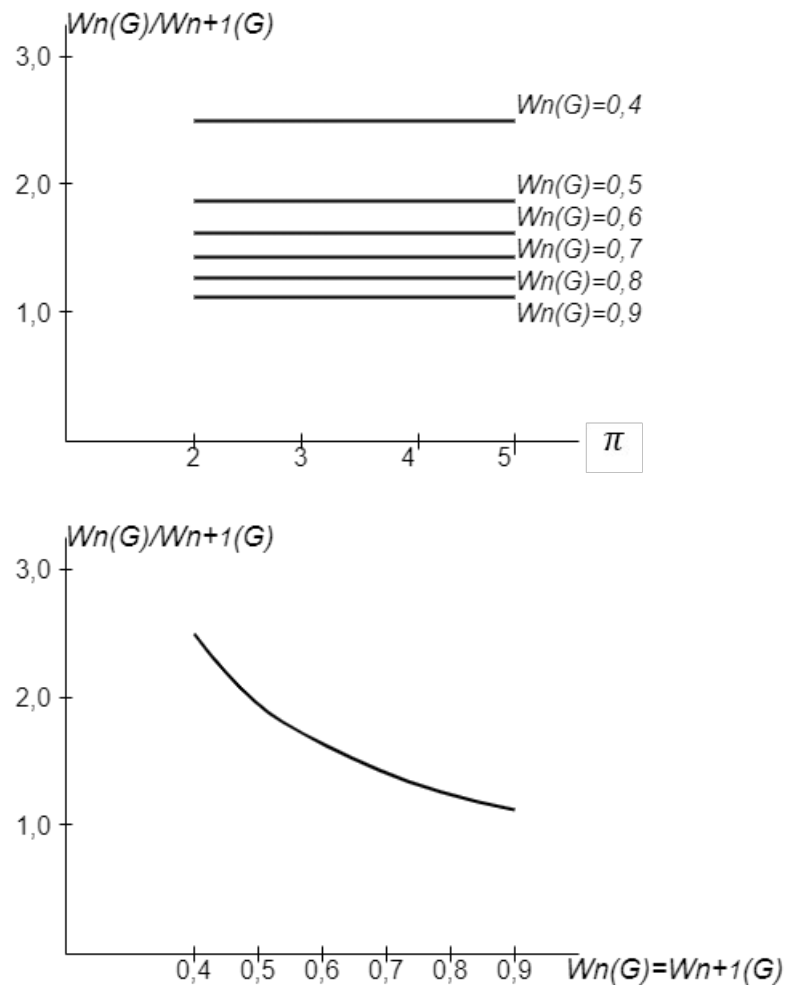


Рис. 3.7 Графік залежності відношень ймовірностей виживання гілок від кількості шляхів

Виявлені закономірності та чисельні результати розрахунків надійності елементів мережі зв'язку, спрямовані на вирішення завдань побудови мультисервісних систем зв'язку.

Висновки

1) Оскільки оцінка і прогнозування структурної надійності складних мультисервісних мереж зв'язку на практиці викликає багато труднощів в зв'язку з великою розмірністю, тому запропоновано методику оцінки структурно-топологічних показників мережі телекомунікаційного зв'язку при нормуванні її структурної надійності, де основним завдання є декомпозиція мережі, тобто розбиття на інформаційні напрями.

2) На основі запропонованої методики проведено аналіз отриманих результатів оцінки залежності показників структурної надійності інформаційних напрямів від структури цих напрямів (довжин і кількості шляхів, які входять до інформаційного напрямку).

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ПО РОБОТІ

1. Проведено аналіз способів побудови сучасних телекомунікаційних мереж.
2. Проаналізовано існуючі методи оцінки структурної надійності телекомунікаційної мережі зв'язку.
3. Проведено аналіз факторів, що впливають на структурну надійність
4. Удосконалено методику оцінки структурно-топологічних показників мережі при нормуванні її структурної надійності.
5. Проведено оцінку запропонованого рішення.

На основі запропонованої удосконаленої методики проведено оцінку залежності показників структурної надійності інформаційних напрямків від структури цих напрямків.

Аналіз отриманих результатів на основі застосування запропонованої удосконаленої методики показав, що на залежність показників структурної надійності інформаційних напрямків від структури цих напрямків (числа і довжини входять в інформаційний напрямок шляхів) має монотонний характер без перегинів, а також простежується вплив на структурну надійність числа рангів КЦ.

Можна стверджувати, що при виборі варіанту структурної побудови ТКМ (при відповідності загальної топології структури цієї мережі за ознаками незалежності проходження шляхів встановлених з'єднань) з заданим кількістю КЦ і гілок, варіант з мінімальним числом рангів КЦ матиме структурну надійність вище будь-яких інших. Вплив числа рангів КЦ ТКМ на структурну надійність єдиний прихований фактор, який зумовлює показник мережі за заданим параметром.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Бельков Д.В. Концепція мультисервісних мереж [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <http://ea.donntu.edu.ua/handle/123456789/3252>
2. Довгий С.О., Воробієнко П.П., Гуляєв К.Д. Сучасні телекомунікації: Мережі, технології, безпека, економіка, регулювання. – Видання друге (доповнене). – / За загальною ред. Довгого С.О. –К.: «Азимут-Україна». – 2013. – 608 с.
3. Величко В.В, Субботин Е.А., Шувалов В.П., Ярославцев А.Ф. Телекоммуникационные системы и сети. Том 3. Мультисервисные сети. Москва: Горячая линия-Телеком, 2005. – 592 с.
4. П.П. Воробієнко, Л.А. Нікітюк, П.І. Резніченко. Телекомунікаційні та інформаційні мережі : Підручник [для вищих навчальних закладів] – К.: САММІТ-Книга, 2010. – 708 с.: іл
5. Network Topology: 6 Network Topologies Explained & Compared [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.comparitech.com/net-admin/network-topologies-advantages-disadvantages/>
6. Types of Network Topology [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.educba.com/types-of-network-topology/>
7. Чекал Е. Г. Надежность информационных систем : учебное пособие : в 2 ч. Ч. 1 / Е. Г. Чекал, А. А. Чичев. – Ульяновск : УлГУ, 2012. – 118 с
8. Могилевич Д., Правило В., Фомін М. Методи структурної надійності мультисервісних мереж зв'язку // Прав., нормат. та метрол. забезп. системи захисту інформації в Україні : наук.-техн. зб. - 2013. - Вип. 2. - С. 66-71. - Бібліогр.: 11 назв. - укр.
9. Mogylevych D.I., Kononova I.V., Kredentser B.P., Karadschow I. Comprehensive Reliability Assessment Technique of Telecommunication

Networks Equipment with Reducible Structure. Visnyk NTUU KPI Seriiia-Radiotekhnika Radioaparotobuduvannia, 2020. P. 39-47.

10. В.А. Нетес. Надежность сетей связи в период перехода к NGN. – «Вестник связи», №9,2007.

11. Алдабергенова К.Е. Структурная надежность сетей телекоммуникации [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу:http://kazatu.edu.kz/assets/i/science/sf9_energo_206.pdf

12. Давыдов А.Е., Смирнов П.И., Парамонов А.И. Проектирование телекоммуникационных систем и сетей. Раздел Лабораторные исследования сетей связи и передачи данных: Учебное пособие - Санкт-Петербург: Университет ИТМО, 2016. - 36 с. - экз.

13. Ибрагимов Б.Г., Мамедов И.А., Ибрагимов Г.Г., Ахмедова М.В. Исследование и оценка структурной надежности функционирования абонентского и сетевого элемента мультисервисных сетей // Труды международного симпозиума «Надежность и качество», 2011. – Т. 7.

14. Балашова, Татьяна Ивановна. Модели, методы и алгоритмы повышения структурной надежности сетей передачи данных : диссертация ... кандидата технических наук : 05.13.01. Нижний Новгород, 2015. - 166 с.

15. Филин Б.П. Методы анализа структурной надёжности сетей связи. М.: Радио и связь, 1988.

16. Князева Н. О., Колумба І. В. Використання базових структурних характеристик мережі невизначеної топології для оцінки її структурної надійності // Системи управління, навігації та зв'язку. - 2018. - Вип. 6. - С. 130-134. – Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/suntz_2018_6_27

17. Князева Н.О., Ненов О. Л. Оцінка структурної надійності телекомунікаційної мережі. Вісник Національного університету «Львівська політехніка». № 688. Комп'ютерні системи та мережі. Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2010. С. 129–137.

18. Князева Н. А., Ненов А. Л. Метод оценки структурной надежности сети при изменении ее структуры. Вісник Державного університету інформаційно-комунікаційних технологій. 2011. Т. 9, № 4. С. 318–325.

19. Егунов, М.М. Анализ структурной надёжности транспортной сети / М.М. Егунов, В.П. Шувалов. – Новосибирск : Вестник СибГУТИ, 2012. – №1. – С. 54 – 60.

20. Могилевич Д. И., Дружинин С. В., Климович О. К. Методика оценки качества обслуживания в телекоммуникационной сети специального назначения с установлением соединения. Системи обробки інформації. - 2007. - Вип. 7. - С. 43-47. - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/soi_2007_7_14

21. Папушой О.К. Удосконалена методика оцінки структурної надійності мультисервісної мережі зв'язку // перспективи розвитку інформаційно-телекомунікаційних технологій та систем / Ольга Папушой. – м. Київ, Україна: ISSN(print)2663-502X, ISSN (online) 2664-3057, 2021. – С. 404.