

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

ДОПУСТИТИ ДО ЗАХИСТУ
Завідувач кафедри

_____ Литвиненко О.Є.

“ _____ ” _____ 2020 р.

**ДИПЛОМНА РОБОТА
(ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА)
ВИПУСКНИКА ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ
“МАГІСТР”**

Тема: «Програмний модуль визначення макрохарактеристик мультисервісної мережі зв'язку»

Виконавець: _____ Зіник В.Р.

Керівник: . _____ Коба О.В.

Нормоконтролер: . _____ Тупота Є.В.

Київ 2020

НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет кібербезпеки комп'ютерної та програмної інженерії

Кафедра комп'ютеризованих систем управління

Спеціальність 123 «Комп'ютерна інженерія»

(шифр, найменування)

Освітньо-професійна програма «Системне програмування»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Литвиненко О.Є.

« _____ » _____ 2020 р.

ЗАВДАННЯ

на виконання дипломної роботи (проекту)

Зіника Вадима Руслановича

(прізвище, ім'я, по батькові випускника в родовому відмінку)

1. Тема дипломної роботи (проекту) Програмний модуль визначення

макрохарактеристик мультисервісної мережі зв'язку

затверджена наказом ректора від « 27 » серпня 2020 р. № 1203/ст.

2. Термін виконання роботи (проекту): з 5 жовтня 2020 по 13 грудня 2020

3. Вихідні дані до роботи (проекту): мультисервісна модель Ерланга,
програмний модуль визначення характеристик мультисервісна мережі

4. Зміст пояснювальної записки:

1) різновиди телекомунікаційних мереж та їх характеристики;

2) математичний апарат моделювання функціонування систем та мереж;

3) мультисервісна модель Ерланга;

4) Програмний модуль визначення макрохарактеристик

5. Перелік обов'язкового графічного (ілюстративного) матеріалу:

1) Фізична модель функціонування ШЦЛ ємністю V БЦК

2) Схема алгоритму програми

3) Результати роботи програми

6. Календарний план-графік

№ пор.	Завдання	Термін виконання	Відмітка про виконання
1	Отримання завдання	05.10-06.10	
2	Вивчення літератури	07.10-25.10	
3	Написання 1 розділу	26.10-01.11	
4	Аналіз математичного апарату для створення програмного засобу.	02.11-03.11	
5	Написання 2 розділу	04.11-06.11	
6	Написання програми	07.11-15.11	
7	Написання 4 розділу	16.11-29.11	

7. Консультанти з окремих розділів

Розділ	Консультант (посада, П.І.Б.)	Дата, підпис	
		Завдання видав	Завдання прийняв

8. Дата видачі завдання: “_05_” _жовтня_ 2020 р.

Керівник дипломного проекту _____ Коба О.В.

(підпис керівника)

Завдання прийняв до виконання _____ Зіник В.Р.

(підпис випускника)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до дипломної роботи: Програмний модуль визначення макрохарактеристик мультисервісної мережі зв'язку: 98 сторінок, 25 рисунків, 2 таблиці, 16 використаних джерел.

Метою дипломної роботи є розробка програмного модуля визначення макрохарактеристик мультисервісної мережі зв'язку та використання його на етапі проектування та експлуатації мережі.

Об'єктом дипломної роботи є мультисервісні мережі зв'язку

Предметом дипломної роботи є програмний модуль визначення макрохарактеристик мультисервісної мережі зв'язку.

Методи дослідження: методи теорії систем масового обслуговування, методи теорії алгоритмів, мова програмування C#.

Наукова значимість: визначення макрохарактеристик Мультисервісної мережі зв'язку на етапі функціонування та проектування.

Практична значимість полягає у розробці програмного забезпечення для використання його для проектування мережі.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СКОРОЧЕНЬ, ТЕРМІНІВ	7
ВСТУП.....	8
РОЗДІЛ 1.....	12
ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНІ МЕРЕЖІ, ЇХ ТРАФІКИ ТА РІЗНОВИДИ	12
1.1 Телекомунікаційна мережа.....	12
1.2 Інформаційна мережа	13
1.3 Параметри ефективності телекомунікаційної мережі.....	16
1.4 Параметри оцінки ефективності інформаційної мережі	18
1.5 Керування трафіком в комп'ютерних мережах.....	19
1.6 Принцип роботи мультисервісної мережі	23
1.7 Трафік в мультисервісних мережах	28
1.7.1 Вимоги до семантичної прозорості	28
1.7.2 Вимоги до часової прозорості	30
1.8 Висновки до розділу	33
РОЗДІЛ 2.....	34
МАТЕМАТИЧНИЙ АПАРАТ МОДЕЛЮВАННЯ ФУНКЦІОНУВАННЯ СИСТЕМ ТА МЕРЕЖ.....	34
2.1 Система масового обслуговування.....	34
2.2 Класифікація систем масового обслуговування.....	36
2.3 Характеристики ефективності СМО	39
2.4 Моделі типових СМО	41
2.4.1 Одноканальна модель.....	41
2.4.2 Одноканальна СМО з очікуванням і обмеженою довжиною черги	43
2.4.3 Одноканальна СМО з очікуванням без обмеження на довжину черги	47
2.4.4 Моделі з n обслуговуваними каналами.....	48
2.4.5 Багатоканальна система масового обслуговування з очікуванням	52
2.4.6 Багатоканальні системи без буфера для очікування	54
2.4.7 Висновки до розділу.....	56
РОЗДІЛ 3.....	58

МУЛЬТИСЕРВІСНА МОДЕЛЬ ЕРЛАНГА З ЯВНИМИ ВТРАТАМИ	58
3.1 Мультиплексування мультисервісної моделі Ерланга	58
3.2 Параметри мультисервісної моделі Ерланга	59
3.3 Теорема про рівноважний розподіл	63
3.4 Імовірність втрат та інші макрохарактеристики.....	70
3.5 Рекурентний алгоритм обчислення макрохарактеристик	72
3.6 Випадок $b = 1$	76
3.7 Висновки до розділу.....	77
РОЗДІЛ 4.....	78
ПРОГРАМНИЙ МОДУЛЬ ВИЗНАЧЕННЯ МАКРОХАРАКТЕРИСТИК	78
4.1 Вибір програмних засобів.....	78
4.2 Проектування інтерфейсу користувача.....	82
4.3 Результати роботи програми	86
4.4 Висновки до розділу.....	88
ВИСНОВОК	90
СПИСОК БІБЛІОГРАФІЧНИХ ПОСИЛАНЬ ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	92
Додаток А	94

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СКОРОЧЕНЬ, ТЕРМІНІВ

AHT (Average Hold Time) – середній час обробки викликів

ATM (Asynchronous Transfer Mode) – асинхронний спосіб передавання даних

CAC (Connection Admission Control) – керування допуском з'єднання

CAR (Committed. Access Rate) – узгодження швидкості доступу

CCS (centum call seconds) – сто викликосекунд

CLR (Common Language Runtime)— загальномовне виконуюче середовище

IDE (Integrated Development Environment) – інтегроване середовище розробки

IP (Internet Protocol) – Інтернет протокол

Microsoft .NET Framework – платформа для створення програм.

Microsoft Visual Studio 2017 – це програмне середовище з розробки додатків для операційної системи *Windows*

NGN (Next Generation Networks) –мережа наступного покоління

QoS (Quality Of Service) – якість обслуговування

SLA (Service Level Agreement) – угода про рівень надання послуг

БЦК – базовий цифровий канал

МСЕ – міжнародний союз електрозв'язку

СМО – система масовоо обслуговування

ЦЛ – цифрова лінія

ШСП – ширина смуги пропускання

ВСТУП

Темою дипломної роботи є Програмний модуль визначення макро-характеристик мультисервісної мережі зв'язку

За сучасних темпів розвитку телекомунікацій суспільство неухильно йде до ускладнення взаємозв'язку між різними ланками виробництва, збільшення інформаційних потоків у технічній, науковій, політичній, культурній, побутовій та інших сферах суспільної діяльності.

У наш час розвиток телекомунікаційних мереж відбувається в напрямку росту ринку мультисервісних послуг, впровадження нових телекомунікаційних і інформаційних технологій, їх конвергенції. В першу чергу конвергенція послуг в мережах нового покоління вимагає від каналів зв'язку високих показників якості: менших значень затримок і її варіацій, гарантовану пропускну здатність і т.д. У свою чергу більшість бізнес-процесів сучасного підприємства вимагає своєчасного надання достовірної інформації, для цього телекомунікаційна мережа повинна мати достатній рівень надійності. З іншого боку поліпшення пропускну здатності мережі зв'язку вимагає додаткових витрат на використання більшої кількості, більш якісних каналів зв'язку, встановлення додаткового обладнання.

Традиційними послугами, реалізованими зараз засобами *IP*, є *IP*-телефонія, потокове відео, інтерактивні ігри, Інтернет-радіо та ін. Сучасні вимоги до якості передавання трафіку для надання зазначених послуг суттєво відрізняються від попередніх вимог передавання даних. Швидкість 256 кбіт/с вважалась великою 10 років тому. Сьогодні ж швидкість 2 Мбіт/с практично стала стандартом для широкосмугового доступу до мережі. У розвитку телекомунікаційних технологій основну роль відіграє саме потреба ринку в економічно ефективному наданні абонентові більшої ємності, пропускну здатності й більш короткому часі відгуку. Зараз, середній трафік абонента за

місяць уже становить від 2 до 7 Гбайта – і при цьому продовжує рости кількість користувачів файлообмінних додатків, багатокористувацьких ігор і онлайн-відео. Телекомунікаційні мережі розвиваються неймовірно швидко. З кожним роком вимоги до якості зростають, як і потреби абонентів до мережі. Питання оптимізації розподілу потоків даних у телекомунікаційних мережах розглядається вченими і фахівцями різних країн. Надання послуг з гарантованим параметрами розглядаються в наукових колах.

Розвиток телекомунікацій – це питання державного значення для України. Від 7 червня 2006р. розпорядженням кабінету міністрів було схвалено концепцію розвитку телекомунікацій. Вона визначає основні засади і напрями подальшого розвитку телекомунікаційних мереж в ринкових умовах і спрямована на досягнення стратегічних інтересів та конкурентоспроможності України на міжнародному ринку. Концепція визначає проблеми розвитку телекомунікацій, стратегію і основні шляхи їх розв'язання. Стратегія розвитку телекомунікаційних мереж повинна базуватися на використанні новітніх технологій, які відповідають міжнародним стандартам, сам розвиток телекомунікацій повинен здійснюватися випереджувальними темпами порівняно із загальними темпами розвитку економіки. Повільні темпи розвитку телекомунікацій спричиняють зниження конкурентоспроможності економіки України.

Важливе місце в інфокомунікаціях займають системи масового обслуговування. Вартість будь-якої СМО залежить від виду наданого нею обслуговування, числа її абонентів і створюваного ними навантаження на СМО. При проектуванні телекомунікаційної СМО обсяг її ресурсів повинен забезпечувати необхідну середню якість обслуговування, що враховує статистичні характеристики створюваного абонентами навантаження. При цьому необхідно виконувати як міжнародні і національні нормативи на допустиму величину блокувань і затримок в телекомунікаційній СМО, так і забезпечувати ефективне використання її ресурсів.

Проектування швидко розвиваючихся телекомунікаційних СМО дуже складна, особливо з урахуванням того факту, що в мережі багато років одночасно працюють системи різних поколінь. Тому в основі теорії телетрафіка лежать інженерні методи проектування ефективних мереж і систем зв'язку в прийнятні терміни, причому з обов'язковим урахуванням основних в даному випадку і часто суперечливих вимог.

Класичні результати і проблематика теорії телетрафіка справили великий вплив на становлення і розвиток теорії масового обслуговування, що є по суті розділом прикладної теорії ймовірностей і надалі орієнтованої на додатки в найрізноманітніших областях, а також на поглиблене вивчення та розвиток застосовуваних методів аналізу.

Поява в середині минулого століття і бурхливий розвиток і широке використання спочатку ЕОМ, а потім мереж ЕОМ і персональних комп'ютерів привели до розширення кола вирішуваних завдань і застосовуваних методів, включаючи аналітичні, чисельні, наближенні, а також імітаційне моделювання. Цей процес привів до зближення і взаємного проникнення ряду розділів теорії телетрафіка, ТМО, теорії графів, дискретної і обчислювальної математики і формування математичної теорії телетрафіка, що вирішує завдання теорії телетрафіка з урахуванням досягнень ряду суміжних математичних дисциплін. При цьому математична теорія телетрафіка розвивається в динамічному зв'язку з інженерною теорією телетрафіка, яка повинна швидко реагувати на запити практики і бути досить простою і володіти прийнятною точністю в певній області значень параметрів проектованої системи і надходить на неї навантаження. Розвиток двох напрямків в теорії телетрафіка – інженерного і математичного – є запорукою як їх успішного власного розвитку, так і активного сприяння швидкому прогресу телекомунікаційних мереж і систем.

Метою дипломної роботи є розробка програмного модуля визначення макрохарактеристик мультисервісної мережі зв'язку та використання його на

етапі проектування та експлуатації мережі. У дипломній роботі будуть представлені та проаналізовані аналітичні моделі СМО, алгоритм та результати роботи програми.

Об'єктом дипломної роботи є мультисервісні мережі зв'язку

Предметом дипломної роботи є програмний модуль визначення макрохарактеристик мультисервісної мережі зв'язку

РОЗДІЛ 1

ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНІ МЕРЕЖІ, ЇХ ТРАФІКИ ТА РІЗНОВИДИ

Телекомунікаційні та інформаційні технології, які швидко розвиваються, випереджаючи одна одну, постійно змінюють ідеологію побудови мереж зв'язку, породжуючи все нові й нові мережеві концепції. Незважаючи на все їхнє різноманіття, вивчення та дослідження мереж, як показує досвід, доцільно здійснювати в двох аспектах: телекомунікаційні мережі та інформаційні мережі.

1.1 Телекомунікаційна мережа

Загальне поняття «телекомунікації» базується на уявленні про засоби, які дозволяють організувати зв'язок між двома і більше віддаленими пунктами. Телекомунікації – це сукупність засобів, які забезпечують перенесення інформації, поданої у необхідній формі, на значну відстань за допомогою поширення сигналів в одному з середовищ (міді, оптичному волокні, ефірі) або сукупності середовищ. Засобами телекомунікацій, є лінії зв'язку, пристрої з'єднання середовищ, системи передачі, комунікаційні пристрої мережі, обладнання сигналізації, синхронізації та ін.

Телекомунікаційна мережа – це системоутворююча сукупність засобів телекомунікацій, що надає територіально віддаленим об'єктам можливість інформаційної взаємодії шляхом обміну сигналами (електричними, оптичними або радіо). Приклад телекомунікаційної мережі зображено на рисунку 1.1.

Об'єктами телекомунікаційної мережі можуть виступати як термінальні пристрої користувачів, кінцеві системи мережі й окремі мережі. Кінцем, інтерфейсною точкою, телекомунікаційної мережі є або мережевий інтерфейс або міжмережевий інтерфейс. Мережевий інтерфейс – телекомунікаційний

роз'єм, до якого під'єднано пристрій користувача. Міжмережвий інтерфейс – кінцеве мережеве обладнання, яке забезпечує з'єднання мереж.

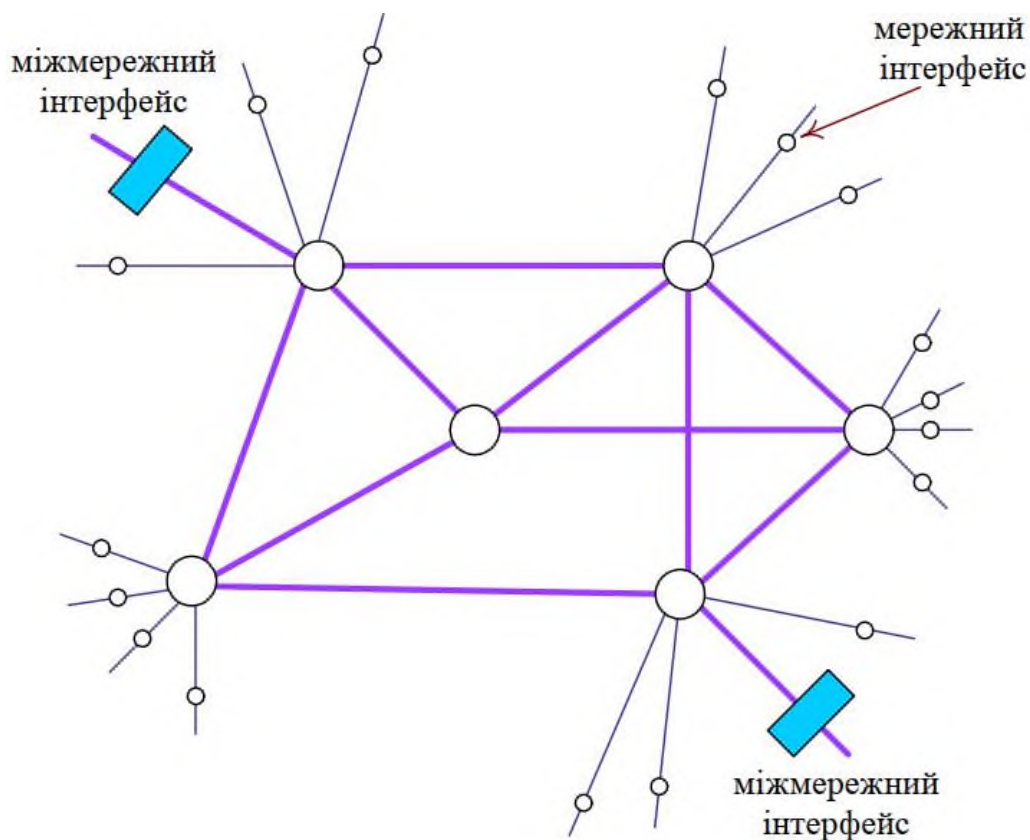


Рис. 1.1. Телекомунікаційна мережа

1.2 Інформаційна мережа

Інформаційна мережа – це мережа, призначена для обробки, зберігання та передачі даних. Поняття «інформаційна мережа», на відміну від поняття «телекомунікаційна мережа», є більш містким та узагальненими й відображає різноманіття інформаційних процесів, які протікають в мережі. Ці процеси виникають у результаті взаємодії кінцевих систем, під'єднаних до телекомунікаційної мережі.

Інформаційні процеси в мережі можна поділити на дві групи: прикладні процеси та процеси взаємодії. Прикладні процеси ініціюються кінцевими системами під час запуску програм користувача. Процеси взаємодії – це процеси в мережі, призначені для обслуговування прикладних процесів. Наприклад, визначення форматів подання інформації для передачі мережею, встановлення режимів передавання даних, визначення маршрутів просування інформації та ін. Прикладні процеси та процеси взаємодії підтримуються мережевими операційними системами.

Інформаційні мережі можуть бути класифіковані таким чином:

- термінальні системи – ПК користувачів мережі;
- хостингові системи – ПК, де розміщено програмні та інформаційні мережі;
- комп'ютерні – сервери, де інстальовано спеціальне програмне забезпечення, дає змогу надавати мережеві сервіси;
- адміністративні системи – забезпечують роботу застосувань керування мережею.

Інформаційну мережу доцільно характеризувати за складом ресурсів. Ресурси інформаційної мережі поділяють на інформаційні, ресурси обробки та зберігання даних, програмні та комунікаційні.

Інформаційні ресурси — це індивідуальні та колективні експертні знання, окремі документи, масиви документів і документи та їх масиви, з яких складаються бази та банки даних, бази знань, електронні бібліотечні системи, бібліотеки, архіви, фонди, інформаційні системи та інші системи у визначеній предметній тематичній області, які відповідають функціональним потребам та запитам користувачів інформації.

Ресурси обробки та зберігання даних – це продуктивність процесорів та обсяги пам'яті комп'ютерів, які працюють у мережі, а також час, протягом якого вони використовуються.

Програмні ресурси – це все програмне забезпечення, за допомогою якого забезпечується функціонування мережі.

Комунікаційні ресурси – ресурси телекомунікаційної мережі. Вони беруть участь у транспортуванні й перерозподілі потоків інформації в мережі. Основними серед яких є пропускні спроможності ліній зв'язку та устаткування вузлових пунктів, а також час їх використання під час взаємодії користувача з мережею.

Під інформаційною мережею як фізичним об'єктом слід розуміти сукупність територіально розрізаних кінцевих систем, об'єднаних телекомунікаційною мережею, за допомогою якої забезпечується взаємодія прикладних процесів, активізованих у кінцевих системах, та їх колективний доступ до ресурсів мережі.

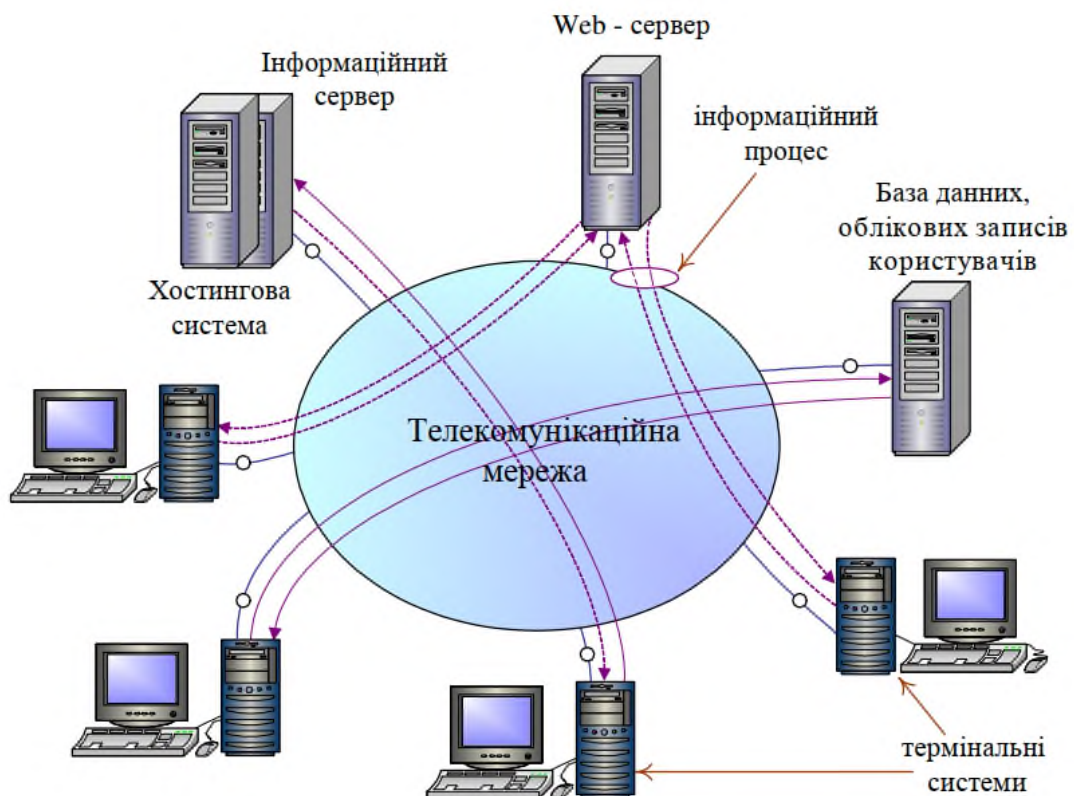


Рис.1.2. Інформаційна мережа

Уся інтелектуальна робота в інформаційній мережі виконується на периферії, тобто в кінцевих системах мережі, а телекомунікаційна мережа, хоча й займає центральне положення, є лише з'єднювальним компонентом (рис. 1.2). Телекомунікаційна мережа, як їй і належить, у складі інформаційної мережі виконує функції транспортувальної системи. Термін інформаційна мережа акцентує увагу на інформаційних процесах, що виникають у мережі під час взаємодії кінцевих систем через телекомунікаційну мережу. Опис цієї взаємодії демонструє всю складність організації зв'язку як у режимі запит-відповідь, так і в реальному масштабі часу. Основною вимогою, якій повинна відповідати інформаційна мережа, є забезпечення користувачів ефективним доступом до ресурсів.

1.3 Параметри ефективності телекомунікаційної мережі

Телекомунікаційні мережі характеризують за показниками, які відображають у цілому можливість і ефективність транспортування інформації. Можливість транспортування інформації в телекомунікаційній мережі пов'язана зі ступенем її функціональності в часі, тобто виконанням заданих функцій в повному обсязі з необхідним рівнем якості протягом певного періоду експлуатації мережі або в конкретний момент часу.

Працездатність мережі пов'язана з поняттями надійності та живучості. Різниця між цими поняттями зумовлена, насамперед, відмінностями причин та факторів, які порушують нормальну роботу мережі, та специфікою порушень.

Надійність мережі зв'язку характеризується здатністю забезпечувати зв'язок, зберігаючи в часі значення встановлених показників якості в заданих умовах експлуатації. Вона відображає вплив на працездатність мережі передусім внутрішніх чинників: випадкових відмов технічних засобів, спричинених процесами старіння, дефектами технології виготовлення або

помилками обслуговуючого персоналу. Показниками надійності є, наприклад, відношення часу працездатності мережі до загального часу її експлуатації, ймовірність безвідмовного зв'язку та ін.

Важливим показником є також кількість незалежних шляхів передавання інформаційного повідомлення, які можуть бути визначені між парою пунктів мережі.

Живучість мережі зв'язку характеризується здатністю зберігати повну або часткову функціональність під впливом руйнуючих причин, які виникають поза межами мережі й призводять до виходу з ладу чи значних пошкоджень деякої частини елементів мережі. Виокремлюють два типи таких причин: стихійні та навмисні. До стихійних чинників відносяться: землетрус, повіні та інші форсмажорні обставини, до навмисних – пошкодження мережі в наслідок злочинних дій.

Живучість мережі можуть характеризувати такі показники, які визначають:

- ймовірність того, що між будь-якими пунктами мережі можна передати обмежений обсяг інформації після впливу руйнівних факторів;
- мінімальну кількість пунктів, ліній мережі, вихід з ладу яких призводить до порушення зв'язності мережі відносно довільної пари пунктів;
- середню кількість пунктів, які залишаються зв'язними при одночасному пошкодженні декількох ліній зв'язку та ін.

Пропускна здатність мережі. У тих випадках, коли мережа не може обслуговувати необхідне навантаження, говорять про обсяг реалізованого навантаження в мережі. Величина реалізованого мережею навантаження визначає її пропускну здатність і в ряді випадків може бути оцінена кількісно. Оцінка пропускну здатності мережі значною мірою пов'язана з параметрами якості обслуговування, тому що реалізація конкретного навантаження має здійснюватися відповідно до заданих параметрів якості.

Якість обслуговування визначається сукупністю показників, які вказують на рівень відповідності телекомунікаційної мережі нормам експлуатації та вимогам користувачів.

Рентабельність і вартість. Телекомунікаційна мережа є рентабельною, якщо дохід від наданих користувачам послуг більший за витрати на організацію і забезпечення працездатності мережі. Основна економічна характеристика мережі – це зведені витрати, які визначають її вартість з урахуванням експлуатації й керування.

1.4 Параметри оцінки ефективності інформаційної мережі

Уявлення користувача про рівень продуктивності інформаційної мережі як системи розподільчих ресурсів складається з оцінки таких параметрів, як час реакції мережі, затримка передачі і варіація затримки передачі, а також прозорість.

Час реакції мережі визначається як інтервал часу між поданням запиту користувача до певної мережевої служби і отриманням відповіді на цей запит. Значення цього показника залежить від типу служби, до якої звертається користувач, від того, до якої категорії належить користувач та якою є продуктивність сервера, куди він звертається, а також від ступеня завантаженості елементів мережі, через які проходить його запит.

Затримка передачі – час між моментом надходження пакету даних на вхід будь-якого мережевого пристрою або фрагмента мережі і моментом виходу з неї. Цей параметр по суті характеризує етапи тимчасової обробки пакетів при проходженні їх мережею. При цьому продуктивність мережі оцінюється, як правило, максимальною затримкою передачі та варіацією затримки.

Варіація затримки характеризує коливання затримки в часі. Великий діапазон в значеннях затримки негативно позначається на якості наданої

користувачеві інформації при передаванні чутливих до затримки видів трафіку, таких як відеодані, мовленнєвий трафік. Це супроводжується виникненням «відлуння», нерозбірливістю мови, тремтінням зображення та інших перешкод.

Прозорість характеризується властивістю мережі приховувати від користувача принципи її внутрішньої організації. Користувач не повинен знати місцезнаходження програмних та інформаційних ресурсів. Для роботи з віддаленими ресурсами мережі він повинен використовувати ті ж самі команди й процедури, що й для роботи з ресурсами свого комп'ютера. Вимога до прозорості забезпечує користувачам зручність і простоту роботи в мережі.

1.5 Керування трафіком в комп'ютерних мережах

Інтернет-трафік — обсяг інформації, переданої через комп'ютерну мережу за певний період часу. Кількість трафіку вимірюється як в пакетах, так і в бітах, байтах і їх похідних. Трафік також включає відношення між спробами виклику обладнання, чутливого до трафіку, і швидкістю виконання цих викликів. Аналіз трафіку дає можливість визначити необхідну ширину смуги пропускання каналів передачі даних і голосових викликів. Проектування трафіку направлено на вирішення проблем якості зв'язку.

Трафік поділяється на:

- вихідний – інформація, яка надходить в зовнішню мережу;
- вхідний – інформація, яка надходить із зовнішнього мережі;
- внутрішній – в межах певної мережі, найчастіше локальної;
- зовнішній – за межами певної мережі.

Управління трафіком є одним з ключових завдань при забезпеченні заданої якості обслуговування мережі передачі даних. Під управлінням трафіком слід розуміти сукупність алгоритмічних засобів, реалізованих як

апаратно, так і програмно, спрямованих на забезпечення функціонування даної мережі з необхідною якістю обслуговування і ефективним використанням ресурсів. З точки зору топології мережі, управління трафіком включає в себе мережеве планування і оптимізацію. Планування мереж є процесом, в результаті якого визначається топологія мережі і пропускна спроможність ліній, при цьому повинні братися до уваги обсяги передбачуваного трафіку, можливі темпи його зростання і т.д. Під оптимізацією мається на увазі управління розподілом трафіку в існуючій мережі.

Як і в будь-якій пакетній мережі, що забезпечує якість обслуговування, для реалізації останнього необхідне використання певної функції «управління допустимістю з'єднання» (*Connection Admission Control, CAC*). Ця функція є набором дій, здійснюваних мережею під час фази встановлення нового з'єднання або відновлення з'єднання з метою визначення, чи можлива його підтримка з необхідними параметрами і якістю обслуговування чи ні. Нове з'єднання може бути підтримано мережею тільки в тому випадку, якщо в наявності є відповідні ресурси, вимоги щодо якості обслуговування існуючих з'єднань виконуються, і нове з'єднання їх не порушить. Найважливішою частиною процесу обробки пакетів з метою забезпечення якості обслуговування в мережі Інтернет, є алгоритм керування чергою в буферах мережевого обладнання. Під алгоритмом управління чергою розуміється набір методів, які керують надходженням, зберіганням і передачею на обслуговування пакетів, що надходять в систему. Вибір алгоритму керування чергою є дуже складним, тому що кожен тип цих алгоритмів володіє як перевагами, так і недоліками. У зв'язку з тим, що трафік і якість його обслуговування є різноманітним, очевидно наявність пріоритетів при його обслуговуванні. Пакети з різними пріоритетами в маршрутизаторах повинні поміщатися в різні черги, в зв'язку з чим завдання розподілу часу центрального процесора маршрутизатора стає актуальним.

У теорії масового обслуговування вимірюється інтенсивність трафіку. Інтенсивність трафіку – це відношення кількості викликів за певний період часу до середнього часу, що витрачається на обслуговування кожного виклику протягом цього періоду. Ці одиниці виміру засновані на середньому часі утримання (*Average Hold Time, АНТ*). *АНТ* – це сумарна тривалість всіх викликів за вказаний період, поділена на кількість викликів за цей період. Дві основних одиниці виміру, які використовуються сьогодні для вимірювання навантаження трафіку, – це Ерланг і сто викликосекунд (*centum call seconds, CCS*). Один Ерланг – це 3600 секунд викликів в одному каналі або інтенсивність трафіку, достатня для завантаження каналу протягом 1 години. *CCS* – це 100 секунд викликів в одному каналі. Вибір одиниці виміру залежить багато в чому від використовуваного обладнання та одиниць вимірювання, в яких ведеться запис. Викликосекунди застосовуються в багатьох комутаторах з тієї причини, що число 100 є більш практичною базовою одиницею періоду, ніж 3600. Обидві одиниці виміру вважаються стандартними в цій сфері. Вони співвідносяться наступним чином, 1 Ерланг дорівнює 36 *CCS*.

Управління інтенсивністю здійснюється з метою зміни параметрів вхідного трафіка відповідно до заданого профілю, зазначеного в *SLA*. У відповідності зі схемою організації управління інтенсивністю (рис. 1.3) потік даних, виділений класифікатором із вхідного трафіка на підставі певної ділянки заголовка пакета, прямує на вхід вимірювача. Вимірювач порівнює часові характеристики потоку із заявленими в *SLA*, використовуючи, наприклад, алгоритми «кошика маркерів», «дірявого відра» або їх різновидів. Надалі ця інформація подається на входи маркувальника та фільтра/формувача.

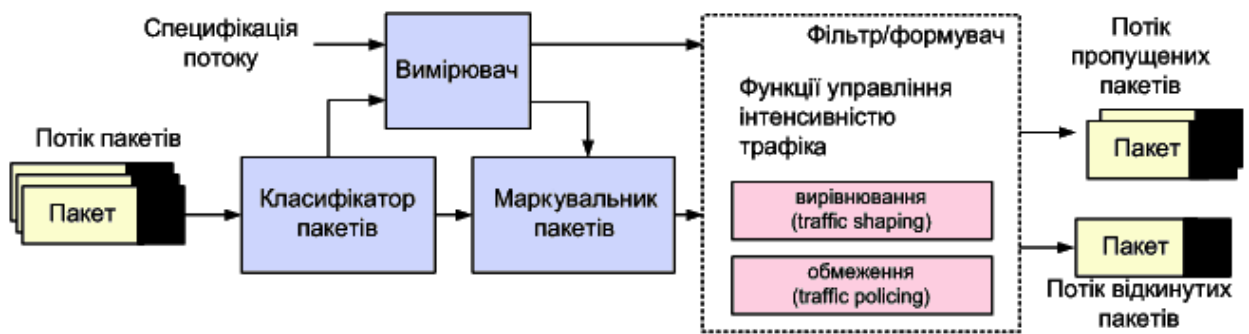


Рис. 1.3. Схема управління інтенсивністю трафіка

Маркувальник встановлює значення, наприклад, поля *DSCP* оброблюваного пакета, зараховуючи його до певного класу обслуговування. Призначене значення *DSCP* залежить як від результатів класифікації, так і від стану вимірювача. Наприклад, пакети, параметри яких не відповідають профілю потоку, маркуватимуться значенням *DSCP*, що дає менший пріоритет обслуговування.

Надалі марковані пакети потрапляють на вхід фільтра/формувавча, що реалізує функції управління інтенсивністю трафіка. Основними функціями формування трафіка є його вирівнювання і обмеження. Незважаючи на однакове призначення, названі вище функції відрізняються способом обробки пакетів трафіка в момент порушення параметрів профілю, зазначених у *SLA*.

Вирівнювання інтенсивності трафіка дозволяє усунути сплески й тим самим зменшити ймовірність втрат пакетів даних; реалізується шляхом буферизації (рис. 1.4).

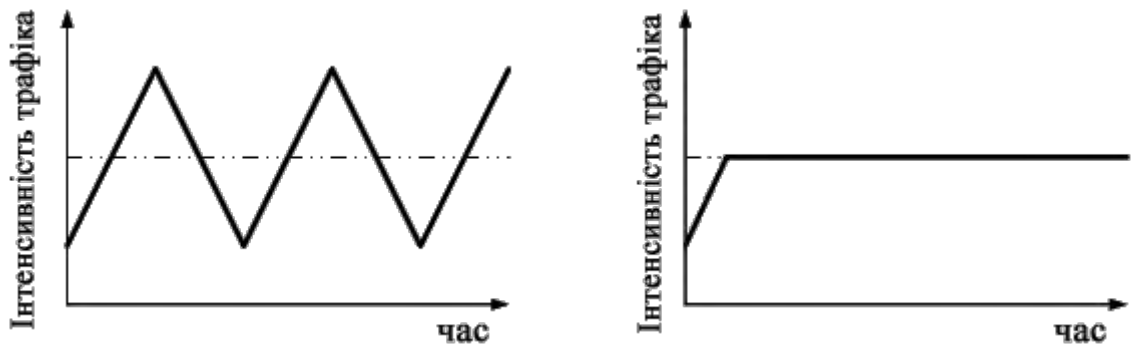


Рис.1.4. Приклад керування інтенсивністю трафіка вирівнюванням

Обмеження інтенсивності трафіка полягає у відкиданні пакетів, які не задовольняють заданим в *SLA* параметрам (рис. 1.5), і здійснюється, наприклад, за допомогою механізму узгодження швидкості доступу — *CAR*.

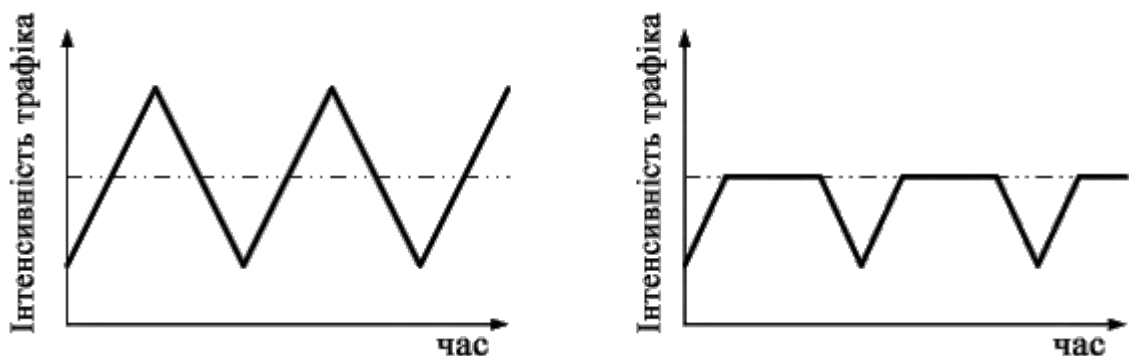


Рис.1.5. Приклад керування інтенсивністю трафіка обмеженням

1.6 Принцип роботи мультисервісної мережі

Мережа наступного покоління (*NGN*)- це мультисервісна мережа зв'язку, ядром якої є опорна *IP*-мережа, що підтримує повну або часткову інтеграцію послуг передачі мови, даних і мультимедіа. Мережі нового покоління (рис. 1.6) створені для того, щоб подолати архітектурні обмеження, властиві традиційним фіксованим телефонним мережам. Це

досягається за рахунок реорганізації мережевої архітектури, виділення нового рівня управління послугами, злиття телефонії та інформаційних технологій, і використання відкритих протоколів.



Рис. 1.6 Схема NGN-мережі

Мережа *NGN* – відкрита, стандартна пакетна інфраструктура, яка здатна ефективно підтримувати всю гаму існуючих додатків і послуг, забезпечуючи необхідну масштабованість і гнучкість, дозволяючи реагувати на нові вимоги по функціональності і пропускної здатності. Нові мережі включають в свій склад всі компоненти, що необхідні для задоволення найрізноманітніших потреб користувачів.

Основне завдання мультисервісних мереж полягає в забезпеченні роботи різноманітних інформаційних і телекомунікаційних систем і додатків в єдиному транспортному середовищі, коли для передачі звичайного трафіку

(даних) і трафіку іншої інформації (мови, відео та ін.) використовується єдина інфраструктура.

Мультисервісна мережа використовує єдиний канал для передачі даних різних типів, дозволяє зменшити різноманітність типів обладнання, застосовувати єдині стандарти, технології і централізовано керувати комунікаційним середовищем.

Інтерактивні мультисервісні мережі надають абонентам широкий спектр послуг: пакети аналогового і цифрового телебачення, потокове мовлення, Інтернет, телефонію, відеоконференцію, голосування та опитування населення, відеотелефонію, відео на вимогу, дистанційне навчання, медичні консультації, оплату комунальних послуг з автоматичним зніманням показань із лічильників води, тепла і електроенергії, охоронну сигналізацію, відеоспостереження та ін.

Основними складовими мультисервісної мережі є: телепорт, транспортна мережа і кластери. Топологія мережі визначається специфікою місцевості, на якій вона розгортається.

Телепорт – єдиний центр управління, отримання, обробки, створення і передачі інформації. Телепорт будується за модульною технологією з можливістю поетапного нарощування послуг, що надаються. Він формується з обладнання і програмного забезпечення для організації прийому ефірних і супутникових ТВ- і радіопрограм; формування студійних програм; підключення до телефонної мережі; підключення до мережі Інтернет; збору і обробки даних телеметрії (показання датчиків води, електрики і т.п.); збору і обробки даних відеоспостереження і датчиків пожежоохоронної сигналізації; моніторингу, контролю та управління станом мережі і доступом до інформаційних потоків; та інших видів послуг.

Транспортна мережа – двоспрямована широкопasmутова магістральна кабельна мережа, побудована за оптоволоконною технологією зі структурою «кільце» або «зірка». На транспортній мережі розташовуються вузли

введення-виведення і обробки інформації, до яких здійснюється підключення телепорту і кластерів.

Кластери – групи абонентів кількістю від 500 до 2000, територіально розташованих в безпосередній близькості один від одного, і охоплюються інтерактивною розподільною мережею.

Базовими поняттями для мультисервісних мереж виступають *QoS (Quality Of Service)* і *SLA (Service Level Agreement)*, тобто якість обслуговування і договір про рівень надання послуг мережі. Перехід до нових мультисервісних технологій змінює саму концепцію надання послуг, коли якість гарантується не тільки на рівні договірних угод з постачальником послуг і вимог дотримання стандартів, але і на рівні технологій і операторських мереж. Архітектурно в структурі мультисервісної мережі можна виділити кілька основних рівнів: магістральний, рівень розподілу і агрегування і рівень доступу (рис.1.7). Магістральний рівень являє собою універсальну високошвидкісну і по можливості однорідну платформу передачі інформації, реалізовану на базі цифрових телекомунікаційних каналів. Рівень розподілу включає вузлове обладнання мережі оператора, а рівень агрегування виконує завдання агрегації трафіку з рівня доступу і підключення до магістральної мережі. Рівень доступу включає корпоративні або внутрішньо будинкові мережі, а також канали зв'язку, що забезпечують їх підключення до вузлів розподілу мережі.

Мультисервісні мережі можна будувати на базі найрізноманітніших технологій, як на платформі *IP (IP VPN)*, так і на основі виділених каналів зв'язку. На магістральному рівні найбільш популярні сьогодні технології *IP / MPLS, Packet over SONET / SDH, POS, ATM, xGE, DWDM, CWDM, RPR*. Велика частина магістральних мультисервісних мереж сьогодні будується на основі технологій *POS, DWDM*, а також *IP / MPLS*, які вважаються особливо перспективними при значній широті охоплення і великій кількості споживачів.

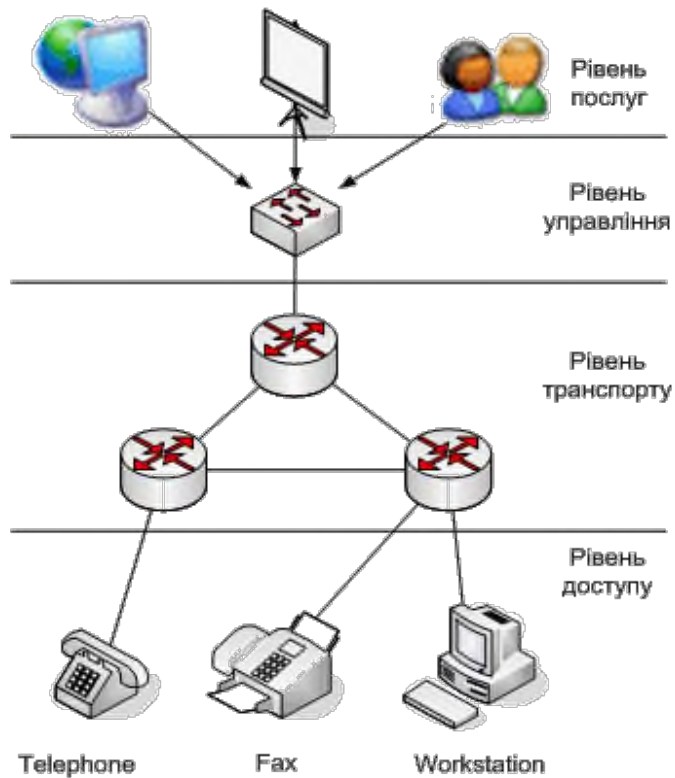


Рис. 1.7. Рівні мультисервісної мережі

Основним принципом концепції *NGN* є відокремлення функцій транспортування, функцій керування викликами та функцій керування послугами. Багаторівневу архітектуру концепції *NGN* подано на рисунку 1.8.

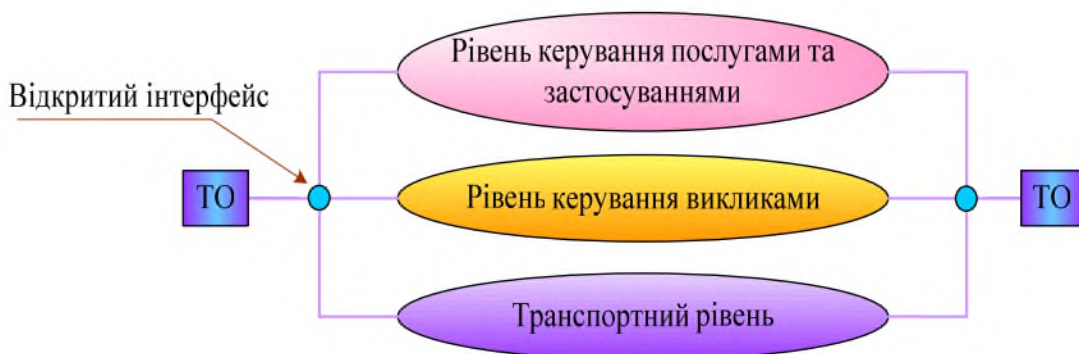


Рис. 1.8. Багаторівнева архітектура концепції *NGN*

Основними завданнями транспортного рівня є прозоре передавання інформаційних потоків, а також підтримка взаємодії з наявними мережами зв'язку. На рівні керування викликами обробляють інформацію сигналізації та керування комутацією й передаванням. Рівень керування послугами забезпечує керування логікою послуг та застосовань. Такий функціональний розподіл дає змогу уніфікувати завдання, пов'язані з керуванням викликами, відокремивши їх від особливостей застосовуваних транспортних технологій, та використовувати однакову логіку формування послуги незалежно від типу транспортної мережі та мережі доступу.

1.7 Трафік в мультисервісних мережах

Мультисервісна мережа повинна гарантувати надання послуг з певною якістю для кожної вимоги, забезпечуючи семантичну і тимчасову прозорість з'єднання. Семантична прозорість – це здатність мережі забезпечувати доставку інформації від джерела до адресата з прийнятним для даної служби рівнем помилок. Часова прозорість – властивість мережі забезпечувати такі значення затримки і джиттера, які задовольняють вимогам якості обслуговування користувачів. Джиттер – небажані фазові або частотні відхилення сигналу, що передається.

1.7.1 Вимоги до семантичної прозорості

Будь-які реальні системи передачі вносять помилки, викликані, наприклад, перешкодами, спотвореннями сигналів, шумами, завмираннями, частота і природа яких можуть бути різними. Рівень помилок визначає правильність прийому інформації. Якість цифрових систем передачі визначається коефіцієнтом помилок по бітам, величина якого сходиться до ймовірності помилкового прийому двійкового символу $P_{ПБ}$:

$$P_{\text{пб}} = \lim_{n_{\Sigma} \rightarrow \infty} (n_{\text{пб}}/n_{\Sigma}) \quad (2.1)$$

де $n_{\text{пб}}$ – кількість прийнятих бітів з помилками;

n_{Σ} – загальна кількість бітів, переданих джерелом.

У мережах з пакетною комутацією використовується показник якості – ймовірність спотворення пакету $P_{\text{пак}}$:

$$P_{\text{пак}} = \lim_{n_{\Sigma\text{пак}} \rightarrow \infty} (n_{\text{пак}}/n_{\Sigma\text{пак}}) \quad (2.2)$$

Наслідки помилок при пакетній комутації призводять до втрати пакетів або до передачі їх не за призначенням. Імовірність втрати пакета $P_{\text{вп}}$ через помилки маршрутизації або перевантажень буферів в комутаційних вузлах визначається виразом:

$$P_{\text{вп}} = \lim_{n_{\Sigma\text{пак}} \rightarrow \infty} (n_{\text{вп}}/n_{\Sigma\text{пак}}) \quad (2.3)$$

де $n_{\text{вп}}$ – кількість втрачених пакетів;

$n_{\Sigma\text{пак}}$ – загальна кількість переданих пакетів.

При досить великому часі спостереження, імовірність помилкової доставки пакета $P_{\text{пд}}$ через спотворення заголовка визначається виразом

$$P_{\text{пд}} = \lim_{t \rightarrow \infty} (n_{\text{пд}}/n_{\Sigma\text{пак}}) \quad (2.4)$$

де $n_{\text{пд}}$ – кількість пакетів, доставлених не за адресою;

$n_{\Sigma\text{пак}}$ – кількість пакетів, прийнятих за час t .

Помилки виникають як через порушення функціонування технічних засобів доставки інформації, так і в процесі передачі в фізичному середовищі.

1.7.2 Вимоги до часової прозорості

Затримка доставки – це інтервал між початком передачі пакета джерелом і закінченням прийому одержувачем. Дуже важливо, щоб вимоги до часу доставки відповідали нормам для тих служб, які надають послуги в реальному часі, а саме: телефонії, відеотелефонії, організації розподілених обчислень.

Випадкова величина часу затримки t_3 в мережі є сумою випадкових значень затримки в об'єктах мережі, через які проходить віртуальне з'єднання і визначається наступним співвідношенням:

$$t_3 = t_3^{\text{пак}} + \sum_{i=1}^M t_{j,i}^P + \sum_{j=1}^N (t_{j,i}^{\text{ком}}) + t_{j,i}^{\text{оч}}, \quad (2.5)$$

де M – кількість ланок у віртуальному з'єднанні;

N – кількість вузлів комутації;

$t_3^{\text{пак}}$ – час пакетизації, введення інформації користувача в фрейм, що підлягає передачі;

$t_{j,i}^P$ – час поширення сигналу в i -ій ланці;

$t_{3,j}^{\text{ком}}$ – час обслуговування фрейма в j -му комутаційному пристрої за умови відсутності черги;

$t_{j,j}^{\text{оч}}$ – час очікування фрейму в черзі в j -му комутаційному пристрої.

Це співвідношення предствляє адекватну модель часу затримки, якщо процеси обробки в комутаційних пристроях і доставки в окремих ланках є статистично незалежними. Для встановленого віртуального з'єднання три складових часу доставки – затримка пакетизації, поширення та обслуговування фреймів в комутаційному пристрої за відсутності черги – практично постійні. Тому обгрунтованим є припущення про те, що дисперсія часу доставки визначається в основному дисперсією часу очікування в чергах

комутаційних пристроїв даного віртуального з'єднання. На цій підставі вважають, що джиттер часу доставки визначається тільки чергами в комутаційних пристроях, де фрейми очікують передачі в потрібному напрямку.

Вимоги різних служб до якості доставки інформації можуть істотно відрізнятися одна від одної, що показано в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1

Вимоги служб до якості доставки інформації

Вид служби	Імовірність помилки на біт	Імовірність втрати фрейма	Імовірність помилки адресації	Затримка, мс
Телефонія	10^{-7}	10^{-3}	10^{-3}	25мс/500мс
Передача даних	10^{-7}	10^{-6}	10^{-6}	50мс/1000мс
Управління обробкою в розподілених базах даних	10^{-5}	10^{-3}	10^{-3}	1000 мс
Звуковий сигнал з високою точністю відтворення	10^{-5}	10^{-7}	10^{-7}	1000 мс
Телевізійне мовлення	10^{-6}	10^{-8}	10^{-8}	1000 мс

При діалозі в телефонії важлива загальна затримка доставки, яка не повинна перевищувати 25 мс відповідно до рекомендації МСЕ-Т G.164. Велика величина затримки призводить до необхідності застосування ехоподавлювачів. Використання ехоподавлювачів ефективно при загальній затримці до 150 мс.

Як видно з даних таблиці, найбільш критична до бітових помилок і до затримки служба телефонії як представник інтерактивних служб реального часу. Служба телевізійного мовлення найбільш критична до втрати фреймів і до помилок їх адресації. В кінці минулого століття МСЕ-Т уточнив вимоги до затримки для служби ПД в сторону її зменшення до 50 мс, щоб забезпечити взаємодію розподілених баз даних.

Одне з основних понять в описі мультисервісних мереж – швидкість передачі служби. У рекомендаціях МСЕ-Т вона визначається як швидкість передачі інформації, доступна користувачу даної служби. Всі служби діляться на дві групи: з постійною швидкістю передачі, і зі змінною швидкістю передачі.

Якщо джерело генерує інформацію зі змінною швидкістю передачі, то швидкість передачі може характеризуватися піковою і середньою величинами, як показано на рисунку 1.9.

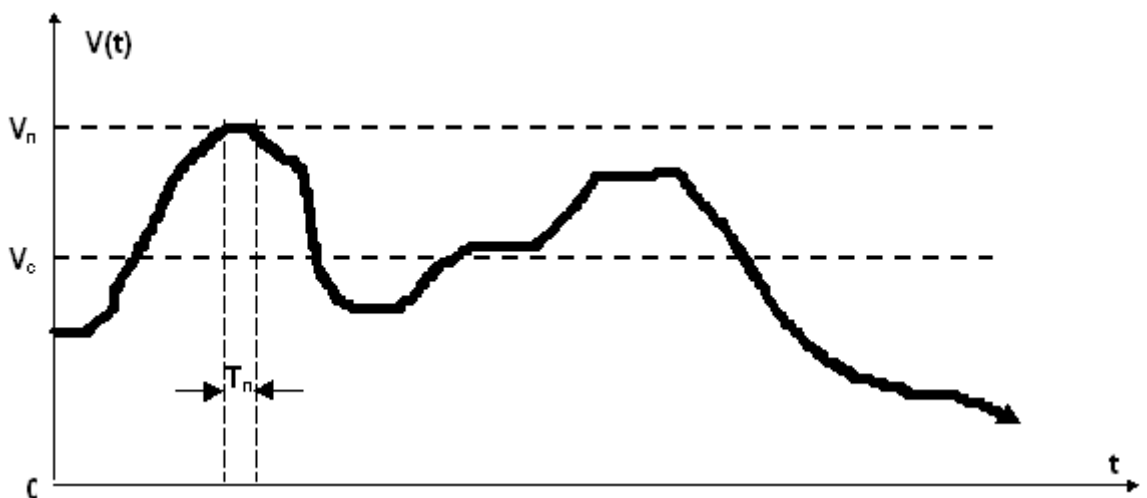


Рис.1.9. Характеристика швидкості джерела

Джерела, які генерують інформацію зі змінною швидкістю, характеризуються коефіцієнтом пачковості і середньою тривалістю піку. Пікова, середня швидкість і коефіцієнт пачковості джерел характеризують

конкретну службу, хоча стохастичні процеси від сеансу до сеансу можуть відрізнятися.

Якщо канал використовує джерело будь-якої служби, що генерує інформацію зі змінною швидкістю, то в моменти перевищення $V(t)$ максимально допустимого значення V_{max} якість обслуговування знижується.

1.8 Висновки до розділу

Телекомунікаційна мережа – виконує функції транспортувальної системи інформаційна мережа використовує телекомунікаційну мережу для транспортування інформації. Інформаційна мережа відображає інформаційні процеси, які протікають в мережі телекомунікаційній мережі. Мережі характеризують за показниками, які відображають ефективність і якість передачі інформації. Проектування та керування трафіком направлено на вирішення завдань при забезпеченні заданої якості обслуговування мережі.

Мультисервісна мережа забезпечує пакетне передавання всіх видів трафіку з різними вимогами до якості обслуговування й надає користувачам можливість вільного доступу до мереж і до послуг постачальників конкурентів та до послуг з їх вибором.

РОЗДІЛ 2
МАТЕМАТИЧНИЙ АПАРАТ МОДЕЛЮВАННЯ ФУНКЦІОНУВАННЯ
СИСТЕМ ТА МЕРЕЖ

2.1 Система масового обслуговування

Система масового обслуговування (СМО) – це складна система, що складається з одного або декількох джерел запитів на виконання певних дій, декількох приладів обслуговування, що виконують ці дії відповідно до певних правил обслуговування за запитами, що надійшли в систему. Основними елементами системи є: вхідний потік вимог, канали обслуговування, черга вимог, вихідний потік вимог (рис. 2.1).

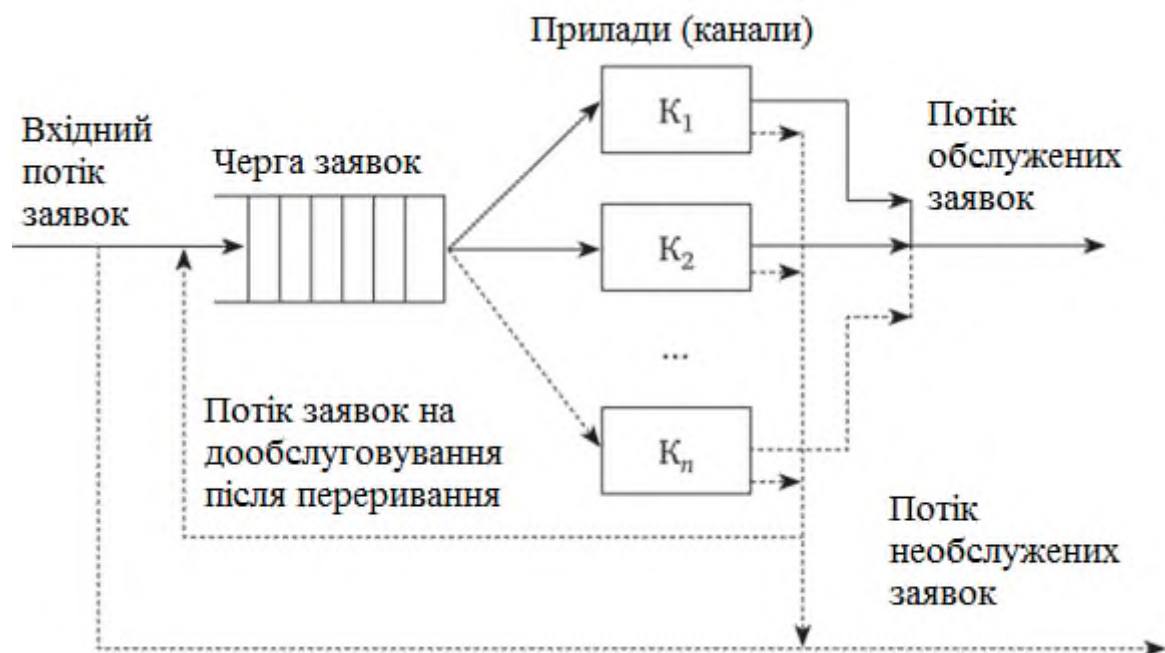


Рис. 2.1. Принцип роботи СМО

Вимога – об'єкт, що надходить в СМО і потребує обслуговування. Вимоги на обслуговування надходять через дискретні інтервали часу.

Сукупність послідовних заявок на обслуговування, розподілених у часі, утворюють вхідний потік заявок. Канал – елемент СМО, призначенням якого є обслуговування заявок. Обслуговування триває деякий час, постійний або випадковий. Якщо обслуговування заявки переривається, то заявка потрапляє на дообслуговування

Випадковий характер потоку заявок та часу обслуговування призводить до того, що в деякі моменти часу на вході СМО може виникнути черга, в інші моменти – канали можуть бути недозавантаженими або взагалі простоювати. Якщо у момент надходження заявки всі прилади зайняті, заявка копіюється у комірку буфера і чекає там початку обслуговування. Заявки, що знаходяться в буфері, складають чергу на обслуговування. Якщо всі комірки буфера зайняті, заявка отримує відмову в обслуговуванні і втрачається.

Процес роботи СМО представляє собою випадковий процес з дискретними станами та неперервним часом. Стан СМО змінюється стрибкоподібно в моменти надходження нової або закінчення обслуговування вимоги.

З вимог, які вже обслужені, формується вихідний потік.

Кожна СМО, залежно від кількості каналів, їх продуктивності, характеру потоку заявок, має деяку пропускну здатність, яка дозволяє їй більш чи менш успішно справлятися з потоком вимог.

Задача теорії масового обслуговування полягає в побудові моделей, які пов'язують задані умови роботи СМО з показниками ефективності системи, що описують її спроможність впоратися з потоком вимог. Ефективність обслуговуючої системи – характеристика рівня виконання функцій, для яких призначена система.

Існує безліч систем масового обслуговування, що відрізняються структурною і функціональною організацією. У той же час розробка аналітичних методів розрахунку показників функціонування СМО в багатьох випадках передбачає наявність ряду обмежень і припущень, які звужують

безліч досліджуваних СМО. Загальної аналітичної моделі для довільної СМО складної структури не існує.

Сукупність рівнянь або формул, що дозволяють визначати ймовірності станів системи в процесі її функціонування і показники ефективності за відомими параметрами вхідного потоку і каналів обслуговування, дисциплін буферизації і обслуговування називається аналітичною моделлю СМО.

При реалізації СМО приймаються наступні обмеження і допущення:

- надійшла в систему заявка миттєво потрапляє на обслуговування, якщо в черзі немає заявок і прилад вільний;
- в приладі на обслуговуванні в кожен момент часу може знаходитися тільки одна заявка;
- після закінчення обслуговування будь-якої заявки в приладі чергова заявка вибирається з черги на обслуговування миттєво, тобто, прилад не простоювали, якщо в черзі є хоча б одна заявка;
- надходження заявок в СМО і тривалості їх обслуговування не залежать від числа заявок, що вже знаходяться в системі, або від будь-яких інших чинників;
- тривалість обслуговування заявок не залежить від інтенсивності надходження заявок в систему.

2.2 Класифікація систем масового обслуговування

Системи масового обслуговування класифікують за різними ознаками.

Перша класифікація за наявністю черг:

- системи з відмовами – заявка, яка надійшла в момент, коли всі канали зайняті, отримує відмову, покидає СМО і надалі не обслуговується;
- системи з очікуванням – заявка, що прийшла в момент, коли всі канали зайняті, не відкидається, а стає в чергу і чекає можливості бути обслуженою.

Системи з очікуванням в свою чергу класифікують:

а) за довжиною черги – з обмеженою довжиною черги, які допускають чергу, але з обмеженим числом місць в ній;

б) за часом очікування – з обмеженим часом очікування, що допускають чергу, але з обмеженим терміном перебування кожної вимоги в ній;

в) за дисципліною обслуговування (Рис. 2.2) – з обслуговуванням по пріоритету, що допускають чергу, але деякі заявки обслуговуються поза чергою.

- *FIFO (First Input – First Output)*: першим прийшов – першим обслужений;
- *LIFO (Last Input – First Output)*: останнім прийшов – першим обслужений;
- *FIRO (First Input – Random Output)*: першим прийшов – обслужений у випадковому порядку;

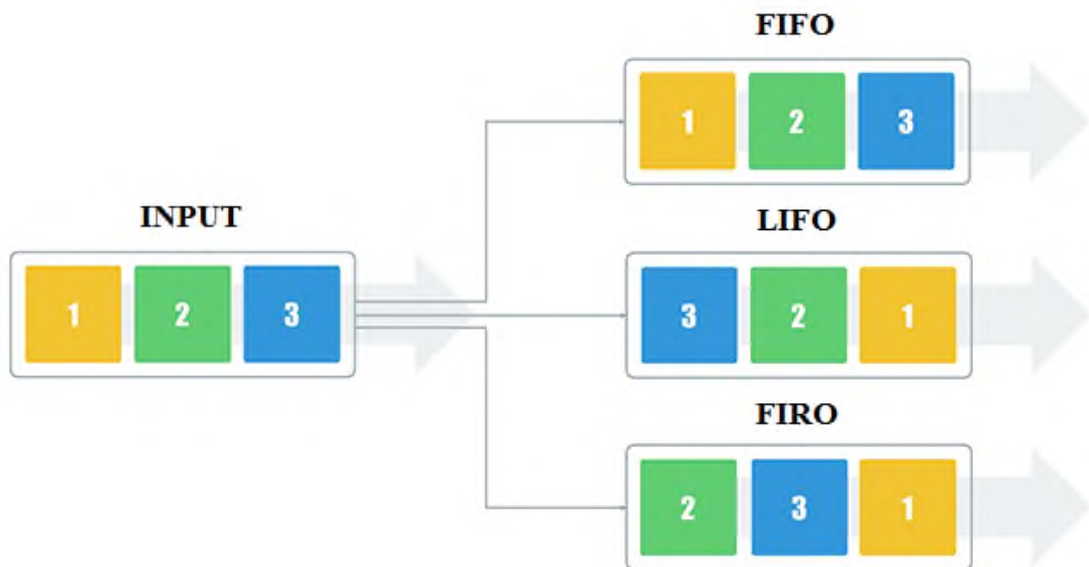


Рис. 2.2. Принцип роботи дисципліни обслуговування

За числом каналів обслуговування розрізняють одноканальні та багатоканальні СМО.

За місцем знаходження джерела вимог СМО бувають:

– розімкнені, коли джерело знаходиться поза системою.

Характеристики потоку заявок в такій системі не залежать від того, в якому стані сама СМО, тобто скільки каналів у ній зайнято;

– замкнуті, коли джерело знаходиться в самій системі. У такому разі – залежать від стану. На рисунку нижче зображені основні типи СМО.

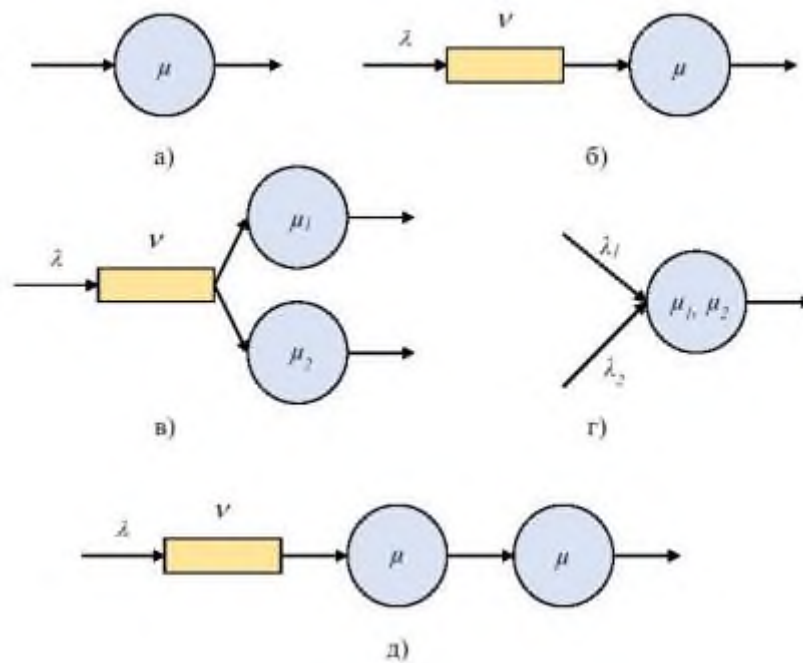


Рис. 2.3. Типи систем масового обслуговування

Однією з форм класифікації систем масового обслуговування є кодова класифікація Д. Кендалла. За цією класифікацією для позначення типу СМО використовуються позначення вигляду $X/Y/N/n$. Де X – закон розподілу інтервалів надходження заявок, Y – закон розподілу часу обслуговування, N – число каналів обслуговування, n – число місць в черзі.

Позначення законів розподілу в позиціях X і Y виконується зазвичай буквами з наступного списку:

M – експоненціальний,

E^k – Ерлангівський порядку k ,

R – рівномірний,

D – детермінований – постійна величина,

G – довільний (будь-якого вигляду) і т.д.

Якщо число місць в черзі не обмежене, то позиція n не вказується.

2.3 Характеристики ефективності СМО

Усі показники якості обслуговування систем можна умовно розділити на три види.

а) Ймовірнісні характеристики:

- p_n – ймовірність того, що в системі знаходиться n запитів;

- q – ймовірність того, що запит, який надходить, буде втрачений.

б) Моментні характеристики:

- середня кількість запитів у системі

$$\bar{n} = \sum_{n=0}^{\infty} np_n \quad (2.1)$$

- середня кількість запитів у черзі:

$$\bar{v} = \sum_{n=s+1}^{\infty} (n-s)p_n, \quad (2.2)$$

де s – кількість каналів обслуговування;

- середня кількість запитів, що обслуговуються у системі,

$$\bar{j} = \sum_{n=0}^s np_n; \quad (2.3)$$

- середня кількість вільних каналів

$$\bar{r} = \sum_{n=0}^s (n - s)p_n; \quad (2.4)$$

- середній час очікування у черзі

$$\bar{\tau} = \int_0^{\infty} \tau dF(\tau), \quad (2.5)$$

де $F(\tau)$ – функція розподілу часу очікування у черзі;

- середня тривалість перебування запиту у системі

$$\bar{T} = \int_0^{\infty} T dG(T), \quad (2.6)$$

де $G(T)$ ймовірність того, що тривалість перебування в системі менша або дорівнює T .

в) Економічні характеристики якості обслуговування. Вони найчастіше подаються у вигляді узагальненого критерію, який враховує збитки, до яких призвели простої каналів та очікування запитів.

Для багатьох типів СМО вже отримані співвідношення між характеристиками потоків та параметрами СМО.

2.4 Моделі типових СМО

2.4.1 Одноканальна модель

Найпростіша одноканальна модель характеризується експоненціальним розподілом як тривалостей інтервалів між надходженнями вимог, так і тривалостей обслуговування. При цьому щільність розподілу тривалостей інтервалів між надходженнями вимог визначається за формулою

$$f_1(t) = \lambda e^{-\lambda t}, \quad (2.7)$$

де λ – інтенсивність надходження заявок в систему.

Щільність розподілу тривалостей обслуговування:

$$f_2(t) = \mu e^{-\mu t}, \quad (2.8)$$

де μ – інтенсивність обслуговування.

Потоки заявок і обслуговувань найпростіші. Нехай система працює з відмовами. Необхідно визначити абсолютну і відносну пропускну здатності системи. Таку систему масового обслуговування можна представити у вигляді графу у якого є два стани (Рис 2.4):

S_0 – канал вільний (очікування);

S_1 – канал зайнятий (заявка обслуговується).

Позначимо ймовірності станів:

$P_0(t)$ – ймовірність стану «канал вільний»;

$P_1(t)$ – ймовірність стану «канал зайнятий».

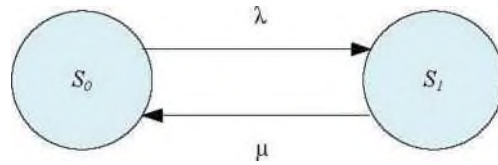


Рис. 2.4. Граф станів одноканальної СМО з відмовами

За графом станів складемо систему диференціальних рівнянь Колмогорова для ймовірностей станів:

$$\begin{cases} \frac{dP_0(t)}{dt} = -\lambda P_0(t) + P_1(t); \\ \frac{dP_1(t)}{dt} = -\mu P_1(t) + \lambda P_0(t) \end{cases} \quad (2.9)$$

з урахуванням нормованої умови

$$P_0(t) + P_1(t) = 1. \quad (2.10)$$

Розв'язок такої системи виглядає так:

$$P_0(t) = \frac{\lambda}{\lambda + \mu} e^{-(\lambda + \mu)t} + \frac{\lambda}{\lambda + \mu} \quad (2.11)$$

$$P_1(t) = 1 - P_0(t). \quad (2.12)$$

Неважко переконатися, що для одноканальної СМО з відмовами ймовірність $P_0(t)$ є ні що інше, як відносна пропускна здатність системи q .

P_0 — ймовірність того, що в момент t канал вільний і заявка, що прийшла до цього моменту, буде обслужена, а отже, для даного моменту часу t середнє відношення числа обслужених заявок до числа заявок, що надійшли

також $P_0(t)$ тобто

$$q = P_0. \quad (2.13)$$

Після закінчення великого інтервалу часу, при $t \rightarrow \infty$, досягається стаціонарний режим:

$$q = P_0 = \frac{\mu}{\mu + \lambda}. \quad (2.14)$$

Знаючи відносну пропускну здатність, легко знайти абсолютну. Абсолютна пропускну здатність – середня кількість заявок, які може обслужити СМО в одиницю часу:

$$A = \lambda q = \frac{\mu\lambda}{\lambda + \mu}. \quad (2.15)$$

Імовірність відмови в обслуговуванні заявки дорівнює ймовірності стану «канал зайнятий»:

$$P_{\text{отк}} = P_1 = 1 - P_0 = 1 - \frac{\mu}{\lambda + \mu} = \frac{\lambda}{\lambda + \mu}. \quad (2.16)$$

Дана величина $P_{\text{отк}}$ може бути інтерпретована як середня частка необслужених заявок серед поданих.

2.4.2 Одноканальна СМО з очікуванням і обмеженою довжиною черги

Система масового обслуговування має один канал. Вхідний потік заявок на обслуговування — найпростіший потік з інтенсивністю λ . Інтенсивність потоку обслуговування дорівнює μ . Тобто в середньому

безперечно зайнятий канал видаватиме μ обслужених заявок за одиницю часу. Тривалість обслуговування – випадкова величина, підпорядкована експоненціальному закону розподілу. Потік обслуговувань є найпростішим, пуассонівським, потоком подій. Заявка, що надійшла в момент, коли канал зайнятий, стає в чергу і чекає обслуговування.

Припустимо, що незалежно від того, скільки вимог надходить на вхід системи обслуговування, дана система не може вмістити понад N -вимог, тобто заявки, що не потрапили в очікування, змушені обслуговуватися в іншому місці. Нарешті, джерело, що породжує заявки на обслуговування, має нескінченно велику ємність. Граф станів СМО в цьому випадку має вигляд, показаний на рисунку.

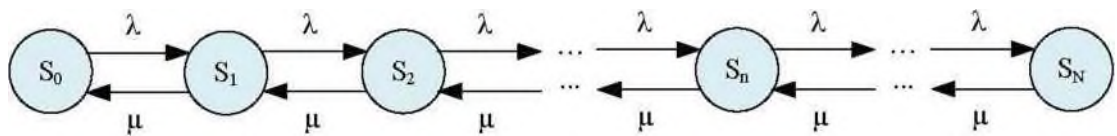


Рис.2.5. Граф станів одноканальної СМО з очікуванням

Стани СМО мають наступну інтерпретацію:

- S_0 – канал вільний;
- S_1 – канал зайнятий, черги немає;
- S_2 – канал зайнятий, одна заявка у черзі;
- S_n – канал зайнятий, $n - 1$ заявок у черзі;
- S_N – канал зайнятий, $N - 1$ заявок у черзі.

Стаціонарний процес в даній системі буде описуватися такою системою алгебраїчних рівнянь:

$$\begin{cases} -\rho P_0 + P_1 = 0, & n = 0; \\ -(1 - \rho)P_n + P_{n+1} + \rho P_{n+1} = 0, & 0 < n < N; \\ -P_N + \rho P_{N-1} = 0, & n = N, \end{cases} \quad (2.17)$$

де

$$\rho = \frac{\lambda}{\mu}; \quad (2.18)$$

n – номер стану.

Розв'язок наведеної системи рівнянь для цієї моделі СМО має вигляд

$$P_n = \begin{cases} \left(\frac{1 - \rho}{1 - \rho^{N+1}} \right) \cdot \rho^n, & \rho^n \neq 1, \\ \frac{1}{N + 1}, & \rho = 1; \end{cases} \quad n = 0, 1, 2, \dots, N, \quad (2.19)$$

$$P_0 = \frac{1 - \rho}{1 - \rho^{N+1}}. \quad (2.20)$$

Тоді

$$P_n = \begin{cases} P_0 \cdot \rho^n, & \rho^n \neq 1, \\ \frac{1}{(N + 1)}, & \rho = 1. \end{cases} \quad n = 1, 2, \dots, N, \quad (2.21)$$

Виконання умови стаціонарності $\rho < 1$ для даної СМО необов'язкове, оскільки кількість заявок, які допускаються в систему обслуговування, контролюється шляхом введення обмеження на довжину черги, яка не може перевищувати $N - 1$.

Характеристики одноканальної СМО з очікуванням і обмеженою довжиною черги $N - 1$:

– ймовірність відмови в обслуговуванні заявки:

$$P_{\text{від}} = P_N = \begin{cases} \left(\frac{1 - \rho}{1 - \rho^{N+1}} \right) \cdot \rho^N, & \rho \neq 1, \\ \frac{1}{N + 1}, & \rho = 1; \end{cases} \quad (2.22)$$

– відносна пропускна здатність системи:

$$q = 1 - P_{\text{від}} \quad (2.23)$$

– абсолютна пропускна здатність:

$$A = q\lambda \quad (2.24)$$

– середня кількість заявок, що знаходяться в системі:

$$L_s = \sum_{n=0}^N nP_n = \begin{cases} \frac{\rho[1 - (N + 1) \cdot \rho^N + N \cdot \rho]}{(1 - \rho)(1 - \rho^{N+1})}, & \rho \neq 1 \\ \frac{N}{2}, & \rho = 1. \end{cases} \quad (2.25)$$

Середній час перебування заявки в системі:

$$W_s = \frac{L_s}{\lambda(1 - P_N)}; \quad (2.26)$$

середня тривалість перебування заявки у черзі:

$$W_q = W_s - \frac{1}{\mu}; \quad (2.27)$$

середня кількість заявок в черзі:

$$L_q = \lambda(1 - P_N)W_q. \quad (2.28)$$

2.4.3 Одноканальна СМО з очікуванням без обмеження на довжину черги

Стаціонарний режим функціонування даної СМО існує при $t \rightarrow \infty$ для будь-якого $n = 0, 1, 2, \dots$ і коли $\lambda < \mu$. Система алгебраїчних рівнянь, що описують роботу СМО при $t \rightarrow \infty$ для будь-якого $n = 0, 1, 2, \dots$, має вигляд:

$$\begin{cases} -\lambda P_0 + \mu P_1 = 0, & n = 0, \\ \lambda P_{n-1} + P_{n+1} - (\lambda + \mu)P_n = 0, & n > 0. \end{cases} \quad (2.29)$$

Розв'язок даної системи рівнянь має вигляд:

$$P_n = (1 - \rho)\rho^n, n = 0, 1, 2 \dots \quad (2.30)$$

де $\rho < 1$.

Характеристики одноканальної СМО з очікуванням, без обмеження на довжину черги:

- середня кількість заявок що знаходяться в системі заявок на обслуговування:

$$L_s = \sum_{n=0}^{\infty} nP_n = \frac{\rho}{1 - \rho}, \quad (2.31)$$

- середня тривалість перебування заявки в системі:

$$W_s = \frac{L_s}{\lambda} = \frac{\rho}{[\mu(1 - \rho)]} \quad (2.32)$$

- середня тривалість очікування заявки в черзі:

$$W_q = \frac{L_q}{\lambda} = \frac{\rho}{[\mu(1 - \rho)]} \quad (2.33)$$

2.4.4 Моделі з n обслуговуваними каналами

У переважній більшості випадків на практиці системи масового обслуговування є багатоканальними, і отже, моделі з n обслуговуваними каналами, де $n > 1$.

Процес масового обслуговування, який описується даною моделлю, характеризується інтенсивністю вхідного потоку, при цьому паралельно може обслуговуватися не більше n заявок. Середня тривалість обслуговування однієї заявки дорівнює $1/\mu$. Вхідний потік є пуассонівським. Режим функціонування того чи іншого каналу обслуговування не впливає на режим функціонування інших каналів обслуговування системи, причому тривалість процедури обслуговування кожним з каналів є випадковою величиною, підпорядкованою експоненціальному закону розподілу. Кінцева мета використання n паралельно під'єднаних обслуговуючих каналів полягає в підвищенні швидкості обслуговування заявок за рахунок обслуговування одночасно n клієнтів.

Граф станів багатоканальної системи масового обслуговування з відмовами має вигляд, показаний на рисунку 2.6.

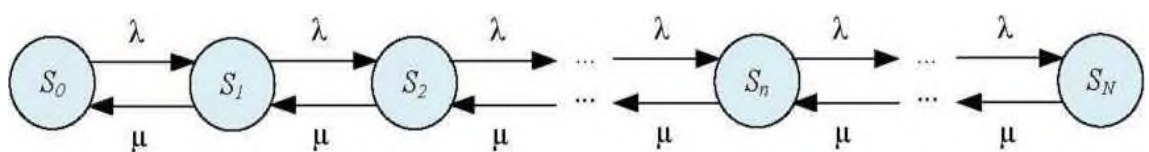


Рис.2.6 Граф станів багатоканальної СМО з відмовами

Стани даної СМО мають таку інтерпретацію:

S_0 – всі канали вільні;

S_1 – зайнятий один канал, інші вільні;

S_k – зайняті рівно k каналів, решта вільні;

S_n – зайняті всі n каналів, заявка отримує відмову в обслуговуванні.

Рівняння Колмогорова для ймовірностей станів системи $P_0, \dots, P_k, \dots, P_n$ будуть мати вигляд:

$$\begin{cases} \frac{dP_0}{dt} = -\lambda P_0 + \mu P_1; \\ \frac{dP_k}{dt} = \lambda P_{k-1} - (\lambda + k\mu)P_k + \mu(k+1)P_{k+1}, & 1 \leq k \leq n-1; \\ \frac{dP_n}{dt} = \lambda P_{n-1} - \mu n P_n. \end{cases} \quad (2.34)$$

Початкові умови:

$$P_0(0) = 1, P_1(0) = P_2(0) = \dots = P_k(0) = \dots = P_n(0) = 0 \quad (2.35)$$

Стаціонарний розв'язок системи має вигляд:

$$\begin{cases} P_k = \frac{\frac{\rho^k}{k!}}{\sum_{k=0}^n \frac{\rho^k}{k!}} = \frac{\rho^k}{k!}, & k = 0, 1, 2, \dots, n \\ P_0 = \frac{1}{\sum_{k=0}^n \frac{\rho^k}{k!}}, & k = 0, 1, 2, \dots, n, \end{cases} \quad (2.36)$$

Формули для обчислення ймовірностей P_k називають формулами Ерланга. Імовірнісні характеристики функціонування багатоканальної СМО з відмовами в стаціонарному режимі.

Імовірність відмови визначає формула:

$$P_{\text{відм}} = P_n = \frac{\rho^n}{n!} P_0 \quad (2.37)$$

Заявка отримує відмову, якщо приходить в момент, коли всі n каналів зайняті. Величина $P_{\text{відм}}$ характеризує повноту обслуговування вхідного потоку.

Ймовірність того, що заявка буде прийнята до обслуговування, відносна пропускна здатність системи, доповнює $P_{\text{відм}}$ до одиниці:

$$q = 1 - P_{\text{відм}} = 1 - \frac{\rho^n}{n!} \quad (2.38)$$

На рисунку 2.7 зображено графік залежності ймовірності відмови обслуговування від кількості каналів обслуговування при різних ρ .

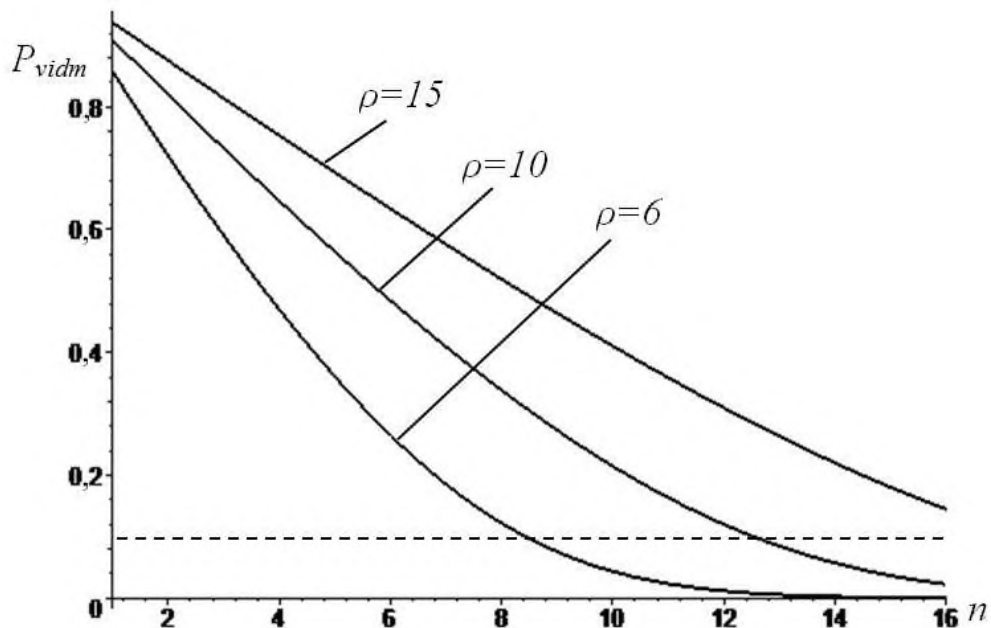


Рис. 2.7. Графік залежності ймовірності відмови від кількості каналів

На рисунку 2.8 зображено графік залежності коефіцієнта завантаженості системи від кількості каналів обслуговування при різних ρ .

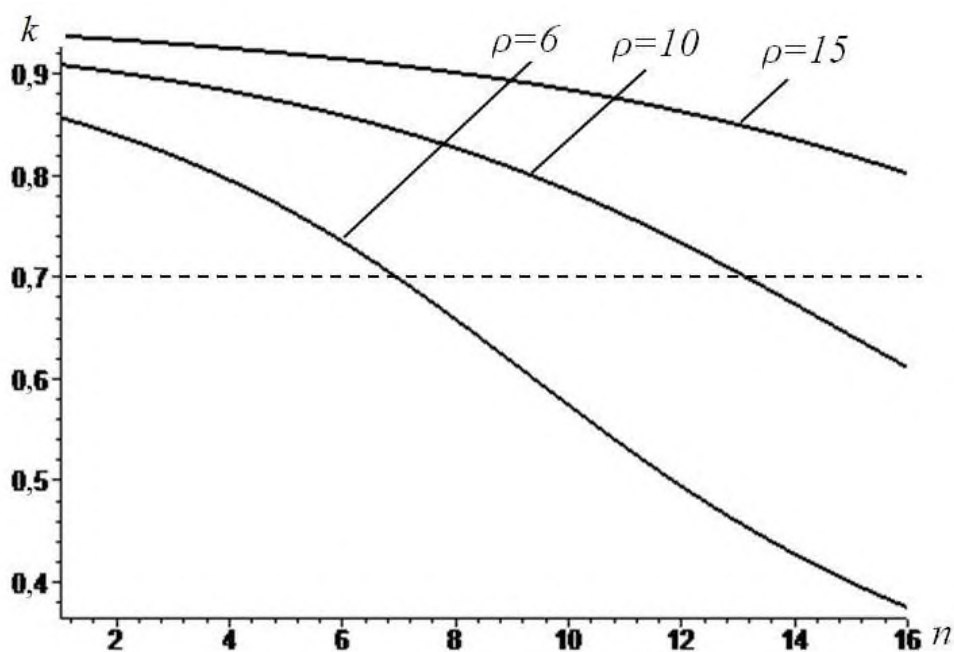


Рис. 2.8. Графік залежності коефіцієнта завантаженості від кількості каналів

За поданими графіками можна обирати кількість каналів обслуговування при різних коефіцієнтах завантаженості одного каналу ρ залежно від технічних завдань на проектування системи. Наприклад, якщо потрібно обрати кількість каналів обслуговування в разі ймовірності відмов 0,1 при $\rho = 10$, то з рисунка 2.7 випливає, що їх повинно бути не менше 13 одиниць. Якщо кількість каналів обирається залежно від коефіцієнта завантаження системи, то потрібно використовувати графіки, подані на рисунку 2.8.

Середня кількість каналів, зайнятих обслуговуванням

$$\bar{k} = \sum_{k=1}^n kP_k = \rho(1 - P_{відм}). \quad (2.39)$$

Величина k характеризує ступінь завантаження СМО.

Абсолютна пропускна здатність

$$A = \lambda q = \lambda(1 - P_{відм}). \quad (2.40)$$

2.4.5 Багатоканальна система масового обслуговування з очікуванням

Процес масового обслуговування з очікуванням характеризується таким чином: вхідний і вихідний потоки є пуассонівськими з інтенсивностями λ і μ відповідно; паралельно можуть обслуговуватися не більше C клієнтів. Система має C каналів обслуговування. Середня тривалість обслуговування одного клієнта дорівнює $1/\mu$.

В усталеному режимі функціонування багатоканальної СМО з очікуванням і необмеженою чергою може бути описано за допомогою системи алгебраїчних рівнянь:

$$\begin{cases} 0 = \lambda P_{n-1} - (\lambda + n\mu)P_n + (n+1)\mu P_{n+1} & 1 \leq n \leq C. \\ 0 = \lambda P_{n-1} - (\lambda + C\mu)P_n + C\mu P_{n+1} \end{cases} \quad (2.41)$$

Розв'язок системи рівнянь має вигляд:

$$\begin{cases} P_n = \frac{\rho^n}{n!} P_0, & 0 \leq n < C, \\ P_n = \frac{\rho^n}{C! C^{n-c}} P_0, & n \geq C; \end{cases} \quad (2.42)$$

де

$$P_0 = \left\{ \sum_{n=0}^{c-1} \frac{\rho^n}{n!} + \frac{\rho^c}{c! \left[1 - \left(\frac{\rho}{c}\right)\right]} \right\}^{-1} \quad (2.43)$$

Розв'язок буде дійсним, якщо виконується умова

$$\frac{\lambda}{\mu c} < 1. \quad (2.44)$$

Імовірнісні характеристики функціонування в стаціонарному режимі багатоканальної СМО з очікуванням і необмеженою чергою визначаються за формулами:

– ймовірність того, що в системі знаходиться n клієнтів на обслуговуванні

$$L_q = \left[\frac{C\rho}{(C - \rho)^2} \right] P_c; \quad (2.45)$$

– середня кількість клієнтів в черзі на обслуговування:

$$L_s = L_q + q; \quad (2.46)$$

– середня тривалість перебування заявки на обслуговування в черзі:

$$W_q = \frac{L_q}{\lambda}; \quad (2.47)$$

– середня тривалість перебування клієнта в системі:

$$W_s = W_q + \frac{q}{\mu}; \quad (2.48)$$

2.4.6 Багатоканальні системи без буфера для очікування

Нехай є n паралельних ідентичних обслуговуючих каналів (пристроїв), буфер для очікування відсутній. Вхідний потік є найпростішим з інтенсивністю λ , а час обслуговування заявки в каналі характеризується функцією розподілу $B(t)$ зі скінченним середнім. Спочатку розглядаємо випадок, коли розподіл $B(T)$ – показниковий розподіл з параметром μ .

Заявка, що прийшла в систему і застала хоча б один канал вільним, негайно займає будь-який з вільних каналів і починає обслуговуватися. Якщо всі канали в момент надходження заявки зайняті, вона губиться, тобто залишає систему назавжди, не створюючи ніякого впливу на її подальше функціонування.

З дослідження цієї моделі А.К. Ерлангом і веде свій відлік теорія СМО. Практична важливість моделі зумовлена тим, що вона досить адекватно описує функціонування пучка телефонних каналів, на який надходить потік запитів абонентів на встановлення з'єднання.

Розглянемо випадковий процес i_t – кількість заявок в даній системі в момент t ,

$$0 \leq i_t \leq n, \quad t \geq 0 \quad (2.49)$$

Неважно переконатися, що процес i_t є процесом загибелі та розмноження з параметрами:

$$\gamma_0 = \lambda, \gamma_i = \lambda + i\mu, \quad 1 \leq i \leq n - 1, \gamma_n = n\mu, i = n, \quad (2.50)$$

Параметр ρ – співвідношення інтенсивності вхідного потоку і інтенсивності обслуговування одним каналом.

Можна показати, що в зв'язку зі скінченністю простору станів процесу $i_t, t \geq 0$ стаціонарний розподіл кількості заявок в даній системі

$$\pi_i = \lim_{t \rightarrow \infty} P\{i_t = i\}, \quad 0 \leq i \leq n \quad (2.51)$$

існує при будь-яких скінченних значеннях інтенсивностей вхідного потоку і обслуговування заявок.

Стаціонарні ймовірності $\pi_i, 0 \leq i \leq n$ визначаються таким чином:

$$\pi_i = \frac{\frac{\rho^i}{i!}}{\sum_{j=0}^n \frac{\rho^j}{j!}}, \quad 0 \leq i \leq n. \quad (2.52)$$

З вищезазначеного маємо: ймовірність P_{loss} втрати довільного запиту має вигляд

$$P_{loss} = \pi_n = \frac{\frac{\rho^n}{n!}}{\sum_{j=0}^n \frac{\rho^j}{j!}}. \quad (2.53)$$

Ця формула, яка називається *B*-формулою Ерланга, грає дуже важливу роль в телефонії. З її допомогою можна обчислити ймовірність втрати запитів на з'єднання (блокування каналів) при фіксованому числі каналів, інтенсивності вхідного потоку та інтенсивності обслуговування запитів. Можна вирішувати також двоїсті задачі, наприклад, розрахунок необхідного числа каналів або допустимого потоку запитів, виходячи із заданої максимально допустимої ймовірності втрати запиту.

У процесі використання B -формули Ерланга було помічено, що ймовірність відмови, обчислена за формулою (2.53), дуже добре узгоджується зі значенням цієї ж ймовірності, обчисленої як середня кількість втрачених запитів в реально функціонуючій системі. Якщо гарна якість апроксимації потоків інформації в телефонних мережах може бути пояснена найпростішим потоком, то нечутливість ймовірності відмови до виду розподілу часу обслуговування викликала питання. Найбільш ймовірне значення показниково розподіленої випадкової величини $\epsilon = 0$, що погано узгоджується з реальною статистикою тривалості телефонних розмов.

Тому зусилля багатьох фахівців в області СМО були направлені на доведення інваріантності виду (2.53) ймовірності втрати запиту щодо вигляду функції розподілу часу обслуговування при фіксованому значенні середнього часу обслуговування. Строге доведення цього факту належить Б.О. Севастьянову, який встановив, що розподіл ймовірностей станів системи $M|G|n|0$ дійсно інваріантний відносно розподілу часу обслуговування заявок.

2.4.7 Висновки до розділу

Система масового обслуговування (СМО) – система, яка виконує обслуговування вимог, що надходять до неї відповідно до певних правил. При побудові моделі будь-якої СМО приймаються певні обмеження і допущення. Існує безліч систем масового обслуговування, що відрізняються структурно і функціонально. Аналітичні моделі СМО дозволяють визначати ймовірності станів системи в процесі її функціонування і показники ефективності. Усі характеристики якості обслуговування систем можна умовно розділити на три види. ймовірнісні, моментні, економічні.

РОЗДІЛ 3

МУЛЬТИСЕРВІСНА МОДЕЛЬ ЕРЛАНГА З ЯВНИМИ ВТРАТАМИ

3.1 Мультиплексування мультисервісної моделі Ерланга

Мультиплексування – ущільнення каналу передачі даних, тобто передача декількох потоків даних з меншою пропускною спроможністю по одному каналу. Базовий цифровий канал – одиниця вимірювання ширини смуги пропускання. Якщо прийняти, що один базовий цифровий канал має швидкість 64 Кбіт/с, то у високошвидкісній цифровій лінії зі швидкістю $C = 2$ Мбіт/с можна організувати 32 БЦК.

Припустимо, що до широкосмугової цифрової лінії організований доступ по схемі з явними втратами для K інформаційних потоків від різношвидкісних джерел навантаження. Множину послуг, що надаються системою зручно позначити через $K = \{1, \dots, K\}$, $|K| = K$.

Нехай джерело послуг k в момент максимальної активності вимагає надання йому b_k одиниць ширини смуги пропускання. Можна вважати, що b_k – пікова швидкість джерела послуг k або необхідна для нього кількість БЦК. У системах передачі даних за технологією *ATM* вся інформація оцифровується і упаковується в комірки по 53 байта, з яких 5 байт – заголовок, 8 байт – службова інформація, 40 байт – дані конкретного джерела. Передача цих даних і створює оплачуване абонентом навантаження. Тому, якщо голос оцифровується в двійковий потік зі швидкістю близько 8 Кбіт/с, то пікова швидкість передачі голосової інформації за відповідною ЦЛІ складе близько 200 комірок/с, тобто в середньому кожні 5 мс. в ЦЛІ буде надходити одна комірка.

На рисунку нижче представлена спрощена схема з $K = 3$ типами навантаження – відео, дані і голос, причому в періоди активності кожного

джерела згенеровані ним комірки надходять пачками. БП позначає буферну пам'ять, що входить в склад пристрою доступу до високошвидкісної ШЦЛ.

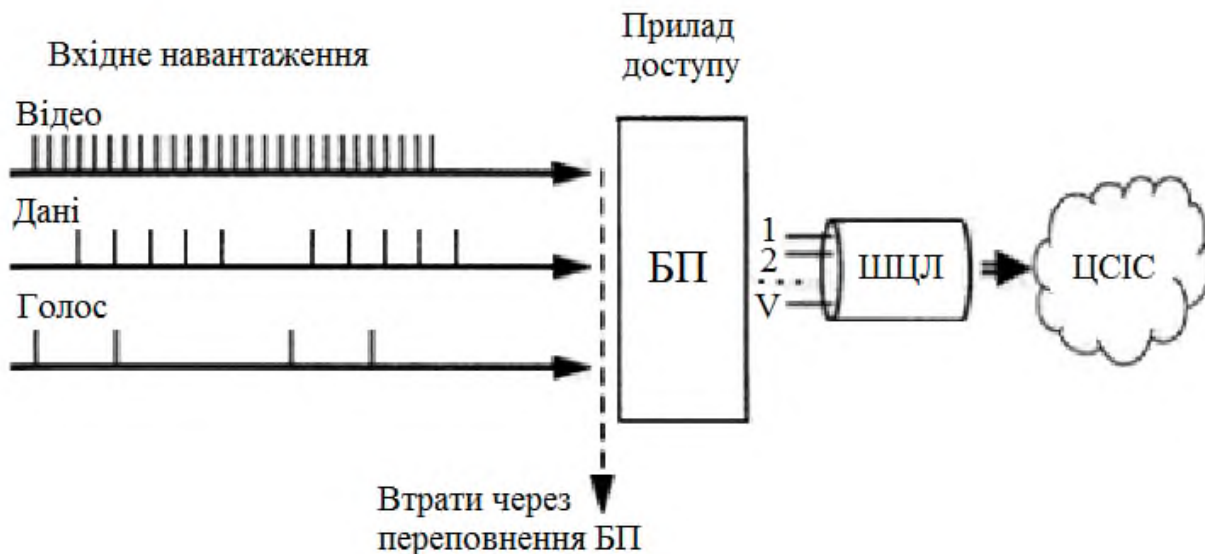


Рис.3.1. Фізична модель функціонування широкосмугової цифрової лінії ємністю V БЦК

В цьому випадку стратегія доступу заснована на піковій швидкості передачі кожного з K джерел навантаження.

3.2 Параметри мультисервісної моделі Ерланга

Про систему доступу до цифрової лінії, про послуги, що надаються цифровою лінією і про створене абонентами мультисервісне навантаження можна виділити наступні умови.

а) На задану широкосмугову ЦЛ k -послугу надходить пуассонівський потік k -повідомлень з постійною інтенсивністю

$$\lambda_k, 0 < \lambda_k < \infty, \quad k = \overline{1, K}. \quad (3.1)$$

Всі K пуассонівського потоку незалежні в сукупності, причому k -послуга вимагає b_k одиниць ШСП, тобто b_k БЦК. Тут b_k – цілі числа, причому $b_k \in \{1, 2, \dots, V\}, k = \overline{1, K}$.

б) Якщо в момент надходження k -повідомлення у ЦЛ немає b_k вільних БЦК, то знову отримане k -повідомлення отримує відмову і втрачається, не створює додаткового впливу на інтенсивність пуассонівського потоку λ_k . Це означає, що ефект повторення повідомлень які отримали відмову малий, і його можна не враховувати і вважати, що система функціонує з явними втратами.

в) Тривалість заняття передачею k -повідомлення має експоненціальний розподіл з інтенсивністю

$$\mu_k, 0 < \mu_k < \infty, \quad k = \overline{1, K}, \quad (3.2)$$

причому ці тривалості не залежать одне від одного і від процесів надходження повідомлень. По завершенні обслуговування k -повідомлення відразу звільняє всю зайняту ним ширину смуги пропускання, тобто всі зайняті ним b_k БЦК звільнюються одночасно.

Таким чином в описі системи беруть участь два структурних параметри – V і K , а також $3K$ -мірних вектори, що характеризують запропоноване навантаження:

$$\lambda := (\lambda_1, \dots, \lambda_K)^T, \quad b := (b_1, \dots, b_K)^T, \quad \mu := (\mu_1, \dots, \mu_K)^T, \quad (3.3)$$

тобто всього $3K + 1$ незалежних числових параметра. Розглянуту модель K -сервісного доступу до цифрової лінії з явними втратами кодуються наступним чином

$$\lambda, b \left| \frac{M}{\mu} \right| V < \infty, \quad (3.4)$$

Багатовимірне пуассонівсько-експонентне навантаження цієї моделі називається мультисервісним пуассонівським навантаженням першого роду. Воно кодується за допомогою трійки векторів (λ, b, μ) .

Мультисервісні моделі такого типу описуються ступінчастим марківським процесом з мультиплікативним поданням стаціонарних ймовірностей станів. При цьому багато імовірнісно-часових характеристик досліджуваної системи залежать від навантаження. Тут навантаження задається не трійкою, а парою векторів (ρ, b) , а при виконанні умов а) -в) автоматично виконується і умова

$$0 < \rho_k b_k < \infty, \quad k = \overline{1, K}. \quad (3.5)$$

Нехай n_k – кількість k -послуг, що надаються системою в певний момент часу $t > 0$. Тоді

$$n_k = 0, 1, \dots, \left\lfloor \frac{V}{b_k} \right\rfloor, \quad k = \overline{1, K}, \quad (3.6)$$

де $[x]$ означає цілу частину числа x . Вектор $n = (n_1, \dots, n_K)^T$ описує чисельність всіх послуг, що надаються системою в момент t, a

$$U(n) = b^T n = \sum_{k=1}^K b_k n_k \quad (3.7)$$

є загальне число зайнятих БЦК в стані n . Величину $U(n)$ називають миттєвим коефіцієнтом використання ширини смуги пропускання цифрової лінії в стані n , причому виконується умова

$$0 \leq b^T n \leq V \quad (3.8)$$

Кількість вільних БЦК в стані n

$$V - b^T n. \quad (3.9)$$

Тому простір S всіх можливих станів системи має вид

$$S := \{n : 0 \leq b^T n \leq V\}, \quad (3.10)$$

а підпростори прийому і блокування для k -повідомлень мають відповідно вид

$$\begin{aligned} S_k &:= \{n : b^T n \leq V - b_k\}, \\ \bar{S}_k &= S \setminus S_k = \{n : b^T n > V - b_k\}, \end{aligned} \quad k = \overline{1, K}. \quad (3.11)$$

Нехай $\lambda_k(n)$ – інтенсивність прийнятого, а $\mu_k(n)$ – інтенсивність обслуженого потоку k -повідомлень в стані n . Тоді впливає, що для $\forall k \in K$

$$\lambda_k(n) = \begin{cases} 0, & n \in \bar{S}_k, \\ \lambda_k, & n \in S_k, \end{cases} \quad \begin{array}{l} \text{повідомлення отримало відмову} \\ \text{повідомлення прийнято} \end{array}, \quad (3.12)$$

$$\mu_k(n) = \mu_k n_k, \quad n \in S. \quad (3.13)$$

Останнє співвідношення означає, що в стані n сумарна інтенсивність обслуговування всіх n_k k -повідомлень не залежить від кількості n_l , l не дорівнює k повідомлень інших типів в системі.

3.3 Теорема про рівноважний розподіл

Розглянемо цифрову лінію з параметрами $V = 8, K = 2, b_1 = 1, b_2 = 2$. Для даної системи

$$S = \{(n_1 n_2) : n_1 + 2n_2 \leq 8\}, \quad (3.14)$$

$$S_1 = \{(n_1 n_2) : n_1 + 2n_2 \leq 7\}, \quad (3.15)$$

$$\bar{S}_1 = S \setminus S_1 = \{(n_1 n_2) : n_1 + 2n_2 = 8\}, \quad (3.16)$$

$$S_2 = \{(n_1 n_2) : n_1 + 2n_2 \leq 6\}, \quad (3.17)$$

$$\bar{S}_2 = S \setminus S_2 = \{(n_1 n_2) : n_1 + 2n_2 = 7, 8\}. \quad (3.18)$$

Ці множини зображені на рисунку 3.2.

Введемо K -мірний випадковий процес

$$X(t) = (X_1(t), \dots, X_K(t))^T, \quad t \geq 0, \quad (3.19)$$

де $X_K(t)$ – кількість k -послуг, що надаються в момент часу t в мультисервісній моделі Ерланга з явними втратами. $X(t)$ –ступінчатий марківський процес простором станів S і матрицею інтенсивностей переходів

$$A = (a(m, n))_{m, n \in S}. \quad (3.20)$$

Прийmemo додаткову умову, що матриця A нерозкладна

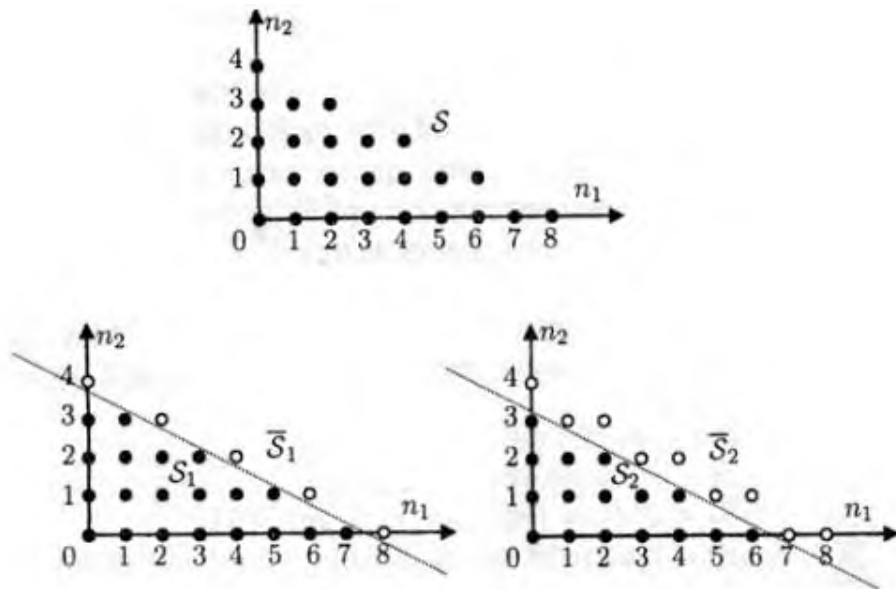


Рис.3.2. Простір станів S і його підпросторів $S_1, \bar{S}_1, S_2, \bar{S}_2$

Якщо для системи типу

$$\frac{M}{\lambda, b} \left| \frac{M}{\mu} \right| V < \infty, \quad (3.21)$$

виконуються всі умови про систему доступу до цифрової лінії, про послуги, що надаються цифровою лінією і про створене абонентами мультисервісне навантаження, її описує ступінчатий марківський потік $X(t)$, у якого існує стаціонарний розподіл імовірностей. Цей розподіл не залежить від початкового і є мультиплікативним:

$$p(n) = G^{-1} \prod_{k=1}^K \frac{\rho_k^{n_k}}{n_k!}, \quad n \in S. \quad (3.22)$$

де

$$\rho_k = \frac{\lambda_k}{\mu_k}, \quad k = \overline{1, K}, \quad (3.23)$$

і виконується нормуюча умова

$$\sum_{n \in S} p(n) = 1, \quad (3.24)$$

тому нормуюча константа

$$G = \frac{1}{p(0)} = \left(\sum_{n \in S} \prod_{k=1}^K \frac{\rho_k^{n_k}}{n_k!} \right). \quad (3.25)$$

Нехай у ступінчатого марківського процесу $X(t)$ матриця інтенсивностей переходів задана формулою (3.20). Рівноважні ймовірності цього процесу задовольняють систему рівнянь рівноваги.

$$p^T A = 0^T \Leftrightarrow \sum_{m \in S} p(m) a(m, n) = 0, \quad n \in S \quad (3.26)$$

з нормуючою умовою (3.24) .

Нехай e_k – K -вимірний вектор, у якого компонента k дорівнює одиниці, а решта компонент – нулю.

$$e_k = \left(\underbrace{0, \dots, 0}_{k-1}, 1, \underbrace{0, \dots, 0}_{K-k} \right)^T \quad (3.27)$$

Також необхідна функція Хевісайда

$$u(x) = \begin{cases} 1, & x > 0 \\ 0, & x \geq 0 \end{cases} \quad (3.28)$$

і функція індикатор

$$1(\text{подія } A) = \begin{cases} 1, & \text{якщо сталася подія } A, \\ 0, & \text{якщо подія } A \text{ не сталася.} \end{cases} \quad (3.29)$$

За Δt потрапити в стан n можна тільки з одного із сусідніх внизу станів $n - e_k, n_k \geq 1$ за рахунок надходження нового k -повідомлення, або через сусідні зверху стани $n + e_k \in S$ за рахунок завершення передачі одного з k -повідомлень, $k = \overline{1, K}$. Тому систему рівнянь рівноваги можна записати таким чином

$$\begin{aligned} & \sum_{k=1}^K p(n - e_k) u(n_k) a(n - e_k, n) + \\ & \sum_{k=1}^K p(n + e_k) 1(n \in S_k) a(n + e_k, n) = \\ & = p(n) (-a(n, n)), \quad n \in S. \end{aligned} \quad (3.30)$$

Система рівнянь (3.30), після множення обох частин на Δt , має просту фізичну інтерпретацію. Права частина представляє собою ймовірність виходу зі стану n за Δt в один з сусідніх станів, а ліва частина є сумою ймовірностей попадання в стан n за Δt з одного із сусідніх внизу або зверху станів.

Так як сума елементів будь-якого рядка матриці A дорівнює 0, то

$$-a(n, n) = \sum_{m \in S \setminus n} a(n, m) = \sum_{k=1}^K a(n, n - e_k) u(n_k) + \quad (3.31)$$

$$\begin{aligned}
+ \sum_{k=1}^K a(n, n + e_k) 1(n \in S_k) &= \sum_{k=1}^K \lambda_k 1(n \in S_k) + \\
&+ \sum_{k=1}^K \mu_k n_k, \quad n \in S.
\end{aligned}$$

Тут $a(n, n)$ – позитивна інтенсивність виходу із стану n за рахунок надходження і прийому одного нового повідомлення, або за рахунок завершення передавання одного з повідомлень. Оскільки

$$\begin{cases} a(n - e_k, n) = \lambda_k, & n_k \geq 1, & n \in S; \\ a(n + e_k, n) = (n_k + 1)\mu_k, & & n \in S_k, \end{cases} \quad (3.32)$$

то систему рівнянь рівноваги (3.30) можна записати у вигляді

$$\begin{aligned}
\sum_{k=1}^K p(n - e_k) u(n_k) \lambda_k + \sum_{k=1}^K p(n + e_k) 1(n \in S_k) (n_k + 1) \mu_k &= \\
= p(n) \left(\sum_{k=1}^K \lambda_k 1(n \in S_k) + \sum_{k=1}^K n_k \mu_k \right), & n \in S. \end{aligned} \quad (3.33)$$

Формула (3.33) – система рівнянь глобального балансу і має очевидну фізичну інтерпретацію. За наявності певного досвіду, для система рівнянь глобального балансу математичної моделі, що представляє практичний інтерес, буває можна виписати відразу.

Відзначимо ще, що порядок системи лінійних алгебраїчних рівнянь дорівнює $|S|$, а її ранг дорівнює $|S| - 1$. Тому її вирішення можна знайти з точністю до будь-якого множника, який легко визначити за допомогою нормуючої умови (3.29).

Висновок і рішення системи рівнянь глобального балансу. Для однопотоккових СМО, висунемо гіпотезу про те, що поряд з глобальним балансом, існує частковий баланс по кожній з k -послуг:

$$p(n)\mu_k n_k = p(n - e_k)u(u_k)n_k \lambda_k, \quad n \in S, \quad k = \overline{1, K}; \quad (3.34)$$

$$p(n + e_k)(n_k + 1)\mu_k = p(n)\lambda_k, \quad n \in S_k, \quad k = \overline{1, K}. \quad (3.35)$$

Фізичний зміст співвідношень (3.34) (3.35) ілюструє рисунок 3.2

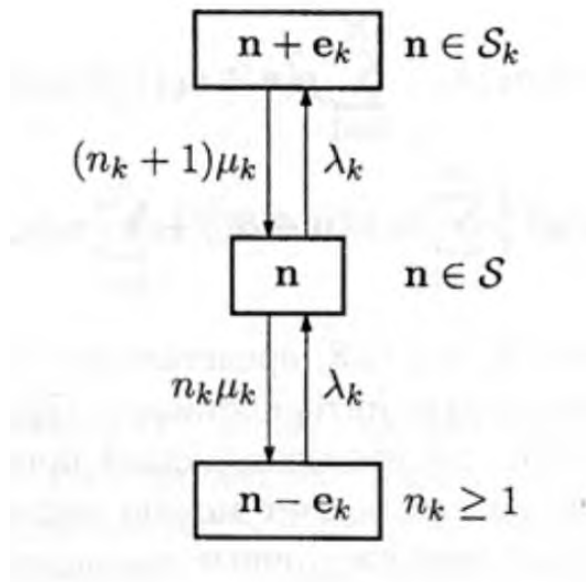


Рис. 3.3. Схема часткового балансу за k -послугою

Підсистема рівнянь (3.34) описує баланс за k -послугою між станами n і $n - e_k$:

$$P \left\{ n \xrightarrow{\Delta t} n - e_k \right\} = P \left\{ n - e_k \xrightarrow{\Delta t} n_k \right\} + o(\Delta t), \quad (3.36)$$

а підсистема рівнянь (3.35) – між станами $n+e_k$ і n :

$$P \{n + e_k \xrightarrow{\Delta t} n\} = P \{n \xrightarrow{\Delta t} n_k + e_k\} + o(\Delta t) \quad (3.37)$$

Якщо розв'язок систем рівнянь часткового балансу (3.34) та (3.35) співпадають, то їх спільний розв'язок є розв'язком Системи рівнянь глобального балансу (3.33).

Із рекурентних співвідношень випливає:

$$\begin{aligned} p(n) &= p(n - e_k) \frac{\rho_k}{n_k} = \\ &= p(n - 2e_k) \frac{\rho_k^2}{n_k(n_k - 1)} = \dots = p(n - n_k e_k) \frac{\rho_k^{n_k}}{n_k!}. \end{aligned} \quad (3.38)$$

За всіма видами послуг рекурсивно отримаємо:

$$p(n) = p(0) \prod_{k=1}^K \frac{\rho_k^{n_k}}{n_k!}, \quad n \in S. \quad (3.39)$$

Аналогічним чином із (3.34) випливає:

$$\begin{aligned} p(n + e_k) &= p(n) \frac{\rho_k}{n_k + 1} = p(n - e_k) \frac{\rho_k^2}{(n_k + 1)n_k} = \dots = \\ &= p(0) \frac{\rho_k}{n_k + 1} \prod_{k=1}^K \frac{\rho_k^{n_k}}{n_k!}, \quad n \in S, k = \overline{1, K}, \end{aligned} \quad (3.40)$$

що еквівалентно (3.39).

Таким чином, системи рівнянь часткового балансу (3.34) та (3.35) мають спільне рішення. Тому спільний розв'язок рівнянь (3.39) та (3.40) співпадає з (3.22).

3.4 Імовірність втрат та інші макрохарактеристики

Рівноважний розподіл (3.22) мікростанів в просторі S дає прозору теоретичну базу для виведення необхідних ймовірнісно-часових макрохарактеристик цифрової лінії.

Нехай X – випадковий вектор з рівноважним розподілом

$$P\{X = n\} =: p(n), n \in S. \quad (3.41)$$

Ймовірність блокування k -повідомлення:

$$\pi_k := P\{\bar{S}_k\} = \sum_{n \in \bar{S}_k} p(n). \quad (3.42)$$

Величина π_k – це ймовірність втрат за часом t за теоремою про рівноважний розподіл,

$$\pi_k = \sum_{n \in \bar{S}_k} \prod_{j=1}^K \frac{\rho_j^{n_j}}{n_j}. \quad (3.43)$$

Ця назва пояснюється тим, що якщо в стаціонарному режимі на досить великому часовому інтервалі $[t_0, t_0 + T)$ довжини T сумарний час перебування цифрової лінії в стані \bar{S}_k становить T_k , то статистичною оцінкою для π_k служить величина

$$\hat{\pi}_k = \frac{T_k}{T}, k = \overline{1, K}. \quad (3.44)$$

Якщо на цьому ж інтервалі надійде всього N повідомлень, з яких буде втрачено N_k k -повідомлень, то величина π_k буде оцінкою втрат за повідомленнями. Точність цих оцінок і їх близькість до теоретичних значень π_k в залежності від параметра T або N вирішується за допомогою методів математичної статистики.

Оскільки k -повідомлення надходять за пуассонівським законом з інтенсивністю λ_k , то за часовий інтервал $[t_0, t_0 + T)$ надходить в середньому $\lambda_k T$ k -повідомлень, з яких в середньому втрачається $\lambda_k T \pi_k$. Тому за визначення пропускної здатності для k -повідомлень можна прийняти величину:

$$TH_k := \lambda_k (1 - \mu_k), \quad k = \overline{1, K}. \quad (3.45)$$

Так як миттєвий коефіцієнт використання цифрової лінії (3.7) є випадковою величиною

$$U(X) = b^T X, \quad (3.46)$$

то за коефіцієнт використання цифрової лінії правильно буде прийняти середнє значення наступної величини

$$UTIL := EU(X) = b^T EX = \sum_{k=1}^K b_k EX_k, \quad (3.47)$$

де $b_k EX_k$ – середня кількість БЦК, зайнятих обслуговуванням k -повідомлень.

3.5 Рекурентний алгоритм обчислення макрохарактеристик

Мультиплікативний характер рівноважного розподілу дозволяє отримати досить простий і ефективний алгоритм обчислення введених вище та інших ймовіротно-часових макрохарактеристик ЦЛ. З цією метою введемо простір $S(v)$ з таких станів, в кожному з яких зайнято рівно v БЦК:

$$S(v) := \{n \in S: b^T n = v\}, \quad \bigcup_{v=0}^V S(v) = S. \quad (3.48)$$

Позначимо

$$q(v) := P\{U(X) = v\} = \sum_{n \in S(v)} p(n), \quad \sum_{v=0}^V q(v) = 1. \quad (3.49)$$

Очевидно, що миттєвий коефіцієнт використання $U(X)$ є випадковою величиною з розподілом (3.49), а його середнє значення

$$UTIL = \sum_{v=1}^V vq(v). \quad (3.50)$$

Тепер введемо величину

$$R_k(v) = \sum_{n \in S(v)} n_k p(n). \quad (3.51)$$

Щоб з'ясувати її фізичний зміст, помножимо кожен доданок на $q(v)/q(v)$, винесемо $q(v)$ за знак суми і зауважимо, що $p(n)/q(v)$, $n \in S(v)$ є умовним розподілом в просторі $S(v)$. Тому

$$R_k(v) = q(v)E(X_k|v), \quad v = \overline{0, \overline{V}}, k = \overline{1, \overline{K}}. \quad (3.52)$$

Оскільки $E(X_k|0)=0$, то $R_k(0) = 0$, а

$$\sum_{v=1}^{\overline{V}} R_k(v) = \sum_{v=1}^{\overline{V}} q(v)E(X_k|v) = EX_k, \quad k = \overline{1, \overline{K}}. \quad (3.53)$$

Для зручності подальших записів припустимо, що v може бути негативним, але накладемо умову

$$q(v) = R_k(v) = 0, \quad v < 0. \quad (3.54)$$

Макроімовірність $q(v)$ задовольняє наступне рекурентне співвідношення:

$$vq(v) = \sum_{k=1}^{\overline{K}} b_k \rho_k q(v - b_k), v = \overline{0, \overline{V}}, \quad (3.55)$$

$$vq(v) = \sum_{n \in S(v)} p(n) = \sum_{k=1}^{\overline{K}} b_k n_k = \sum_{k=1}^{\overline{K}} b_k \sum_{n \in S(v)} n_k p(n) = \sum_{k=1}^{\overline{K}} b_k R_k(v). \quad (3.56)$$

Оскільки всі суми скінченні, то можлива зміна порядку підсумовування в подвійній сумі. Підставляючи тепер в (3.51) рівняння часткового балансу (3.34), отримаємо

$$\begin{aligned}
R_k(v) &= \sum_{n \in S(v)} n_k p(n) = \rho_k \sum_{n \in S(v)} p(n - e_k) = \\
&= \rho_k \sum_{n \in S(v - b_k)} p(n) = \rho_k q(v - b_k).
\end{aligned}
\tag{3.57}$$

Звідси випливає співвідношення(3.55).

Рекурентні співвідношення (3.55) дозволяють отримати ефективний рекурентний алгоритм обчислення ймовірностей $q(v)$, $v = \overline{0, V}$, зайняття v БЦК, ймовірностей π_k , $k = \overline{1, K}$ блокувань k -послуг і середнього числа зайнятих БЦК при стаціонарному режимі функціонування мультисервісної цифрової лінії. Алгоритм містить наступні кроки:

- а) Вводимо $2K + 1$ параметрів V , b_k , ρ_k , $k = \overline{1, K}$ і резервуємо $V + 1$ комірок для $q(v)$ і K комірок для π_k .
- б) Вважаємо $q'(0) \leftarrow 1$, $q'(v) \leftarrow 0$, при $v < 0$.
- в) Рекурентно по $v = \overline{1, V}$ обчислюємо

$$q'(v) \leftarrow \frac{1}{v} \sum_{k=1}^K b_k \rho_k q'(v - b_k).
\tag{3.58}$$

Для обчислення за цією формулою буде потрібно $2K$ операцій множення, $K-1$ операцій додавання і одна операція ділення, а всього на цьому кроці потрібно виконати $O(VK)$ арифметичних операцій. Цей крок дає ненормований розподіл ймовірностей $q'(v)$, $v = \overline{0, V}$.

- г) Обчислюємо нормуючу константу

$$G = \sum_{v=0}^V q'(v),
\tag{3.59}$$

На що потрібно $V + 1$ операцій додавання.

д) Переходимо від ненормованого до нормованого розподілу ймовірностей:

$$q(v) \leftarrow q'(v)/v, \quad v = \overline{0, V}. \quad (3.60)$$

На це необхідно $V + 1$ операцій ділення.

е) Обчислюємо середню кількість зйнятих БЦК:

$$UTIL \leftarrow \sum_{v=1}^V vq(v). \quad (3.61)$$

Для обчислення необхідно V операцій множення і $V - 1$ операцій додавання, всього $O(V)$ арифметичних операцій.

Таким чином загальна кількість комірок оперативної пам'яті становить $O(V + 3K)$, а загальна кількість арифметичних операцій $O(VK)$. Оскільки число мікростанів в S і її підпросторах має комбінаторний характер і з ростом кількості K послуг швидко зростає, то в порівнянні з прямим обчисленням цих характеристик за допомогою мультиплікативного розподілу $p(n), n \in S$ (3.22) обчислення необхідних для додатків макрохарактеристик за рекурентними формулами дає величезний вигравш. При цьому структура рекурентного алгоритму така, що при його реалізації виключені помилки переповнення або обнулення, які неминучі при обчисленні за допомогою (3.22).

3.6 Випадок $b = 1$

Важливим окремим випадком вивченої в цьому розділі моделі є СМО

$$\lambda, b = 1 \left| \frac{M}{\mu} \right| V < \infty. \quad (3.62)$$

У цій СМО заявки кожного з K видів вимагають однакову ширину смуги пропускання, яку зручно взяти за БЦК.

Оскільки при $b = 1$ кількість зайнятих каналів в стані n дорівнює кількості заявок які обслуговуються, то

$$U(n) = \sum_{k=1}^K n_k := n. \quad (3.63)$$

Тому

$$S = \{n: 0 \leq n \leq V\}, \quad S(v) = \{n: n = v\}, v = \overline{0, V}, \quad (3.64)$$

зі співвідношення (3.55) одразу випливає, що

$$vq(v) = q(v-1) \sum_{k=1}^K \rho_k = q(v-1)\rho, \quad v = \overline{1, V}. \quad (3.65)$$

Отже, розподіл числа зайнятих каналів в даній СМО має перший розподіл Ерланга для повнодоступного пучка з V каналів, на який надходить пуассонівське навантаження першого роду з інтенсивністю ρ :

$$q(v) = \frac{\rho^v}{v!} q(0), \quad v = \overline{1, V}, \quad (3.66)$$

$$\pi_k = q(V), \quad k = \overline{1, K}. \quad (3.67)$$

3.7 Висновки до розділу

В третьому розділі було розглянуто мультиплексування та параметри мультисервісної моделі Ерланга, теорему про рівноважний розподіл, макрохарактеристики мультисервісних мереж, алгоритм для обчислення макрохарактеристик.

Мультиплексування – ущільнення каналу передачі даних, тобто передача декількох потоків даних з меншою пропускнуою спроможністю по одному каналу. У системах передачі даних за технологією *ATM* вся інформація оцифровується і упаковується в комірки по 53 байта. Передача цих даних і створює оплачуване абонентом навантаження. В описі мультисервісної моделі Ерланга беруть участь два структурних параметри – V і K , а також $3K$ -мірних вектори.

Рівноважний розподіл дає базу для виведення необхідних ймовірнісно-часових макрохарактеристик цифрової лінії. Для обчислення цих макрохарактеристик потрібні: загальна кількість комірок оперативної пам'яті $O(V + 3K)$ і загальна кількість арифметичних операцій $O(VK)$.

РОЗДІЛ 4

ПРОГРАМНИЙ МОДУЛЬ ВИЗНАЧЕННЯ МАКРОХАРАКТЕРИСТИК

4.1 Вибір програмних засобів

C # – це мова з *C*-подібним синтаксисом. Тут він близький в цьому відношенні до *C ++* і *Java*. Будучи об'єктно-орієнтованою мовою, *C#* багато перейняв у *Java* і *C ++*. Як і *Java*, *C #* спочатку призначався для веб-розробки, і приблизно 75% його синтаксичних можливостей такі ж, як у *Java*. *C #* також називають «очищеною версією *Java*». Ще 10% запозичено з *C ++* і 5% – з *Visual Basic*. Решта 10% *C #* – це реалізація власних ідей розробників. Об'єктно-орієнтований підхід дозволяє будувати за допомогою *C #* великі, але в той же час гнучкі, масштабовані додатки.

C # підтримує багато корисних функцій:

- інкапсуляція,
- успадкування,
- поліморфізм,
- перевантаження операторів,
- статична типізація.

Мова все ще активно розвивається, і з кожною новою версією з'являється все більше цікавого. У порівнянні з іншими мовами *C #* досить молода мова програмування, але в той же час вона вже пройшла великий шлях. Перша версія мови вийшла разом з релізом *Microsoft Visual Studio .NET* в лютому 2002 року. Поточною версією мови є версія *C # 8.0*, яка вийшла у вересні 2019 року разом з релізом *.NET Core 3*.

Коли говорять *C #*, нерідко мають на увазі технології платформи *.NET* (*Windows Forms*, *WPF*, *ASP.NET*, *Xamarin*). І навпаки, коли говорять *.NET*, нерідко мають на увазі *C #*. Однак, хоча ці поняття пов'язані, ототожнювати

їх неправильно. Мова C # була створений спеціально для роботи з фреймворком .NET, проте саме поняття .NET дещо ширше.

Фреймворк .NET є потужною платформою для створення додатків через такі переваги:

а) Підтримка декількох мов. В основі .NET – загальномовне середовище виконання *Common Language Runtime (CLR)*, завдяки чому платформа підтримує кілька мов: окрім C # це *VB.NET*, *C ++*, *F #*, а також різні діалекти інших мов, прив'язані до .NET, наприклад, *Delphi.NET*. Код на будь-якій з цих мов компілюється в збірку спільною мовою *CIL (Common Intermediate Language)* – свого роду асемблер платформи .NET. Тому можна зробити окремі модулі однієї програми на різних мовах.

б) Потужна бібліотека класів. .NET представляє єдину для всіх підтримуваних мов бібліотеку класів. Який додаток не потрібно було написати на C # – так чи інакше використовується бібліотека класів .NET.

в) Різноманітність технологій. Загальномовне середовище виконання *CLR* і базова бібліотека класів – це основа для цілого стеку технологій, які розробники можуть задіяти при створенні різних додатків. Наприклад, для баз даних в цьому стеці є технологія *ADO.NET* і *Entity Framework Core*. Для графічних додатків з насиченим інтерфейсом – технології *WPF* і *UWP*. Для більш простих графічних додатків – *Windows Forms*. Для розробки мобільних додатків – *Xamarin*. Для створення веб-сайтів – *ASP.NET* і т.д.

У мови C# наступні переваги:

- Підтримка більшості продуктів *Microsoft*
- Безкоштовність ряду інструментів для невеликих компаній і деяких індивідуальних розробників .
- Типи даних мають фіксований розмір , що підвищує «мобільність» мови і спрощує програмування, так як ви завжди знаєте точно, з чим ви маєте справу.

– Автоматичний «прибиральник сміття» Це означає, що в більшості випадків не доводиться піклуватися про звільнення пам'яті. Вищезгадана CLR сама викличе збирач сміття і очистить пам'ять.

– C# створювався паралельно з каркасом *FrameworkNet* і повною мірою враховує всі його можливості – як *FCL (Framework Class Library)*, так й *CLR*;

– C# є повністю об'єктно-орієнтованою мовою, де навіть типи, вбудовані в мову, представлені класами;

– C# є потужною об'єктною мовою з можливостями спадкування й універсалізації;

– C# є спадкоємцем мов C/C++, зберігаючи кращі риси цих популярних мов програмування;

– завдяки каркасу *Framework .Net*, що стали надбудовою над операційною системою, програмісти C# одержують тіж переваги роботи з віртуальною машиною, що й програмісти *Java*. Ефективність коду навіть підвищується, оскільки виконавче середовище *CLR* представляє собою компілятор проміжної мови, у той час як віртуальна *Java*-машина є інтерпретатором байт-коду;

– реалізація, що сполучає побудову надійного й ефективного коду, є немаловажним чинником, що сприяє успіху C#;

– Низький поріг входження. Синтаксис C # має багато схожого з іншими мовами програмування, завдяки чому полегшується перехід для програмістів. Мова C # часто визнають найбільш зрозумілим і придатним для новачків.

– За допомогою *Xamarin* на C # можна писати програми і додатки для таких операційних систем, як *iOS, Android, MacOS* і *Linux*.

Серед недоліків мови C # можна відзначити:

– Пріоритетна орієнтованість на платформу *Windows*;

– Мова безкоштовна тільки для невеликих фірм, індивідуальних програмістів, стартапів і учнів.

Microsoft Visual Studio(MVS)- це програмне середовище з розробки додатків для операційної системи Windows, як консольних, так і з графічним інтерфейсом.

Microsoft Visual Studio надає користувачеві, при створення проекту велику кількість різних типів проектів, що безумовно плутає навіть бувалого програміста. Але велика кількість типів проектів дає гарне уявлення про можливості даного інструменту. *MVS* – це дійсно висококласна *IDE* (*integrated development environment*), якою користуються більшість професіоналів для розробки додатків під Windows.

Visual Studio – це досить потужна *IDE*. Її редактор підсвічує синтаксис і виконує форматування коду, що в свою чергу в рази робить код читабельнее. Більш того, редактор *MVS* автоматично завершує деякі структури коду, нам варто почати друкувати, наприклад, оператор вибору *switch*, редактор сам його завершити. У таблиці 4.1 подано апаратні вимоги до *IDE*.

Таблиця 4.1

Параметр	Значення
Процесор	Двоядерний або краще з мінімальною частотою 1,8 ГГц
Оперативна пам'ять	Мінімум 2 ГБ, Рекомендовано 4 ГБ
Жорсткий диск	Мінімум 20 ГБ вільного простору
Відеокарта	Мінімальна роздільна здатність 1280 на 720

4.2 Проектування інтерфейсу користувача

Як можна побачити з алгоритму результатом обчислення буде велика кількість значень. Тому необхідно правильно спроектувати користувацький інтерфейс.

Користувальницький інтерфейс (*user interface, UI*) є своєрідним комунікаційним каналом, по якому здійснюється взаємодія користувача і комп'ютера. Найкращий користувацький інтерфейс – це такий інтерфейс, якому користувач не повинен приділяти багато уваги, майже не помічати його. Користувач просто працює, замість того, щоб розмірковувати, яку кнопку натиснути або де клацнути мишею. Такий інтерфейс називають прозорим – користувач ніби дивиться крізь нього на свою роботу.

Основні принципи розробки користувацького інтерфейсу:

- врахування знань користувача — у інтерфейсі необхідно використовувати термінологію, зрозумілу для користувачам. Інтерфейс має бути настільки зручним, щоб користувач звик до нього без особливих зусиль.
- узгодженість — схожі операції повинні виконуватись одним і тим самим способом;
- мінімум несподіванок — поведінка системи має бути прогнозованою;
- здатність до відновлення — інтерфейс повинен мати засоби відновлення даних після вчинення помилкових дій;
- підтримка користувача — засоби підтримки користувача потрібно вбудувати в інтерфейс. Вони мають забезпечувати різні рівні допомоги і довідкової інформації на кількох рівнях: від основ для початківців до повного опису можливостей системи. Інтерфейс має надавати необхідну інформацію у разі помилок користувача й підтримувати засоби контекстно-залежної довідки;

- підтвердження деструктивної дії — при виборі потенційно деструктивної дії користувач повинен ще раз підтвердити свій намір;
- можливість відміни дії — тобто можливість повернення системи у той стан, в якому вона перебувала до їх виконання. Бажана підтримка багаторівневої відміни дій, бо користувач не завжди відразу розуміє, що припустився помилки;
- врахування різноманітності користувачів — інтерфейс має містити засоби зручної взаємодії з користувачами, що мають різний рівень кваліфікації та різні можливості.

Перелічені принципи застосовні до всього програмного і апаратного забезпечення, у всіх типах і стилях інтерфейсів. Дані принципи витримали перевірку часом і з появою нових комп'ютерних технологій залишилися незмінними.

Беручи до уваги сферу використання програми та принципи проектування інтерфейсу було спроектовано наступне (Рис.4.1):

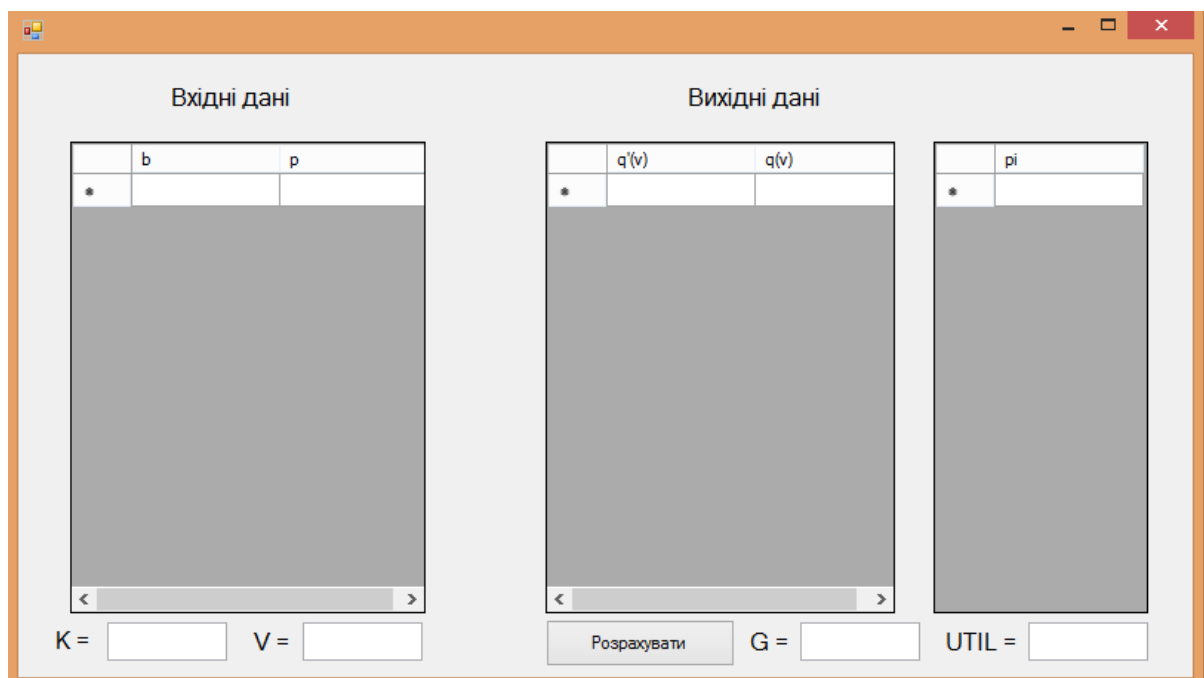


Рис. 4.1 Головне вікно програми

Як можна побачити з рисунку головне вікно програми умовно поділене на дві частини. У лівій частині вводяться вхідні дані, у правій відображаються результати розрахунків. Масиви даних b_k , ρ_k , $q'(v)$, $q(v)$, π_k відображаються у вигляді таблиць, що полегшує сприйняття значної кількості інформації. Для такого відображення даних було використано елемент *DataGridView*. Цей елемент дозволяє зручно працювати з масивами даних та колекціями. Тепер перейдемо до безпосередньої реалізації роботи програми. На основі рекурентного алгоритму, описаного в розділі 3.5, було розроблено схему алгоритму.



Рис. 4.2. Схема алгоритму роботи програми

4.3 Результати роботи програми

Для апробації програмного модуля була вибрана система Ерланга М/М/п з явними втратами. Було знайдено розподіл числа зайнятих ліній в п'ятилінійному пучку при збільшенні навантаження (рис.4.3), залежність ймовірності втрат від навантаження і числа ліній (рис.4.4), залежність навантаження від числа ліній та ймовірності втрат (рис.4.5).

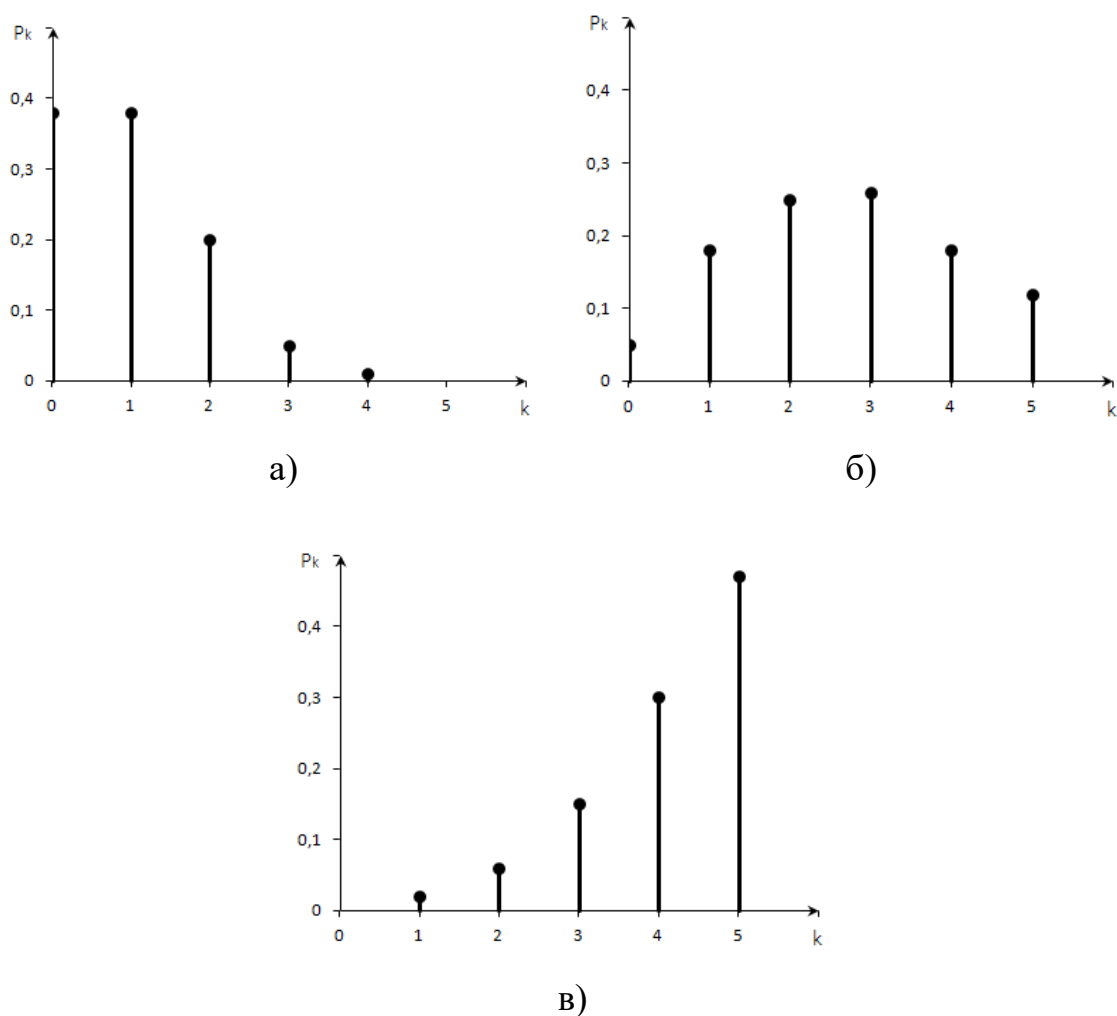


Рис. 4.3. Розподіл кількості зайнятих ліній в п'ятилінійному пучку при поступуючому навантаженні:
а) 1 Ерл; б) – 3 Ерл; в) – Ерл

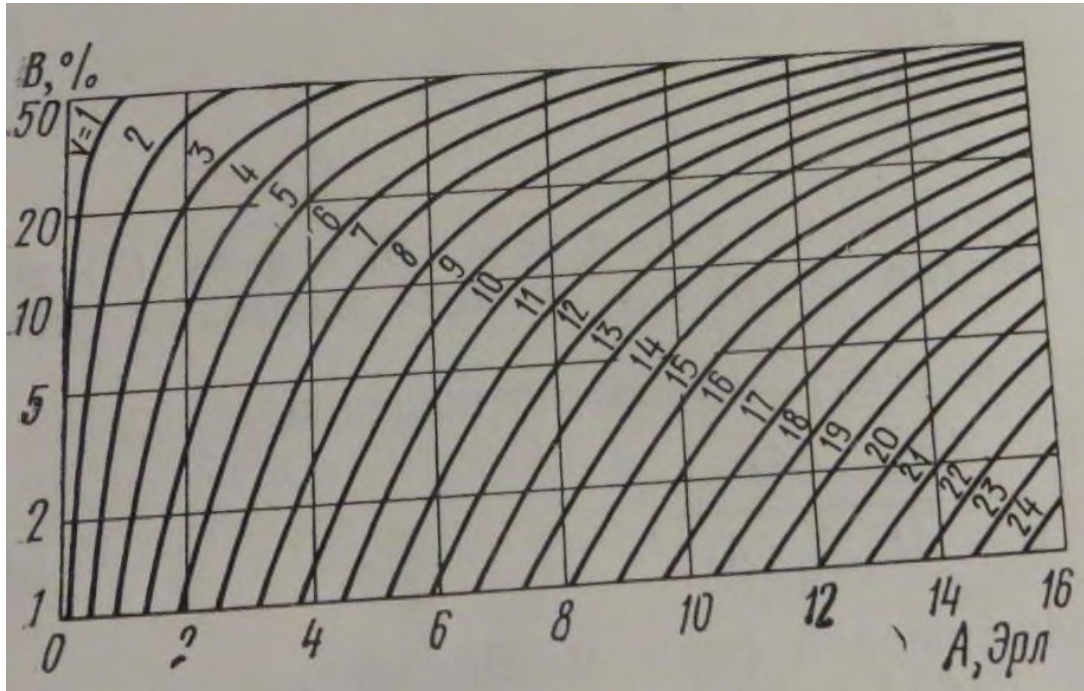


Рис 4.4. Залежність ймовірності втрат B від поступаючого навантаження A і кількості ліній n

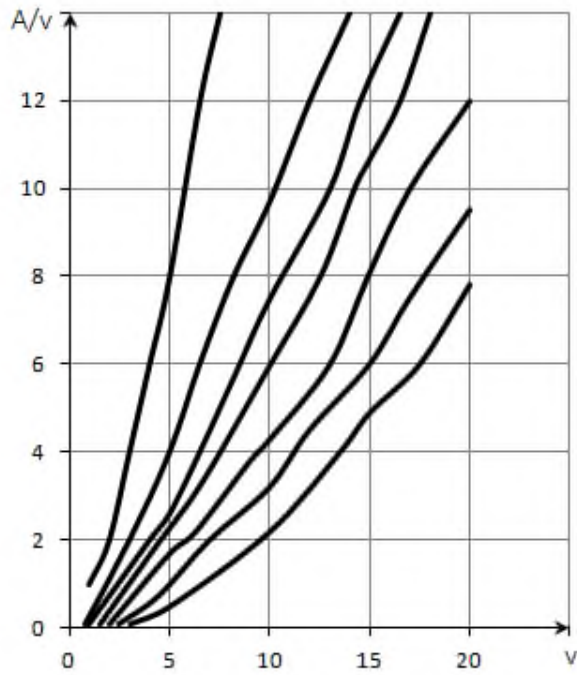


Рис 4.5. Залежність ймовірності втрат від кількості ліній

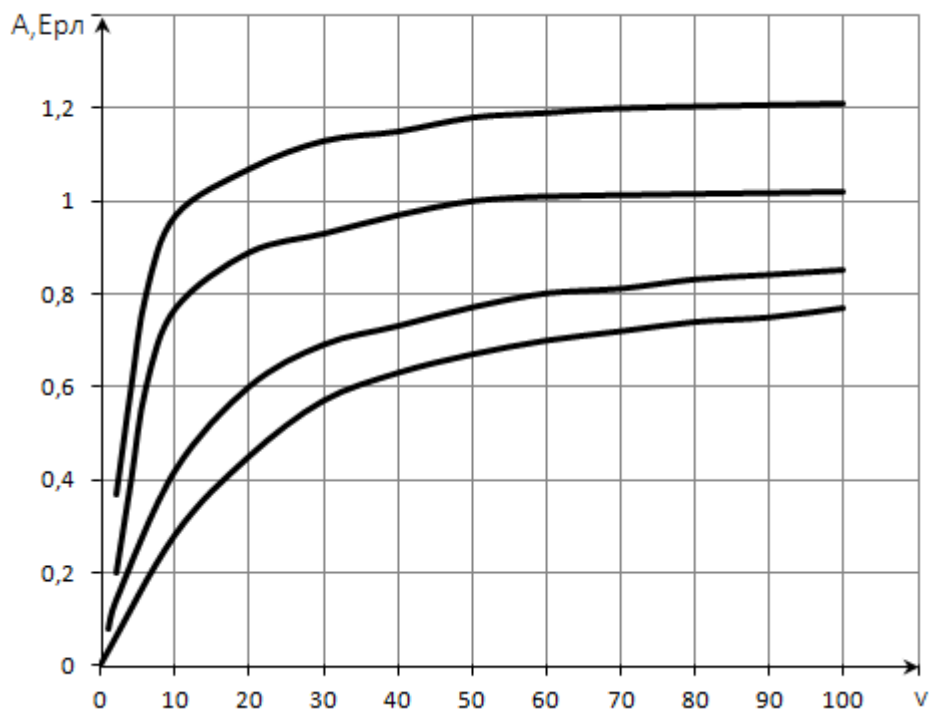


Рис 4.6. Залежність поступального навантаження від кількості ліній

З поданих рисунків видно, що результати, отримані за допомогою програмного модуля повністю узгоджуються з аналітичними результатами характеристик системи М/М/п.

4.4 Висновки до розділу

В четвертому розділі було описано мову програмування *C#*, програмну платформу *Microsoft .NET Framework*, розробку інтерфейсу програми та результати роботи програми.

Мова програмування *C#*, спираючись на практику своїх попередників, виключає деякі моделі, що зарекомендували себе як проблематичні при розробці програмних систем. Одна з головних переваг мови – можливість повторного використання створених компонентів. Мова програмування *C#* поєднує потужність і гнучкість універсальних мов програмування з високою

ефективністю виконавчого коду й можливістю безпосереднього доступу до апаратних ресурсів комп'ютера – одна з найкращих мов програмування.

Результати апробації програмного модуля повністю узгоджені з ааналітичними результатами характеристик системи $M/M/n$

ВИСНОВОК

Телекомунікаційна мережа – виконує функції транспортувальної системи інформаційна мережа використовує телекомунікаційну мережу для транспортування інформації. Інформаційна мережа відображає інформаційні процеси, які протікають в мережі телекомунікаційній мережі. Мережі характеризують за показниками, які відображають ефективність і якість передачі інформації. Проектування та керування трафіком направлено на вирішення завдань при забезпеченні заданої якості обслуговування мережі.

Мультисервісна мережа забезпечує пакетне передавання всіх видів трафіку з різними вимогами до якості обслуговування й надає користувачам можливість вільного доступу до мереж і до послуг постачальників конкурентів та до послуг з їх вибором.

Система масового обслуговування (СМО) – система, яка виконує обслуговування вимог, що надходять до неї відповідно до певних правил. При побудові моделі будь-якої СМО приймаються певні обмеження і допущення. Існує безліч систем масового обслуговування, що відрізняються структурно і функціонально. Аналітичні моделі СМО дозволяють визначати ймовірності станів системи в процесі її функціонування і показники ефективності. Усі характеристики якості обслуговування систем можна умовно розділити на три види. ймовірнісні, моментні, економічні.

В третьому розділі було розглянуто мультиплексування та параметри мультисервісної моделі Ерланга, теорему про рівноважний розподіл, макрохарактеристики мультисервісних мереж, алгоритм для обчислення макрохарактеристик.

Мультиплексування – ущільнення каналу передачі даних, тобто передача декількох потоків даних з меншою пропускнуою спроможністю по одному каналу. У системах передачі даних за технологією АТМ вся інформація оцифровується і упаковується в комірки по 53 байта. Передача

цих даних і створює оплачуване абонентом навантаження. В описі мультисервісної моделі Ерланга беруть участь два структурних параметри – V і K , а також 3 K -мірних вектори.

Рівноважний розподіл дає базу для виведення необхідних ймовірнісно-часових макрохарактеристик цифрової лінії. Для обчислення цих макрохарактеристик потрібні: загальна кількість комірок оперативної пам'яті $O(V + 3K)$ і загальна кількість арифметичних операцій $O(VK)$.

В четвертому розділі було описано мову програмування $C\#$, програмну платформу *Microsoft .NET Framework*, розробку інтерфейсу програми та результати роботи програми.

Мова програмування $C\#$, спираючись на практику своїх попередників, виключає деякі моделі, що зарекомендували себе як проблематичні при розробці програмних систем. Одна з головних переваг мови – можливість повторного використання створених компонентів. Мова програмування $C\#$ поєднує потужність і гнучкість універсальних мов програмування з високою ефективністю виконавчого коду й можливістю безпосереднього доступу до апаратних ресурсів комп'ютера – одна з найкращих мов програмування.

Результати апробації програмного модуля повністю узгоджені з аналітичними результатами характеристик системи $M/M/n$

СПИСОК БІБЛІОГРАФІЧНИХ ПОСИЛАНЬ ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Бойченко С. В., Іваненко О. В. Положення про дипломні роботи (проекти) випускників Національного авіаційного університету. – Київ: НАУ, 2017. – 63 с.
2. Масловський, Б. Г. Технології проектування комп'ютерних систем : навчальний посібник / Б. Г. Масловський, В. І. Дровозов, О. В. Коба ; МОН України, Національний авіаційний університет. – Київ : НАУ, 2015. – 500 с.
3. Ложковський А. Г. Теорія масового обслуговування в телекомунікаціях / А. Г. Ложковський. – Одеса: ОНАЗ ім. О.С. Попова, 2010. – 112 с.
4. Теорія телетрафіку: навч. посіб. / В. Я. Воропаєва, В. І. Бессараб, В. В. Турупалов, В. В. Червинський. – Донецьк: ДВНЗ «ДонНТУ», 2011. – 202 с.
5. Меликов А. З. Телетрафик: Модели, методы, оптимизация / А. З. Меликов, Л. А. Пономаренко, В. В. Паладюк. – Киев: ИПК «Политехника», 2007. – 256 с.
6. Лившиц Б. С. Теория телетрафика. Учебник для вузов / Лившиц Б. С., Пшеничников А. П., Харкевич А. Д. – Изд. 2-е (перераб. и доп.). – Москва: «Связь», 1979. – 224 с.
7. Воробієнко П. П. Телекомунікаційні та інформаційні мережі : Підручник [для вищих навчальних закладів] / П. П. Воробієнко, Л. А. Нікітюк, П. І. Резніченко. – Київ: САММІТ-Книга, 2010. – 708 с.
8. Гольдштейн Б. С. Протокол SIP / Б. С. Гольдштейн, А. А. Зарубин, В. В. Саморезов. – Санкт-Петербург: «БХВ-Петербург», 2005. – 456 с.
9. Довгий С. О. Сучасні телекомунікації: Мережі, технології, безпека, економіка, регулювання / С. О. Довгий, П. П. Воробієнко, К. Д. Гуляєв. – Вид. 2-ге (доповн.). – Київ: «Азимут-Україна», 2013. – 608 с.
10. Гольдштейн Б. С. IP-Телефония / Б. С. Гольдштейн, А. В. Пинчук, А. Л. Суховицкий. – Москва: «Радио и связь», 2001. – 336 с.

11. Карташевский В. Г. Основы теории массового обслуживания. Учебник для вузов. / В. Г. Карташевский. – Москва: Горячая линия – Телеком, 2013. – 130 с.
12. Гнеденко Б. В. Введение в теорию массового обслуживания / Б. В. Гнеденко, И. Н. Коваленко. – Москва: ЛКИ, 2007. – 400 с.
13. *Documentation Microsoft* [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://docs.microsoft.com/ru-ru/dotnet/framework/winforms/how-to-create-a-windows-forms-application-from-the-command-line>.
14. *Documentation Metanit* [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://metanit.com/sharp/windowsforms/1.1.php>.
15. ДСТУ 3008-95. Документація. Звіти у сфері науки і техніки. Структура і правила оформлення / Нац. стандарт України. – Вид. офіц. – [Чинний від 1995–02–23]. – Київ : Держстандарт України, 1995. – 39 с.
16. Единая система конструкторской документации. Текстовые документы : ГОСТ 2.106-96. – [Дата введения 1997–07–01]. – М.: Стандартинформ, 1997. – 39 с. – (Межгосударственный стандарт).

Додаток А
Код програми

```
using System;  
using System.Collections.Generic;  
using System.Collections;  
using System.ComponentModel;  
using System.Data;  
using System.Drawing;  
using System.Linq;  
using System.Text;  
using System.Threading.Tasks;  
using System.Windows.Forms;  
  
namespace WindowsFormsApp1  
{  
    public partial class Form1 : Form  
    {  
        public Form1()  
        {  
            InitializeComponent();  
        }  
  
        private void button1_Click(object sender, EventArgs e)  
        {  
            bk.Clear();  
            pk.Clear();  
            bk.AddRange(Generate(K));  
            pk.AddRange(Generate(K));  
        }
```

```
for (int i = 0; i < bk.Count; i++)
{
    Tablebp.Rows.Add(bk[i], pk[i]);
}
}
```

```
ArrayList Templist = new ArrayList();
int V = 10;
int K = 10;
ArrayList bk = new ArrayList();
ArrayList pk = new ArrayList();
ArrayList qv = new ArrayList();
ArrayList pi = new ArrayList();
ArrayList qsv = new ArrayList();
```

```
Double G;
```

```
public ArrayList Generate(int K)
{
    Templist.Clear();
    Random rnd = new Random();
    for (int i = 1; i <= K ; i++)
    {
        Templist.Add( rnd.Next(0, K));
    }
    return Templist;
}
```

```
Double suma = 0;
```

```
public void Calculate()
```

```
{
```

```
    double qsv1 = 0f;
```

```
    for (int v = 1; v <= V; v++)
```

```
    {
```

```
        int Count = 0;
```

```
        CalculateQSV(v);
```

```
        double CalculateQSV(double tempv)
```

```
        {
```

```
            if (tempv == 0) return 1f;
```

```
            else if (tempv < 0) return 0f;
```

```
            else
```

```
            {
```

```
                for (int i = 0; i < bk.Count; i++)
```

```
                {
```

```
                    suma = suma + Convert.ToDouble(bk[i]) *
```

```
Convert.ToDouble(pk[i]) * CalculateQSV(tempv - Convert.ToDouble(bk[i]));
```

```
                }
```

```
                qsv1 = suma / tempv;
```

```
                return qsv1;
```

```
            }
```

```
        }
```

```
        qsv.Add(qsv1);
```

```
        Count++;
```

```
    }
```



```
}
```

```
public void CalculateG()
```

```
{
```

```
    //qsv[0] = 1;
```

```
    for (int v = 0; v < qsv.Count; v++)
```

```
    {
```

```
        G = G + Convert.ToDouble(qsv[v]);
```

```
    }
```

```
    G = G + 1;
```

```
}
```

```
public void CalculatePerehod()
```

```
{
```

```
    for (int v = 0; v < qsv.Count; v++)
```

```
    {
```

```
        qv.Add( Convert.ToDouble(qsv[v]) / v);
```

```
    }
```

```
}
```

```
public void CalculatePi()
```

```
{
```

```
    Double SumQ = 0;
```

```
    for (int k = 0; k < bk.Count; k++)
```

```
    {
```

```
        for (int v = V - Convert.ToInt32(bk[k]) + 1; v < V; v++)
```

```
        {
```

```
            SumQ = SumQ + Convert.ToDouble(qv[v]);
```

```
    }  
    pi.Add( SumQ);  
  }  
}
```

```
Double Util = 0f;  
public double CalcUTIL()  
{  
    for (int v = 0; v < qv.Count; v++)  
    {  
        Util = Util + v * Convert.ToDouble(qv[v]);  
    }  
    return Util;  
}
```

```
private void button2_Click(object sender, EventArgs e)  
{  
    qv.Clear();  
    pi.Clear();  
    qsv.Clear();  
  
    Calculate();  
    CalculateG();  
    CalculatePerehod();  
    CalculatePi();  
  
    textBoxG.Clear();
```

```
textBoxG.Text = Convert.ToString(G);

for (int i = 0; i < qsv.Count; i++)
{
    Tableq.Rows.Add(qsv[i], qv[i]);
}

for (int i = 0; i < pi.Count; i++)
{
    TablePi.Rows.Add(pi[i]);
}

textBoxUTIL.Clear();
textBoxUTIL.Text = Convert.ToString(CalcUTIL());
}
}
}
```