

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ,
МОЛОДІ ТА СПОРТУ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»**

Можасв Олександр Олександрович



УДК 044.77:621.39(043.3)

**МОДЕЛІ ТА МЕТОДИ ПЕРЕДАЧІ ІНФОРМАЦІЇ
У ГЕТЕРОГЕННИХ КОМП'ЮТЕРНИХ МЕРЕЖАХ**

Спеціальність 05.13.05 – комп'ютерні системи та компоненти

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
доктора технічних наук

Харків – 2013

Дисертацією є рукопис.

Роботу виконано на кафедрі мультимедійних інформаційних технологій і систем Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут» Міністерства освіти і науки, молоді та спорту України.

Науковий консультант: доктор технічних наук, професор
Порошин Сергій Михайлович,
Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут»,
завідувач кафедри мультимедійних
інформаційних технологій і систем

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Климаш Михайло Миколайович,
Національний університет
«Львівська політехніка»,
завідувач кафедри телекомунікацій;

доктор технічних наук, професор
Кічак Василь Мартинович,
Вінницький національний технічний
університет, завідувач кафедри
телекомунікаційних систем і телебачення;

доктор технічних наук, професор
Фурман Ілля Олександрович,
Харківський національний технічний
університет сільського господарства
ім. Петра Василенка, завідувач кафедри
автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих
технологій.

Захист відбудеться «28» березня 2013 р. о 14³⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.050.14 у Національному технічному університеті «Харківський політехнічний інститут» за адресою: 61002, Харків, вул. Фрунзе, 21 (електрокорпус, 1-й поверх, ауд. 54-Б).

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут».

Автореферат розісланий «22» лютого 2013 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради



І.Г. Ліберг

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. При створенні єдиного інформаційного простору України все більше уваги приділяється розвитку систем передачі інформації на базі сучасних комп'ютерних мереж, але в умовах обмеженого фінансування та різноманіття галузевих програм інформатизації, що є характерним для сьогодення України, більшість комп'ютерних мереж (КМ) є гетерогенними, тобто складаються із різноманітних програмно-апаратних засобів під керуванням різних операційних систем, та забезпечують споживачам широкий спектр інформаційних послуг. Це стає суттєвою перешкодою для досягнення необхідної якості обслуговування, зокрема часових вимог, для багатьох інформаційних систем критичного застосування (ІСКЗ).

Одним з прикладів ІСКЗ можна вважати автоматичну ідентифікаційну систему (АІС), яка проводить постійний обмін даними між суднами, суднами і береговими службами, а також здійснює постійний моніторинг регіональних систем безпеки мореплавства та інформаційного забезпечення судноплавства.

Враховуючи розподілений характер АІС, комп'ютерні мережі передачі інформації цієї системи можуть вважатися підсистемами, які визначають ефективність її функціонування. Характерною особливістю комп'ютерних мереж АІС можна вважати великі обсяги інформації, що циркулює в мережі та високі часово-імовірнісні вимоги до її передачі.

В умовах істотного збільшення обсягів інформації у гетерогенних комп'ютерних мережах особлива роль приділяється вдосконаленню й розробці нових технологій передачі та розподілу інформації, що забезпечують оперативність обміну в ІСКЗ на основі інформаційних технологій теорії масового обслуговування, методів фрактального аналізу й оптимізаційних методів теорії динамічних систем.

Так зокрема у теорії передачі інформації в КМ накопичено значний теоретичний матеріал і практичний досвід. Найбільш суттєвими роботами в даному напрямку є дослідження зарубіжних і вітчизняних вчених, серед яких Клейнрок Л., Бертсекас Д., Беслер Р., Галлагер Р., Леланд В.Е., Фалкерсон Д.Р., Хінчин А.Я., Назаров О.М., Вішневський В.М., Ліханов М.Б., Крилов В.В., Заборовський В.С., Шелухін О.І., Стеклов В.К. та ін. Проте постійний розвиток технічних засобів забезпечення комп'ютерних систем сприяє тому, що постановка завдань передачі інформації в КМ істотно змінюється.

Традиційні методи розподілу мережевого ресурсу припускають згладжування трафіка інформаційних потоків на основі статистичного мультиплексування. Існуючі методи керування перевантаженнями, які використовувались на критичних ділянках, також не враховують властивостей трафіка гетерогенних мереж. Ця обставина визначає необхідність удосконалення класичного математичного інструментарію аналізу та синтезу розподілених комп'ютерних систем та мереж для підвищення оперативності передачі інформації.

Таким чином, **проблема** підвищення оперативності передачі інформації в умовах збільшення її обсягів на основі розробки моделей і методів передачі інформації в

гетерогенних комп'ютерних мережах має важливе науково-практичне значення, є актуальною та визначає напрямки досліджень дисертаційної роботи.

Зв'язок роботи з науковими планами, програмами, темами. Дисертаційну роботу виконано на кафедрі мультимедійних інформаційних технологій і систем НТУ «ХП». Здобувач, як відповідальний виконавець, проводив дослідження у рамках держбюджетної НДР МОН України: «Розробка методології експертизи акустичної обстановки в населених пунктах України та в місцях антропогенного акустичного впливу» (ДР № 0110U001255); у держбюджетних НДР МО України: «Аналітичний огляд щодо визначення сучасного стану та перспектив розвитку складних організаційно-технічних систем військового призначення та показників ефективності управління такими системами» (ДР № 0101U000520), «Оцінка можливостей використання телекомунікаційної мережі АСУ «Дніпро» для забезпечення достовірності, оперативності та інформаційної безпеки при оповіщенні про повітряну обстановку в АСУ спеціального призначення» (ДР № 0101U000439); «Розробка програмно-апаратного комплексу інформаційно-комп'ютерної системи розподіленого доступу до баз даних забезпечення навчально-виховного процесу Харківського університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба» (ДР № 0101U000641).

Мета і завдання дослідження. Метою дослідження є підвищення оперативності передачі інформації в умовах збільшення її обсягів на основі розробки моделей і методів передачі інформації в гетерогенних комп'ютерних мережах.

Для досягнення поставленої мети в дисертаційній роботі були сформульовані такі завдання:

- провести аналіз стану проблеми передачі інформації в гетерогенних комп'ютерних мережах та особливостей їх трафіка;
- розробити моделі мережевих процесів на критичній ділянці комп'ютерної мережі та визначити характеристики механізму мережевої взаємодії;
- розробити моделі динамічних процесів у віртуальних з'єднаннях агрегованого пульсуючого трафіка;
- розробити метод прогнозування фрактального трафіка, який враховує масштабну інваріантність його статистичних характеристик;
- розробити метод параметричного управління передачею інформації у комп'ютерній мережі;
- розробити метод розподілу мережевого ресурсу з урахуванням довготривалої залежності фрактального трафіка;
- розробити метод синтезу топології систем передачі інформації в гетерогенних комп'ютерних мережах з урахуванням динамічного характеру зміни мережі;
- розробити метод інтелектуального управління передачею інформації з урахуванням результатів прогнозування поведінки фрактального трафіка;

- розробити комплексну методику оцінки ефективності передачі інформації в комп'ютерних мережах з урахуванням нелінійності трафікових процесів.

Об'єктом дослідження є процес передачі інформації у гетерогенних комп'ютерних мережах.

Предметом дослідження є моделі та методи передачі інформації у гетерогенних комп'ютерних мережах.

Методи дослідження. Розробка математичних моделей трафіка проводилася з використанням методів теорії масового обслуговування, оптимізаційних методів теорії дослідження операцій і методів теорії динамічних систем. При розробці методів управління інтегральними потоками даних використовувалися методи фрактального аналізу, теорії інформації і теорії складних систем, а також методи функціонального аналізу і математичний апарат дробового інтегрування та вейвлет-перетворень. Оцінка експериментальних даних проводилася на основі методів математичної статистики.

Вибір методів дослідження забезпечив *достовірність* отриманих результатів та висновків, що підтверджується збіжністю результатів експериментальних досліджень, отриманих під час програмної реалізації алгоритмів управління інтегральними потоками даних з теоретичними і практичними результатами. Все це знайшло своє відображення у публікаціях та обумовлено їх відповідністю положенням теорії управління трафіком у розподілених комп'ютерних і телекомунікаційних мережах.

Наукова новизна отриманих результатів полягає в тому, що запропоновано, обґрунтовано та застосовано комплексний підхід до рішення науково-практичної проблеми підвищення оперативності передачі інформації у гетерогенних комп'ютерних мережах на основі реалізації розроблених моделей і методів:

Уперше розроблені:

- моделі передачі інформації в гетерогенних комп'ютерних мережах з використанням математичного апарату нелінійних динамічних систем, які на відміну від існуючих враховують пульсуючий характер трафіка;

- метод прогнозування фрактального трафіка в гетерогенній комп'ютерній мережі, який на відміну від існуючих враховує масштабну інваріантність його статистичних характеристик;

- метод інтелектуального управління передачею інформації, який на відміну від інших використовує результати прогнозування поведінки фрактального трафіка.

Удосконалені:

- методи моделювання процесів передачі інформації в гетерогенних комп'ютерних мережах, які на відміну від існуючих враховують фрактальні властивості пульсуючого трафіка;

- метод параметричного управління передачею інформації у комп'ютерній мережі, який на відміну від існуючих враховує особливості взаємодії інформації, що передається у гетерогенних мережах та забезпечує

рівномірність розподілу мережевого обчислювального ресурсу за рахунок варіацій відповідних параметрів;

- метод визначення показника фрактальної розмірності, який на відміну від існуючих використовує нейромережеві технології.

- методи передачі інформації в гетерогенних комп'ютерних мережах з пульсуючим трафіком, які на відміну від існуючих враховують зміни у топології мережі;

Одержали подальший розвиток:

- метод синтезу топології систем передачі інформації в гетерогенних комп'ютерних мережах, який на відміну від існуючих враховує динамічний характер зміни мережі на основі методу предиктивного управління;

- комплексна методика оцінки ефективності передачі інформації в гетерогенних комп'ютерних мережах, яка на відміну від існуючих враховує нелінійність трафікових процесів і ґрунтується на запропонованих методах прогнозу зміни стану системи передачі даних.

Обґрунтованість і достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій дисертаційної роботи підтверджується коректним використанням сучасних методів теорії побудови комп'ютерних мереж, теорії інформації і масового обслуговування; доведеннями тверджень і теорем, оцінками складності пропонованих методів і рішень, результатами моделювання і тестування розроблених методів та алгоритмів, експериментальними дослідженнями методів і моделей передачі інформації в комп'ютерних гетерогенних мережах.

Практичне значення отриманих результатів в галузі комп'ютерних систем та мереж полягає в розробці моделей та методів, які в сукупності вирішують важливу науково-практичну проблему підвищення оперативності передачі інформації в гетерогенних комп'ютерних мережах, і є теоретичною основою для розв'язання практичних задач.

Метод розподілу обчислювального ресурсу гетерогенної мережі, що має фрактальний характер, та комплекс математичних моделей трафіка інформаційних потоків гетерогенної мережі підтримки системи логістики були використані при розробці перспективного плану наукової та науково-технічної діяльності Метрологічного центру військових еталонів Збройних Сил України (м. Харків).

Метод побудови адекватної моделі процесу генерації трафіка гетерогенної комп'ютерної мережі, який дозволяє виділити солітоноподібну та марківську високочастотні складові трафіка використані при виконанні ДКР за темою «Розроблення програмного забезпечення автоматизованого програмного забезпечення робочого місця регіонального центру СФД для інформаційного забезпечення Державного реєстру документів СФД України» тематичного плану Державного департаменту страхового фонду документації (СФД) (м. Харків) на 2009 рік.

Метод прогнозування поведінки найбільш змінних ділянок трафіка автоматичної ідентифікаційної системи (ізольовані списки або горби, їх амплітуда і тривалість), який базується на його представленні у вигляді

солітоноподібних функцій та є результатом вирішення нелінійних диференціальних рівнянь Кортевега – де Вріза, і метод синтезу топології систем передачі інформації гетерогенних комп'ютерних мереж використані конструкторським бюро «Радіозв'язок» ТОВ «Телекарт-Прилад» (м. Севастополь).

Розроблені методи та моделі використані в навчальному процесі кафедри мультимедійних інформаційних технологій і систем НТУ «ХПІ» в курсах: «Системи та мережі розповсюдження телекомунікаційних і інформаційних послуг», «Моделювання та проектування мультисервісних мереж».

Особистий внесок здобувача. Усі основні результати, які виносяться на захист, одержані здобувачем особисто, серед них – розробка базової моделі мережевих процесів в гетерогенних комп'ютерних мережах і визначення характеру механізму мережевої взаємодії; розробка моделей динамічних процесів у віртуальних з'єднаннях агрегованого пульсуючого трафіка; розробка методів прогнозування фрактального трафіка, який враховує масштабну інваріантність статистичних характеристик; розробка методу параметричного управління передачею інформації гетерогенної комп'ютерної мережі; розробка методу розподілу мережевого ресурсу гетерогенних комп'ютерних мереж з фрактальним трафіком з урахуванням довготривалої залежності; розробка методу синтезу топології систем передачі інформації в гетерогенних комп'ютерних мережах, який на відміну від існуючих враховує динамічний характер зміни мережі на основі предиктивного управління; розробка комплексної методики оцінки ефективності передачі інформації в гетерогенних комп'ютерних мережах, яка на відміну від існуючих враховує нелінійність трафікових процесів і ґрунтується на запропонованих методах прогнозу зміни стану системи передачі даних.

Апробація результатів дисертації. Основні результати роботи доповідалися і обговорювалися на: Міжнародній науково-технічній конференції «Гарантоспроможні (надійні та безпечні) системи, сервіси та технології» (Україна, 2006), XVIII Міжнародній науково-практичній конференції «Інформаційні технології: наука, техніка, освіта, здоров'я» (Харків, 2010), Міжнародній науково-практичній конференції «Технічний прогрес в АПК» (Харків, 2006), Міжнародній науково-практичній конференції «Інтегровані комп'ютерні технології в машинобудуванні ІКТМ-2006» (Харків, 2006), VI, IX-XI Міжнародних науково-практичних конференціях «Проблеми информатики и моделирования» (Харків, 2006, 2009-2011), III Науковій конференції Харківського університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, (Харків, 2007), 1-й міжнародній НТК «Компьютерные технологии в технике и экономике» (Воронеж, 2007), I Міжнародній науково-технічній конференції «Інформаційні технології в навігації і управлінні: стан та перспективи розвитку» (Київ, 2010), I Міжнародній науково-технічній конференції «Сучасні напрями розвитку інформаційно-комунікаційних технологій та засобів управління» (Київ, 2010), міжнародній науково-технічній конференції «Statistical Methods Of Signal and Data Processing (SMSDP-2010)», VII науково-технічній конференції «Наукові технології – для захисту повітряного простору» (Харків, 2011), XVIII Міжнародній конференції з автоматичного

управління Automatics-2011 (Львів, 2011), I Міжнародній науково-технічній конференції «Інформаційні проблеми теорії акустичних, радіоелектронних та телекомунікаційних систем IPST-2012» (Алушта, 2012), II Міжнародній науково-практичній конференції «Информатика, математическое моделирование, экономика» (Росія, м. Смоленськ, 2012), XXV Міжнародній конференції «Перспективні комп'ютерні, керуючі та телекомунікаційні системи для залізниць України», (Алушта, 2012).

Публікації. Основні результати роботи відображено у 63 наукових публікаціях, з них – 2 монографії, 43 статті у наукових фахових виданнях України та у 17 тезах доповідей на наукових конференціях.

Структура та об'єм дисертації. Дисертаційна робота складається зі вступу, шести розділів, висновків, додатків та списку використаних джерел. Повний обсяг дисертації становить 392 сторінок: з них 76 рисунків за текстом; 16 рисунків на 10 окремих сторінках; 7 таблиць за текстом; 15 додатків на 72 сторінках; 250 найменувань використаних літературних джерел на 25 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність теми дисертаційних досліджень, сформульовано її мету та задачі, визначено об'єкт, предмет і методи дослідження, наукову новизну та практичну значущість роботи.

У першому розділі проведено аналіз науково-технічної проблеми на прикладі АІС, досліджено принципи функціонування КМ АІС. Проаналізована загальна структура автоматичної ідентифікаційної системи та інформації, яка приймається та передається в АІС, що дозволило визначити вимоги до системи передачі інформації як до технічного засобу базової КМ.

Відмінною рисою мереж передачі інформації (МПІ) АІС є динамічне збільшення обсягів циркулюючої інформації, а за умов виходу з ладу каналів зв'язку, додаються ще й критичні ділянки (КД) з обмеженим мережним ресурсом, які обумовлені пропускнуою здатністю КД.

Як показують теоретичні й експериментальні дослідження процесів обміну інформацією в мережі, трафік інформаційних потоків (ІП) має фрактальну структуру, що ускладнює використання класичних методів моделювання на основі загальної теорії інформації. Особливості трафіка ІП проявляються у його специфічному профілі, що визначає фрактальний характер відповідних процесів. У ньому завжди присутня деяка кількість достатньо сильних викидів на фоні низького середнього рівня, тобто збільшується коефіцієнт відхилення пікових значень інтенсивності інформаційного потоку, обумовлений виразом:

$$k_n = \frac{\lambda_{\max}}{\lambda_{cp}}, \quad (1)$$

де λ_{\max} – максимальне значення інтенсивності ІП; λ_{cp} – середнє значення інтенсивності ІП.

Все це значно погіршує характеристики (збільшує втрати та час затримок) при проходженні трафіка ПІ навіть у випадках, коли середня інтенсивність трафіка набагато нижче потенційно досяжної швидкості передачі в даному каналі.

На даний час застосовуються моделі й методи керування інтегральними потоками, засновані на класичній теорії телетрафіка. Однак в умовах постійного збільшення обсягів інформації та підвищенні ступеня її гетерогенності це призводить до неадекватності процесу керування профілем трафіка, відсутності можливості врахування короткочасних пікових значень інтенсивності. Наслідком цього є неефективне використання МПІ АІС.

Передумови до виникнення даних проблем ґрунтуються на складностях системного характеру, пов'язаних з недосконалістю принципів побудови та алгоритмів функціонування сучасних мережевих технологій. На практиці це проявляється в недостатній якості методів передачі інформації у гетерогенних комп'ютерних мережах (ГКМ), що у підсумку призводить до неприпустимих затримок у процесі обміну інформацією в АІС.

В результаті аналізу структурної організації, моделей та методів передачі інформації у ГКМ обґрунтовані та сформульовані мета й завдання дисертаційної роботи.

Другий розділ присвячено дослідженню моделей і методів передачі інформації у гетерогенних мережах. Проведено аналіз методу агрегування фрактального трафіка та моделювання трафіка комп'ютерних мереж на базі теорії динамічного хаосу. Проаналізована мультифрактальна вейвлет-модель та її застосування до мережевого трафіка ГКМ.

Проведено аналіз властивостей інформаційного трафіка КМ, як самоподібного процесу. Для цього використано двовимірне перетворення сплесків (вейвлет-перетворення), в основі якого полягає процедура багатократного відділення високочастотної складової сигналу та її подальшого розкладання за локалізованим базисом, що складається із зсувів обраної базисної функції. Для побудови моделі трафіка потрібні підпростори функцій різних масштабів V_i . Ці підпростори визначаємо на основі перетворень зсуву і стиску масштабуючих функцій $\psi(x)$. Після побудови ортогонального базису стає можливим дослідження характеристик не тільки центрованих приростів мережевого навантаження, але й ідентифікація масштабно-інваріантних характеристик самих потоків даних. Моменти порядку q для суміжних рівнів масштабування $j-1$ та j зв'язані простим алгебраїчним співвідношенням $M \{ U_{j-1,k}^q \} = M \{ U_{j,k}^q \} \cdot 2^{q/2} M \{ (1 - a_{(j-1)})^q \}^{-1}$, що дозволяє використовувати для формування моделі трафіка властивості статистичних моментів на різних інтервалах агрегації.

Традиційні способи опису передачі інформації у КМ АІС припускають, що пакетний трафік складається з активних і пасивних періодів з добре відомими статистичними характеристиками. Проте, вимірювальні дослідження відзначають, що не існує закономірної довжини пульсації. Виявилось, що пульсації проявляються на багатьох часових масштабах. На кожному масштабі

більш детальне дослідження даних показало, що пульсації переходять в інші пульсації на менших масштабах часу і т. д. на великій кількості часових масштабів. Запропоновані методи моделювання передачі інформації у ГKM, які враховують хаотичні відображення. При аналізі кусково-лінійних відображень (КЛВ) встановлено, що активні та пасивні періоди розподілені геометрично. Розширенням КЛВ є уривчасте відображення, в якому кусково-лінійне відображення, яке відповідає пасивному інтервалу, замінюється на нелінійний сегмент.

Основним критерієм, за яким визначають, що будь-який процес, у тому числі й телекомунікаційний трафік, має фрактальні особливості, є його дробова розмірність. Для аналізу хаотичних процесів, таких як, наприклад, поширення трафіка, введено показник Херста, що дозволяє визначити хаотичність або стохастичність процесу. У класичному вигляді цей показник може бути отриманий із співвідношення: $(R/S) = (\alpha N)^{-H}$. У роботі запропоновано вдосконалений метод розрахунку показника Херста. Попередній вираз представимо у рекурентній формі $H(k+1) = \ln \frac{R(k)}{S(k)} / (\ln N(k) + \ln \alpha)$.

Можна побачити, що показник Херста може уточнюватися на кожному кроці агрегування без попереднього запам'ятовування значень інтенсивності трафіка. Реалізацію запропонованого методу визначення H може бути спрощено за допомогою застосування нейромережових технологій. Таким чином, запропонований алгоритм дозволяє зменшити час, який потрібен для обчислення H .

Третій розділ присвячено вдосконаленню моделей передачі інформації у ГKM з використанням математичного апарату нелінійних динамічних систем. Проведено дослідження трафікових процесів, які припускають повторні запити. Проаналізовано особливості поведінки нелінійної динамічної моделі трафіка ГKM АІС.

Для дослідження особливостей передачі інформації у ГKM АІС застосовано спосіб обчислення розмірності Хаусдорфа конкретної реалізації корельованого гаусівського випадкового процесу, який має місце в досліджуваних мережах. У подальшому, враховуючи співвідношення, отримані для фрактальної розмірності, визначено спектральні особливості трафікового процесу.

Для створення моделі процесу передачі даних, яка враховує особливості поведінки пікових (найбільш навантажених) ділянок трафіка критичної ділянки мережі пропонується моделювання трафіка ГKM нелійними динамічними системами. Основна увага присвячена аналізу рішення нелінійного диференціального рівняння Кортевега – де Вріза (скорочено – рівняння КДВ), яке можна представити у вигляді:

$$u_t - 6uu_x + u_{xxx} = 0, \quad (2)$$

де u – функція, яка характеризує досліджуваний процес.

Особливістю рівняння КДВ є те, що воно інтегрується і має розв'язання у вигляді стаціонарних рухомих хвиль, а саме відокремленої хвилі:

$$u(x,t) = -\frac{1}{2}a^2 \operatorname{sch}^2 \left[\frac{1}{2}a(x - x_0 - at)^2 \right], \quad (3)$$

де a – параметр, який впливає на властивість відокремленої хвилі.

На рис. 1 представлені основні властивості солітонів, як розв'язань рівняння КДВ. У загальному випадку довільне локалізоване збурення для рівняння КДВ розділяється на дві частини: солітони, що розповсюджуються вправо, та осцилюючу хвилю з амплітудою, яка затухає з часом та розповсюджується вліво.

Для подальших теоретичних досліджень солітоноподібних розв'язань рівняння КДВ та зіставлення цих розв'язань з процесом передачі даних в ГКМ, представимо графіки реалізацій трафіка в мережі (рис. 2).

Для успішного моделювання необхідно проаналізувати методи розв'язання рівнянь КДВ і застосовність використання цих методів.

Припустимо, що наявність солітоноподібних розв'язань рівняння КДВ тісно пов'язана з існуванням нескінченної послідовності поліноміальних законів збереження, що мають вигляд:

$$T_t + X_x = 0, \quad (4)$$

де щільність T , що зберігається, та потік X деякої величини є поліноміальними функціями змінної u та її похідних по x . Очевидно, що рівняння КДВ само може бути записане у вигляді закону збереження:

$$u_t + \left[-3u^2 + u_{xx} \right]_x = 0. \quad (5)$$

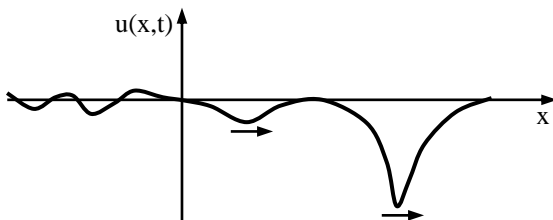


Рисунок 1 – Основні властивості солітонів

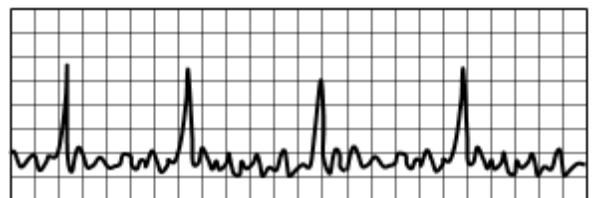


Рисунок 2 – Графік реалізації трафіка

Якщо в рівнянні (2) квадратичний закон взаємодії потоків замінити кубічним, то хвилі можуть бути описані модифікованим рівнянням КДВ:

$$v_t - 6v^2 v_x + v_{xxx} = 0. \quad (6)$$

Наявність нескінченних послідовностей законів збереження для рівняння КДВ і модифікованого рівняння КДВ призводить до припущення існування зв'язку між розв'язаннями цих рівнянь. Тоді рівняння КДВ може отримати вигляд:

$$\Psi_{xx} - (u - \lambda) \Psi = 0. \quad (7a)$$

Асимптотична поведінка хвильової функції, яка є рішенням рівняння КДВ, може бути представлена у вигляді:

$$\Psi(x, t) \approx \begin{cases} e^{-ikx} + b(k)e^{ikx}, & \text{якщо } x \rightarrow \infty; \\ a(k)e^{-ikx}, & \text{якщо } x \rightarrow -\infty. \end{cases} \quad (76)$$

Схема розв'язання рівняння КДВ надана на рис. 3.

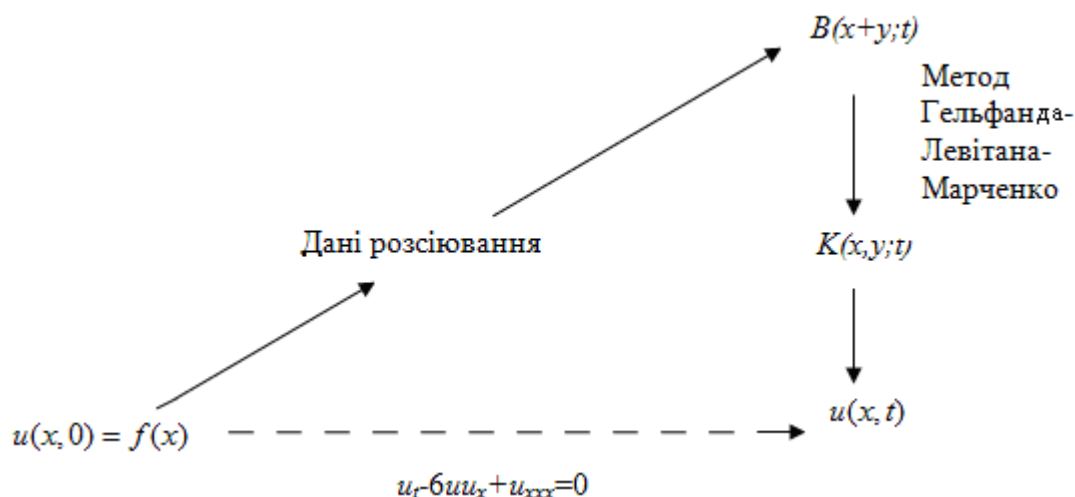


Рисунок 3 – Схема розв'язання рівняння КДВ

В результаті досліджень нелінійних динамічних систем запропоновано модель трафіка ГKM, що заснована на його представленні у вигляді солітоноподібних функцій, які є результатом розв'язання нелінійних диференціальних рівнянь Кортевега – де Вріза. Найбільший виграш у використанні такої моделі (до 12%) можна отримати у разі вивчення і прогнозування поведінки найбільш змінних ділянок телекомунікаційного трафіка (ізольовані списки або горби, їх амплітуда і тривалість) у порівнянні з існуючими.

Аналізуючи на стійкість запропоновану модель ГKM передачі інформації АІС було встановлено, що така система є дисипативною, а трафік у неї має фрактальні властивості.

Проведено аналіз спектра $\lambda_i = \lim_{t \rightarrow \infty} \frac{1}{t - t_0} \int_{t_0}^t \text{Re} \rho_i(t^i) dt^i$ показників Ляпунова з

урахуванням дисипативності досліджуваної системи. Встановлено, що можливість реалізації атрактора з позитивним показником Ляпунова виникає починаючи з розмірності фазового простору $N=3$.

Проведено дослідження фрактальної розмірності $D_F = \lim \left[\frac{\ln M(\varepsilon)}{\ln(1/\varepsilon)} \right]$ дивного

атрактора та отримано значення $D_F = 0,63$, що свідчить про фрактальний характер такого процесу.

В результаті моделювання трафіка, як системи масового обслуговування (СМО) $G|G|m|\infty$ з m каналами, рекурентним вхідним потоком $t_0 = 0 \leq t_1 = t_0 + \xi_0 \leq t_2 = t_1 + \xi_1 \dots$ та часом обслуговування η_0, η_1, \dots , було проведено асимптотичний аналіз розподілів з «важкими» і «надважкими»

хвостами. Отримані співвідношення для індексів випадкових величин дозволяють одержати достовірні оцінки ймовірності передачі й втрати пакетів у ГKM. Застосуємо запропоновані оцінки поведінки хвостів функцій розподілу випадкових величин для розподілів, які використовуються для моделювання трафіка, що має фрактальний характер. Найбільш застосовним, як відомо є сімейство розподілів Парето, функцію розподілу якого за умов $a > 1, k > 0$ можна представити у вигляді:

$$F(x) = \begin{cases} 0, & \text{якщо } 0 \leq x \leq k; \\ 1 - (k/x)^a, & \text{якщо } k \leq x \leq \infty. \end{cases} \quad (8)$$

Для випадку двопараметричного сімейства розподілів встановлено, що хвости розподілу є «надважкими», а при фіксованому математичному очікуванні втрати пакетів, двопараметричне сімейство розподілів перетворюється в однопараметричне. Наближення параметра, що залишився, до одного з граничних значень, приводить до появи поняття «надважкого хвоста розподілу втрати пакетів».

Четвертий розділ присвячено методам управління об'єднаним трафіком ГKM III. Для цього досліджуються методи моделювання процесу конвергенції трафіка окремих служб ГKM III (рис. 4 та рис. 5).

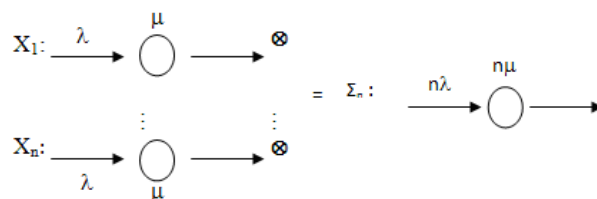
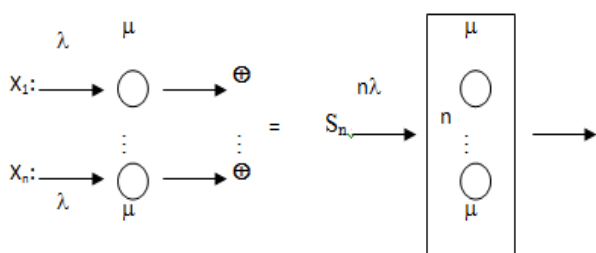


Рисунок 4 – Конвергенція незалежних однолінійних СМО в багатолінійну систему типу M/M/n/∞

Рисунок 5 – Конвергенція незалежних однолінійних СМО в систему S_n типу M/M/1/∞

Були проведені дослідження впливу способу комутації на показники ефективності сконструйованих систем, виявляючи конвергенційні ефекти. Операції комутації, що задані в першому випадку (рис. 4), запишемо у вигляді формули: $S_n = X_1 \oplus \dots \oplus X_n$, а в другому (рис. 5) – у вигляді $\Sigma_n = X_1 \otimes \dots \otimes X_n$, відповідно.

В результаті проведених досліджень конвергенції трафіка було встановлено, що:

- комутація систем X_1, \dots, X_n за типом « \oplus » на час релаксації не впливає, а комутація X_1, \dots, X_n за типом « \otimes » призводить до зменшення часу релаксації до нуля зі швидкістю порядку $1/n, n \rightarrow \infty$;

- модель трафіка ГKM, яка базується на конвергенції одноканальних СМО типу $M/M/1/\infty$ в багатоканальну систему, достатньо вірогідно відображає реальні трафікові процеси;

- трафік, який був отриманий в результаті моделювання, по-перше, має властивість довготривалої залежності (гіперболічна залежність основних параметрів об'єднаного трафіка), і, по-друге, ймовірно (з ймовірністю $\approx 0,75-0,8$) має властивість масштабної інваріантності, що, у свою чергу, можна розглядати як доказ фрактального характеру змодельованого трафіка.

Для критичної ділянки магістралі мультисервісної мережі запропоновано метод прогнозу фрактального трафіка, який не потребує оперативного розрахунку показника Херста. Запропонований метод прогнозу робить добрі оцінки середнього значення магістрального трафіка, не перевантажуючи мережу службовою інформацією.

У якості об'єктів дослідження можна запропонувати наступні моделі комп'ютерної мережі: модель мережі з довільною топологією, модель мережі з наявністю декількох (рис. 6) або одного (рис. 7) вузького місця. На рис. 6 та рис. 7 введені наступні позначення:

s_1, s_2, \dots, s_N – відправники трафіка (джерела);

r_1, r_2, \dots, r_N – приймачі (одержувачі трафіка);

R – маршрутизатори каналу, що є вузьким місцем топологічної структури.

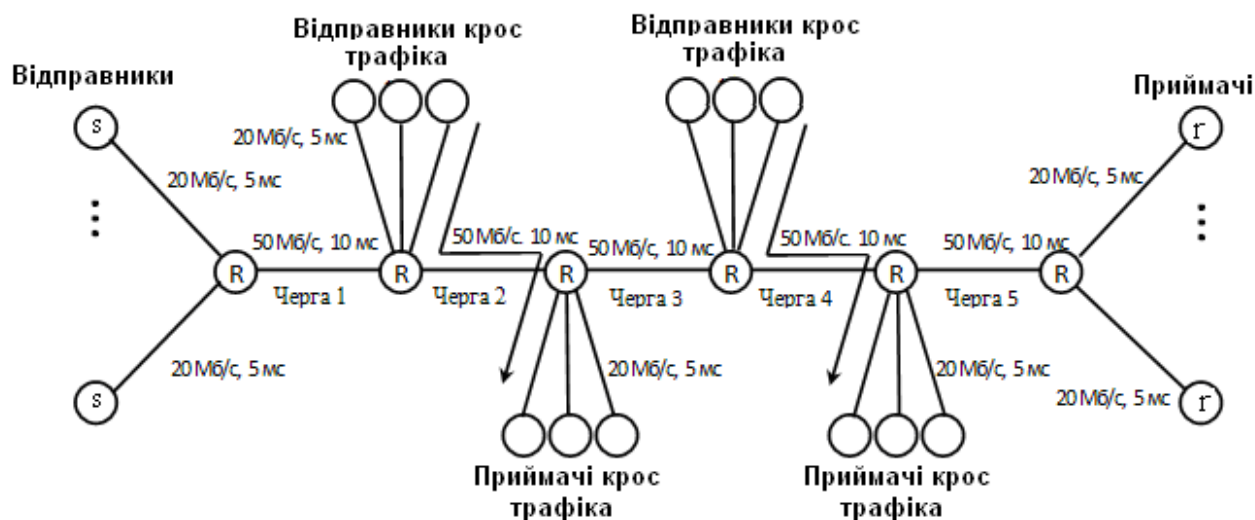


Рисунок 6 – Топологія моделювання із множинними критичним ділянками

На початковому етапі аналізу проведемо дослідження найпростішої моделі гетерогенної мережі – моделі з одним вузьким місцем. Для даної топології моделі мережі властиві усі характерні риси телекомунікаційного трафіка інтегрованої мережі з комутацією пакетів, у тому числі його самоподібність та масштабна інваріантність. Для дослідження даної ділянки магістрального трафіка використаємо локальні пробні пакети (ПрП), що обов'язково проходять через критичну ділянку.

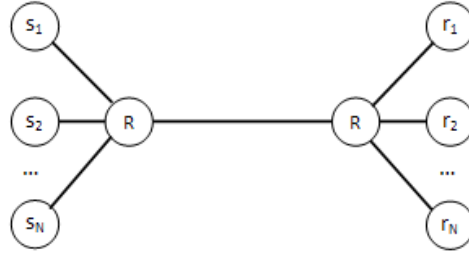


Рисунок 7 – Топологія моделювання з однією критичною ділянкою

Опис методу. У запропонованому методі прогнозування телекомунікаційного трафіка $(n + 1)$ ПрП відправляються один за одним через малий проміжок часу Δt . Часи між прибуттями ПрП становлять ряд $\tau_i, i = 1, \dots, n$, який дозволяє визначити ряд $f_a(t_i)$ та, відповідно, агрегований ряд $f_a(i)$, аналізуючи який, одержимо

$$\hat{f}_a(n+1) = [a_1 \dots a_n] \begin{bmatrix} f_a(1) \\ \dots \\ f_a(n) \end{bmatrix}, \quad (9)$$

де a_1, a_2, \dots, a_n – коефіцієнти, які отримані за допомогою методу найменших квадратів (МНК):

$$[a_1 \ a_2 \ \dots \ a_n] = [R(n) \ R(n-1) \ \dots \ R(1)] \times \begin{bmatrix} R(0) & R(1) & \dots & R(n-1) \\ R(1) & R(0) & \dots & R(n-2) \\ & & \dots & \\ R(n-1) & R(n-2) & \dots & R(0) \end{bmatrix}^{-1}, \quad (10)$$

а $R(n)$ – коваріаційна функція часових інтервалів з оцінкою

$$R(i) \cong R^{(m)}(i) = \frac{1}{n} \sum_{l=i+1}^n f_a(l) f_a(l-i). \quad (11)$$

Для визначення якості прогнозування трафіка запропонованим способом визначимо середньоквадратичну похибку прогнозу

$$\sigma^2 = \sigma_x^2 - [R(n) \ R(n-1) \ \dots \ R(1)] \times \begin{bmatrix} R(0) & R(1) & \dots & R(n-1) \\ R(1) & R(0) & \dots & R(n-2) \\ & & \dots & \\ R(n-1) & R(n-2) & \dots & R(0) \end{bmatrix}^{-1} \times \begin{bmatrix} R(n) \\ R(n-1) \\ \dots \\ R(0) \end{bmatrix}. \quad (12)$$

у якій можна використати наступний асимптотичний результат:

$$R(\tau) \sim H(2H-1)\tau^{2H-2} \quad (13)$$

Після отримання прогнозу для $\hat{f}_a(n+1)$ можна, розширивши послідовність $f_a(k)$, одержати прогноз значень $\hat{f}_a(n+2)$ і т. д. Процес буде тривати доти, доки не будуть зроблені необхідні N прогнозів. Також була проведена оцінка параметрів методу. Результати моделювання показали, що

запропонований інтервал змін значень τ_i , при якому прогноз є можливим, можна оцінити в межах від 0,02 до 0,1 секунди.

У табл. 1 для різних величин n представлені середні значення відносної похибки прогнозу

Таблиця 1 – Відносна похибка прогнозу

n	5	10	15	20	30	40	50
Похибка, %	15,1	11,6	9,3	7,7	7,5	7,5	7,4

Результати моделювання для визначення необхідного значення параметра N при обраному параметрі n наведені в табл. 2.

Таблиця 2 – Відносна похибка прогнозування для різних значень N

N	n	$2n$	$3n$	$4n$	$5n$	$6n$	$7n$	$8n$
Похибка, %	7,8	8,5	9,1	9,8	10,6	11,8	15,4	19,8

Аналіз впливу похибок прогнозування зміни трафіка на індекс справедливості розподілу обчислювального ресурсу в даному випадку будемо проводити по аналогії з попереднім випадком з двома з'єднаннями.

Проведені дослідження точності та обчислювальної потужності, які необхідні для обчислення апроксимації максимуму, встановили, що експонентні часові шкали є оптимальними з точки зору узгодження для трафіка, який відповідає фрактальному броунівському руху.

Експерименти показали вплив хвостів розподілів у різних масштабах часу на процес організації черг. Спостерігається, що при негауссівських трафікових сценаріях кореляційна структура (короткострокова і довгострокова) описує поведінку черг недостатньо адекватно.

П'ятий розділ присвячено розробці методу синтезу топології системи передачі інформації у гетерогенних комп'ютерних мережах. Для цього визначаються оптимальні потоки у комп'ютерній мережі передачі інформації за допомогою процедури альтернативної маршрутизації.

В результаті проведених досліджень встановлено, що завантаження всіх ресурсів мережі повинні бути максимально можливими для підвищення обсягів переданого трафіку. Для того, щоб досягти збалансованого завантаження всіх ресурсів мережі завдяки раціональному вибору шляхів проходження трафіка через мережу, у загальному випадку краще використовувати процедури альтернативної, розгалуженої, багатошляхової маршрутизації.

Розглянемо наступну модель мережі передачі інформації, що складається з N вузлів комутації і M ліній зв'язку. Передбачається, що:

- 1) усі лінії зв'язку абсолютно надійні;
- 2) усі лінії зв'язку є завадостійкими;
- 3) вузли комутації мають нескінченну пам'ять;
- 4) час обробки у вузлах комутації відсутній;
- 5) довжини всіх повідомлень незалежні і розподілені за показовим законом із середнім значенням $1/\mu$ (байт);

б) трафік, що надходить до мережі, утворює пуасонівський потік із середнім значенням γ_{ij} (повідомлень/хв) для повідомлень, які виникають у вузлі i та призначені вузлу j . Тоді повний зовнішній трафік має вигляд

$$\gamma = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \gamma_{ij}; \quad (14)$$

7) кожна лінія зв'язку складається з єдиного дуплексного каналу зв'язку з пропускнуою здатністю, яка дорівнює p_{kl} [байт/хв] ((k, l) – лінія зв'язку між вузлами k і l).

Нехай $X_{kl}^{(i,j)}$ – частка потоку γ_{ij} , що проходить лінією (k, l) :

$$0 \leq X_{kl}^{(i,j)} \leq 1. \quad (15)$$

Тоді

$$\lambda_{kl} = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \gamma_{ij} X_{kl}^{(i,j)}, \quad (16)$$

де λ_{kl} – величина потоку в лінії (k, l) [повідомлень/хв], яка обумовлена потоком γ_{ij} .

Нехай Z_{ij} – середній час, що витрачається на передачу повідомлення, яке виникло у вузлу i та призначається вузлу j (міжкінцева затримка повідомлення). Важливою характеристикою якості функціонування МПП є середня затримка повідомлення в мережі – T , яка визначається як урівноважена сума міжкінцевих затримок Z_{ij} , тобто

$$T = \frac{1}{\gamma} \sum_{k=1}^N \sum_{l=1}^N \gamma_{kl} Z_{kl}. \quad (17)$$

Середній час перебування повідомлень у лінії (k, l) , що складається з часу передачі повідомлення – $1 / (\mu p_{kl})$ і часу очікування в черзі – W_{kl} , визначається за формулою:

$$t_{kl} = \frac{1}{\mu p_{kl}} + W_{kl}, \quad (18)$$

$$W_{kl} = \frac{1}{\mu p_{kl}} \cdot \frac{\lambda_{kl}}{\mu p_{kl} - \lambda_{kl}}, \quad (19)$$

або

$$t_s = \frac{1}{\mu p_{kl} - \lambda_{kl}}. \quad (20)$$

Якщо визначити величину потоку в лінії (k, l) як $f_{kl} = \frac{\lambda_{kl}}{\mu}$ (байт/хв), то

$$t_{kl} = \frac{1}{\mu} \cdot \frac{1}{p_{kl} - f_{kl}}. \quad (21)$$

При підстановці (15) у (11) отримаємо вираз для середньої затримки повідомлень у мережі

$$T = \frac{1}{\gamma} \sum_{k=1}^N \sum_{l=1}^N \frac{f_{kl}}{p_{kl} - f_{kl}}. \quad (22)$$

Зроблені припущення і позначення дозволяють сформулювати задачу пошуку таких значень змінних $X_{kl}^{(i,j)}$, які забезпечать оптимальне (найменше) значення величини T .

Таким чином сформульована задача оптимізації:

Потрібно знайти змінні $X_{kl}^{(i,j)}$ та відповідно потоки в лініях зв'язку $f_{kl}^{(i,j)}$ такі, що

$$T = \frac{1}{\gamma} \sum_{k=1}^N \sum_{l=1}^N \frac{f_{kl}}{p_{kl} - f_{kl}} \rightarrow \min \quad (23)$$

при виконанні обмежень:

$$f_{kl} = \frac{1}{\mu} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \gamma_{ij} X_{kl}^{(i,j)}, \quad k, l = 1, 2, \dots, N; \quad (24)$$

$$f_{kl} < p_{kl}, \quad k, l = 1, 2, \dots, N; \quad (25)$$

$$\sum_{k=1}^N X_{kl}^{(i,j)} - \sum_{k=1}^N X_{lk}^{(i,j)} = \begin{cases} -1, & l = i; \\ 0, & l \neq i, j; \\ 1, & l = j; \end{cases} \quad (26)$$

$$0 \leq X_{kl}^{(i,j)} \leq 1, \quad i, j, k, l = 1, 2, \dots, N. \quad (27)$$

Обмеження (27) припускає, що для передачі повідомлень з вузла i до вузла j може бути використано більше одного маршруту, тобто задача (23)–(27) описує альтернативну процедуру вибору маршрутів. Найбільш відомим методом розв'язання даної задачі є метод відхилення (девіації) потоку, який зменшує значення цільової функції до мінімуму.

Існуючі та перспективні комп'ютерні мережі будуються на основі повної інтеграції всіх мережних ресурсів. Важливою особливістю таких мереж є повністю уніфіковане подання інформаційних повідомлень, що створюється різнорідними джерелами інформації. Уніфіковане подання різнорідної інформації дозволить забезпечити при побудові системи передачі й розподілі інформації гранично високу швидкість інформаційної й апаратної інтегрованості.

Для аналізу такої складної багаторівневої ієрархічної системи, якою є ГКМ, необхідно провести її моделювання на основі СМО, що лінеаризується.

Розглянемо з'єднання ТСП із маршрутом P . Нехай фоновий трафік у каналі з вузьким місцем, що входить до маршруту P , є часовим рядом, який

проявляє ДВЗ із параметром Херста H . Нехай цей маршрут характеризується: $R(t)$ – суперпозицією компонентів з'єднань на маршруті; C – розміром смуги пропускання каналу, що є критичною ділянкою.

Тоді величина смуги пропускання з'єднання є наступним часовим рядом:

$$\{f(t) = C - R(t), t \in Z_+\}.$$

Відправник також повинен періодично відслідковувати кількість підтверджених переданих даних і досягнуто їм продуктивність. Це стає можливим при використанні спеціального фільтра з середнім, що рухається. Таким чином, якщо позначимо t_0 і t відповідно, як попередні та поточні вимірювані значення, то функцію часового ряду можна представити як

$$f(t) = (1 - \alpha) \cdot f(t_0) + \alpha \cdot \frac{Q}{t - t_0}, \quad (28)$$

де Q – кількість інформації, для якої існує підтвердження про передачу з моменту часу t_0 .

Прогнозування трафіка в механізмі керування перевантаженнями протоколу TCP має на увазі процес виконання прогнозування протоколу TCP з урахуванням кореляційної структури в різних масштабах часу. Після такого прогнозування з'єднання TCP визначає свою оптимальну робочу точку та змінює розмір свого плаваючого вікна для швидкого досягнення цієї точки. Механізм регулювання розмірів вікна розробляється для досягнення наступних цілей:

- мінімізації втрат пакетів;
- одержання оптимального розподілу мережних ресурсів між усіма існуючими з'єднаннями;
- стабільності функціонування алгоритму керування перевантаженнями.

У запропонованій моделі результати прогнозування трафіку використовуються для визначення місцезнаходження оптимальної робочої точки з'єднання TCP. Механізм визначення оптимальної робочої точки представлено на рис. 8, на якому вертикальна вісь – продуктивність f , досягнута з'єднанням TCP, а горизонтальна – продуктивність B фонового трафіка, присутнього в каналі. Якщо кількість з'єднань у каналі, що є вузьким місцем, позначити за допомогою N , а доступний розмір його смуги пропускання – C , то оптимальною робочою точкою є точка перетину ліній $B+f=C$ та $f/B=1/(N-1)$. При відсутності механізму прогнозування трафіка, з'єднання TCP досягає своєї оптимальної робочої точки через кілька фаз адитивного збільшення (АЗ) і мультиплікативного зменшення (МЗ) розмірів плаваючого вікна, що показано на рис. 8 пунктирною лінією. У випадку використання механізму передбачення майбутнього трафіка можна досягти синхронності в прийнятті рішень, що впливають на керування перевантаженнями, для всіх з'єднань TCP і досягнення оптимальної робочої точки з'єднанням за середній час тривалості сесії передачі одного пакета для даного з'єднання (T_p) без запуску фази МЗ, що призводить до втрат пакетів і

зниженню продуктивності. Така синхронність дозволить швидко досягати оптимальної робочої точки, значно поліпшуючи такі характеристики, як коефіцієнт втрат пакетів і швидкість передачі даних у мережі.

Як відомо, трафік ГKM є фрактальним. Таким чином, він має довгочасову залежність (ДЧЗ). Оскільки ДЧЗ тісно пов'язана з розподілами з важкими хвостами, проведемо короткий аналіз таких розподілів. Найчастіше в цій якості використовується розподіл Парето. Випадкова змінна x задовольняє розподілу Парето, якщо її функція розподілу має вигляд

$$f(x) = \alpha k^\alpha x^{-(\alpha+1)}, x \geq k, \quad (29)$$

де α – параметр форми, що визначає швидкість зменшення розподілу його хвоста, а k – параметр масштабування, що є найменшим значенням, яке може приймати x .

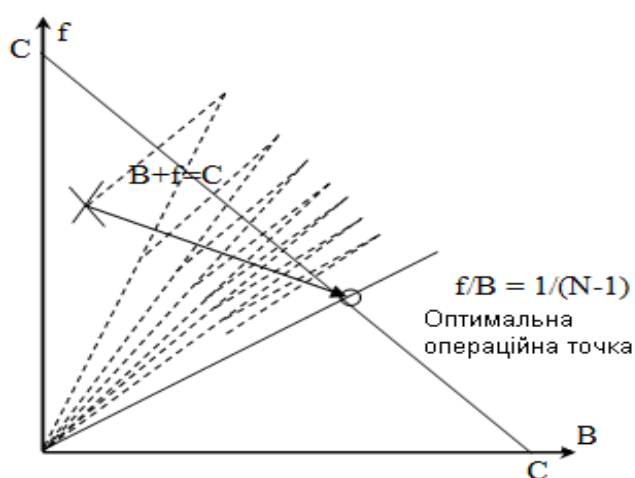


Рисунок 8 – Процес досягнення оптимальної робочої точки протоколом TCP при використанні різних механізмів керування перевантаженнями

Запропонована топологія мережі зображена на рис. 6. Встановлюється N з'єднань TCP, що генерують пакети (розміром 1000 bytes) відповідно до моделі трафіка ON-OFF, N змінюється від 10 до 100. Потім проводиться вимір коефіцієнта втрат, продуктивності, досягнутої всіма одержувачами TCP, і розміру плаваючого вікна кожного з'єднання TCP.

Досліджується характер зміни довгострокової залежності у випадку, коли всі з'єднання використовують протокол TCP-TP. У першому експерименті використовуємо для всіх N з'єднань моделі ON-OFF (з параметром форми $\alpha = 1,5$) для джерел трафіка та протоколу TCP-TP на транспортному рівні. Всі з'єднання мають однакові значення RTT = 50 ms. На рис. 9 наведено розрахунок параметра Херста для вищезазначеного сценарію.

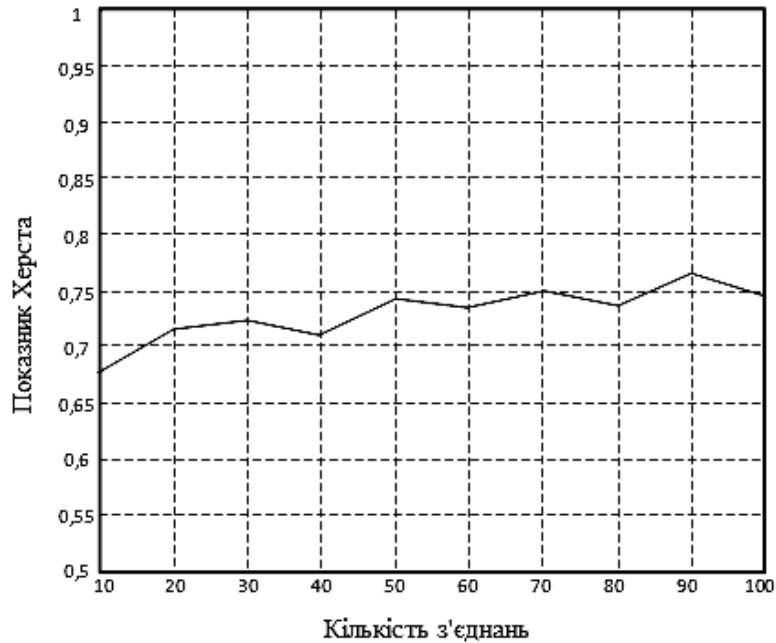


Рисунок 9 – Параметр Херста як функція кількості з'єднань ТСП-ТР

Як видно з графіку (рис. 9), трафік як і раніше проявляє довгострокову залежність. Це можна пояснити тим, що алгоритм керування перевантаженнями, який використовується на транспортному рівні, не є унікальним випадком ДВЗ.

На основі ДВЗ розроблено метод прогнозування трафіка. Основним недоліком попереднього предиктора є його обчислювальна складність. Для спрощення обчислень можна використовувати значно простіший предиктор, що полягає в заміні \hat{f}_{n+1}^m лінійною комбінацією n останніх зразків. Замість рівняння (10) для обчислення коефіцієнтів будуть використовуватися наступні співвідношення:

$$\sum_{i=1}^n a_i = 1 \quad (30)$$

та

$$a_i = (n + 1 - i)^{2H-2}, \quad (31)$$

де H – параметр Херста.

Нехай $F(Z)$ – Z -перетворення від f_k^m , а \hat{f}_k^m – передбачуване значення f_k^m . Тоді

$$\hat{F}(Z) = H(Z) F(Z), \quad (32)$$

де $H(Z)$ – передаточна функція предиктора, яка має форму

$$H(Z) = a_1 Z^{-1} + \dots + a_n Z^{-n}. \quad (33)$$

У даному предикторі існують два параметри m та n для налагодження системи та один параметр, що залежить від трафіка – H , який вимірюється у реальному часі. Для спрощення обчислювальної складності можна усунути операцію вимірювання параметра H та прийняти його рівним постійному

значенню, наприклад, 0,8. Припустимо, що початкова робоча точка є точкою перетину ліній на рис. 8. Якщо невідомо значення N , то з'єднання TCP запускає об'єднаний алгоритм адитивного збільшення і мультиплікативного зменшення розмірів плаваючого вікна, прямуючи пунктирною лінією для досягнення оптимальної робочої точки за декілька інтервалів T_p .

При цьому відбувається багаторазове перетинання лінії $B + f = C$ з лініями характерних втрат пакетів. Якщо ж значення N відоме, то відоме й положення оптимальної робочої точки, і стає можливим безпосередній рух до неї (суцільна лінія на рис. 8). В найкращому випадку її можна досягти без втрат пакетів за один інтервал часу T_p .

Далі вперше запропоновано метод інтелектуального управління передачею інформації на основі фрактальних характеристик трафіка, який базується на пропорціальному розподілі доступної смуги пропускання критичної ділянки мережі передачі даних між одночасно існуючими потоками на основі базової моделі трафіка.

Структура розробленого методу інтелектуального управління представлена на рис. 10.

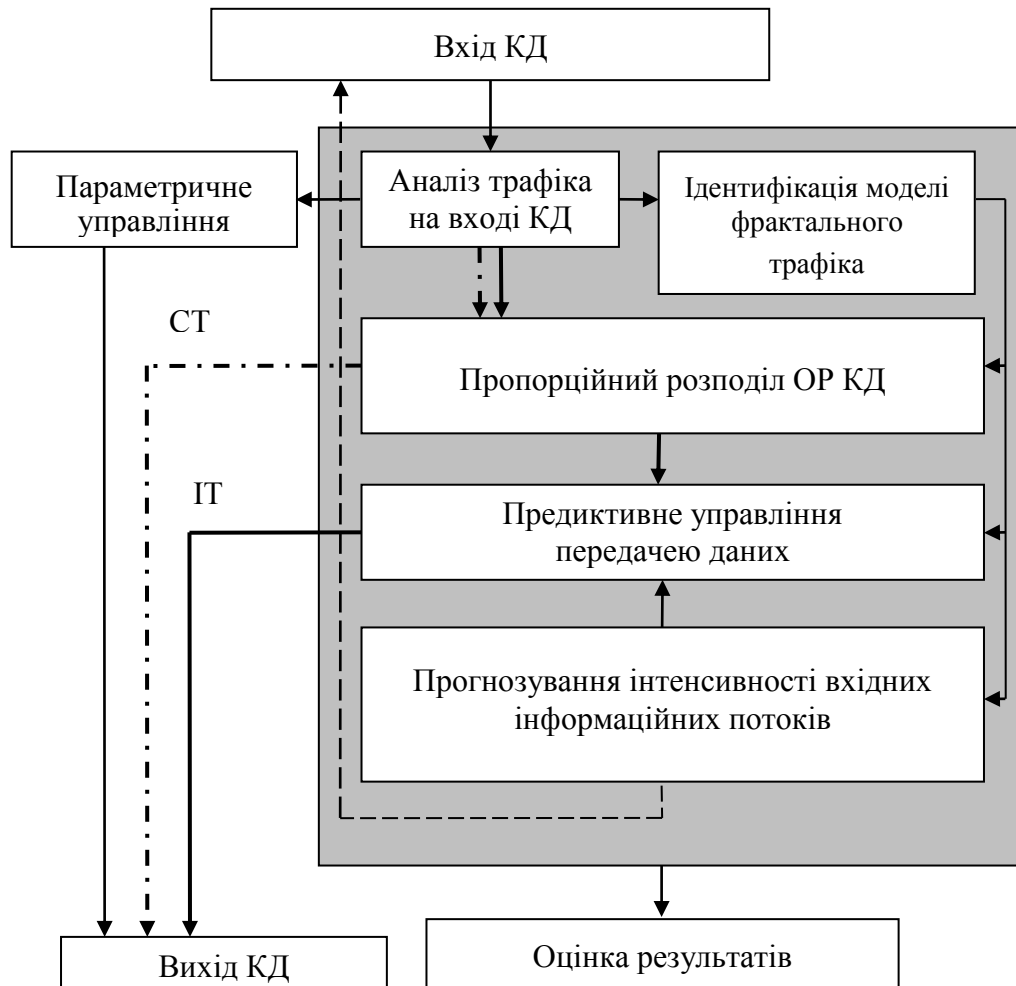


Рисунок 10 – Структурна схема методу інтелектуального управління передачею інформації

На рис. 10 КД – критична ділянка ГKM, СТ – службовий трафік, ІТ – інформаційний трафік.

Шостий розділ присвячено розробці комплексної методики оцінювання ефективності передачі інформації у гетерогенних комп'ютерних мережах. В ньому розглянуто принципи формування експертних оцінок показників якості ГKM. Приведені результати експериментальних досліджень реального трафіка та імітаційного моделювання. Наведено дослідження середнього часу і дисперсійних оцінок очікування у чергах ГKM. Розглянуто дослідження гетерогенних комп'ютерних мереж АIC за критерієм ймовірності своєчасної доставки повідомлень. Наведено результати оцінки достовірності визначення параметрів трафіка ГKM. Запропоновано метод дослідження доступної смуги пропускання гетерогенної мережі передачі інформації.

Під час експериментальних досліджень проводилась статистична обробка трафікового процесу, отриманого в результаті запропонованих моделей та реальних мережевих випробуваннях. Результати досліджень, які наведені на рис. 12 та рис. 13 та у табл. 3, підтверджують фрактальний характер запропонованих моделей передачі інформації у ГKM як за критеріями показника Херста ($0,65 \leq H \leq 0,95$), так і за апроксимацією щільності ймовірності результату моделювання розподілом Парето.

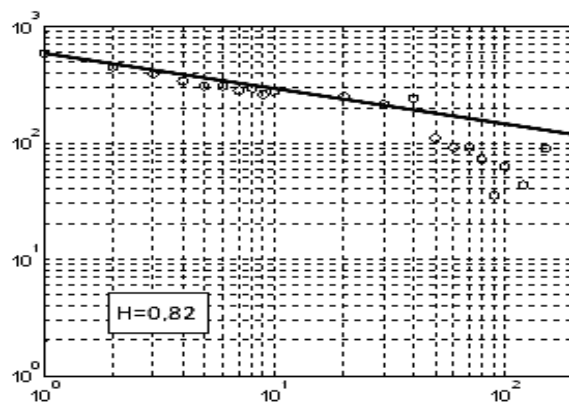


Рисунок 12 – Log-log графік зміни дисперсії реалізації TSP в залежності від інтервалу агрегування

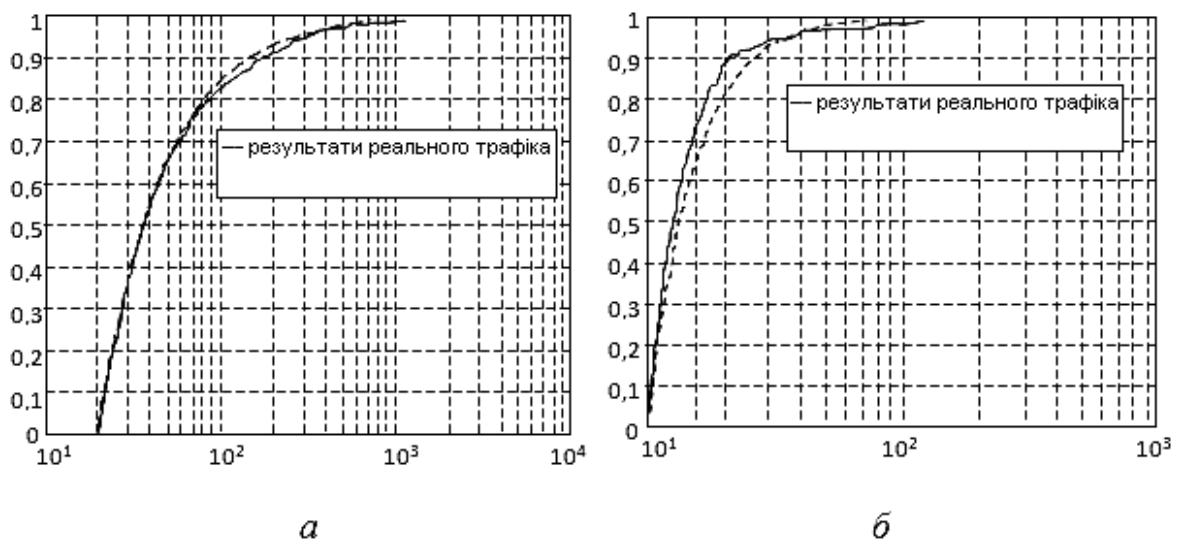


Рисунок 13 – Порівняння результатів апроксимації реального трафіка з розподілом Парето: a – «Рівень –0» ON, $\alpha = 1,1$; $k = 20$; b – «Рівень –0» OFF, $\alpha = 1,9$; $k = 10$

Таблиця 3 – Результати теоретичних розрахунків та імітаційного моделювання

Умови розрахунків	Час спостереження, с	Розмір пакета, біт	Середнє значення λ_j , біт/с	Втрати, пакети	Час затримки, мс
Теоретичні розрахунки					
Vegas	1300	1536	1562,5	2266	799
Розроблений метод	1300	1536	1562,5	1835	632
Виграш, %				19	21
Імітаційне моделювання					
Vegas	1000	1536	1562,5	2242-2378	≈ 790...806
Розроблений метод	1000	1536	≈ 1600	≈ 1816...1878	≈ 650...666
Виграш, %				19-21	18-22

Як видно з результатів дослідження (табл. 3), застосування розробленого методу перерозподілу обчислювального ресурсу критичної ділянки мережі передачі даних приблизно в 1,2 рази зменшує час передачі пакету даних на критичній ділянці з обмеженою пропускнуою здатністю та на 19-20% знижує кількість втрачених пакетів даних.

У результаті проведених досліджень встановлено можливість оцінки вірогідності результатів моделювання трафіка комп'ютерної мережі. Запропоновано методи визначення вірогідності визначення показника Херста.

Отримано дисперсії оцінки показника Херста з використанням аналізу функції правдоподібності й оцінки максимальної правдоподібності.

Встановлено, що для різних розмірів вибірок агрегованого трафіка доцільно застосовувати різні методи оцінки вірогідності результатів визначення показника Херста.

У додатках наведено документи, що підтверджують практичне значення і впровадження результатів дисертаційної роботи, а також результати теоретичних, експериментальних досліджень та імітаційного моделювання.

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі вирішена актуальна науково-технічна проблема, яка полягає у підвищенні оперативності передачі інформації в умовах збільшення її обсягів на основі розробки моделей і методів передачі інформації в гетерогенних комп'ютерних мережах (ГКМ). Проведені в дисертаційній роботі дослідження, результати вирішення науково-технічної проблеми і часткових наукових завдань, а також результати розрахунків і порівняльного аналізу дали змогу отримати наукові і практичні результати, які полягають у наступному:

1. Проведено аналіз стану проблеми і особливостей передачі інформації в гетерогенних комп'ютерних мережах. В результаті аналізу встановлено, що на даний момент є деякі проблеми щодо побудови інформаційних систем, які б дозволяли забезпечити необхідний рівень оперативності обміну інформацією в АІС за умов гетерогенності інформаційного трафіка і зростання його обсягу.

2. Вдосконалено базову модель мережевих процесів на критичній ділянці комп'ютерної мережі та визначено характер механізму мережевої взаємодії

критичної ділянки мережі, яка відрізняється від аналогів тим, що в ній враховується ієрархічна структура об'єднаного трафіка, а також динаміка зміни швидкості передачі. Показано, що на відміну від існуючих аналогів, вдосконалена модель майже на 20% ближче до статистичних характеристик реального трафіка, в якій втрати компенсуються збільшенням часу передачі повідомлень, що призводить до формування протяжних статистичних часових залежностей. призводить до формування протяжних статистичних часових залежностей. У одержаній моделі вплив втрат і причина появи протяжних залежностей формально враховані за допомогою введення операції дробового інтегрування.

3. Розроблена модель трафіка гетерогенної комп'ютерної мережі, заснована на його представленні у вигляді солітоноподібних функцій, які є результатом розв'язання нелінійних диференціальних рівнянь Кортевега – де Вріза. Найбільший вигреш у використанні такої моделі (до 12%) можна отримати в разі вивчення і прогнозування поведінки найбільш змінних ділянок телекомунікаційного трафіка (ізолювані піки або горби, їх амплітуда і тривалість) порівняно з існуючими, водночас зберігаючи прийнятну відповідність з реальним трафіком та існуючими моделями за такої характеристики трафіка, як показник Херста.

4. Розроблено метод прогнозування фрактального трафіка для критичної ділянки магістралі гетерогенної мережі, який враховує масштабну інваріантність його статистичних характеристик та дозволяє з імовірністю 0,7-0,85 прогнозувати інтенсивність наступного інтервалу часу.

Запропонований метод прогнозу поведінки фрактального трафіка гетерогенної комп'ютерної мережі не потребує оперативного розрахунку показника Херста та робить допустимими оцінки середнього значення магістрального трафіка, не перевантажуючи мережу службовою інформацією. Встановлено, що цей метод може бути використано для трафіку, який є результатом об'єднання в багатоканальну СМО декількох однакових або різних одноканальних СМО.

5. Набув подальшого розвитку метод параметричного управління передачею інформації, який на відміну від існуючих враховує особливості взаємодії інформації, що передається у гетерогенних комп'ютерних мережах та забезпечує рівномірність розподілу мережевого обчислювального ресурсу за рахунок варіацій відповідних параметрів, що дозволило збільшити пропускну здатність каналів у порівнянні з існуючими методами до 20%. Крім того, це призвело до збільшення як пропорційності розподілу доступних ресурсів мережі, так і сумісності з іншими потоками трафіка в гетерогенному середовищі.

6. Вперше розроблено метод інтелектуального управління передачею інформації, який на відміну від інших використовує результати прогнозування поведінки фрактального трафіка. Метод базується на оперативному обчисленні показника Херста для конкретної реалізації трафіку та динамічному перерозподілу обчислювального ресурсу критичної ділянки ГКМ з використанням існуючих моделей трафікового процесу. Ці дозволило на 19-21% зменшити час передачі інформації у мережі та на 18-20% зменшити кількість затриманих пакетів.

7. Розроблено метод синтезу топології систем передачі інформації в гетерогенних комп'ютерних мережах, який на відміну від існуючих враховує динамічний характер зміни мережі на основі методу інтелектуального управління. Цей метод базується на алгоритми перерахування розрізів, який дозволяє побудувати орієнтований граф, що є математичною моделлю орієнтованих інформаційних мереж, які досить часто використовуються на практиці. Крім того було вирішено оптимізаційну задачу по вибору мережі комутації каналів ієрархічної структури. Наведена методика і алгоритм рішення задачі вибору та оцінки базових мережних структур ГКМ та відповідні даній структурі оптимізаційної задачі.

Розроблений метод синтезу дозволяє зменшити кількість втрачених пакетів при функціонуванні мережі до 10%.

8. Одержала подальший розвиток комплексна методика оцінки ефективності передачі інформації в гетерогенних комп'ютерних мережах, яка на відміну від існуючих враховує нелінійність трафікових процесів і ґрунтується на запропонованих методах прогнозу зміни стану системи передачі даних, що забезпечило більш достовірний аналіз запропонованих моделей и методів передачі інформації у гетерогенних комп'ютерних мережах у порівнянні з існуючими.

Проведена порівняльна за цей методикою оцінка ефективності застосування розроблених моделей, методів та засобів передачі інформації у гетерогенних комп'ютерних мережах ІСКЗ, встановила, що при збільшенні завантаження мережі (понад 15% від можливої) і показника Херста більше 0,75, запропоновані методи та моделі дозволили підвищити оперативність передачі інформації в ГКМ ІСКЗ до 17%, а також збільшити допустимий обсяг переданої інформації (при гарантованому дотриманні вимог до своєчасності передачі повідомлень) до 10% в порівнянні з використанням стандартних засобів управління у ГКМ. При цьому при порушеннях топології мережі, що приводять до утворення критичних ділянок, запропоновані методи та моделі ефективніше стандартної і в порівнянні з якою дозволяють підвищити оперативність передачі інформації до 15%.

9. Результати дисертаційної роботи впроваджені у вигляді методів, моделей та алгоритмів для рішення задач передачі інформації у ГКМ:

при створенні макету мережі передачі даних системи метрологічного забезпечення Збройних Сил України у Метрологічному центрі військових еталонів Збройних Сил України;

при розробці проекту мережі підтримки інформаційного забезпечення Державного реєстру документів страхового фонду документації України у Науково-дослідному, проектному та конструкторсько-технологічному інституті мікрографії;

при розробці перспективних технічних засобів зв'язку в частині автоматичної ідентифікації, згідно з ДКР «Аркадія-58250» ДР № 0108U000013Т у конструкторському бюро «Радіозв'язок» ТОВ «Телекарт-Прилад»;

у навчальному процесі кафедри мультимедійних інформаційних технологій і систем НТУ «ХП».

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. *Можжаев А.А.* Фрактальный анализ процессов, структур и сигналов: коллект. монография / [Р.Э. Пашенко, А.М. Сотников, А.А. Можжаев и др.]; под ред. Р.Э. Пашенко. – Х.: ЭкоПерспектива, 2006. – 348 с.

Здобувачем розроблена базова модель мережесвих процесів на критичній ділянці комп'ютерної мережі, визначено характер механізму мережної взаємодії та розроблено метод розподілу мережного ресурсу з урахуванням довготривалої залежності фрактального трафіка.

2. *Можжаев О.О.* Передача інформації у гетерогенних комп'ютерних мережах / О.О. Можжаев / [монографія]. – Харків : НТУ «ХПІ», 2012. – 220 с.

3. *Можжаев О.О.* Визначення оптимальних потоків у мережі передачі даних за допомогою процедури альтернативної маршрутизації / О.О. Можжаев, О.Д. Анохіна, С.Ю. Гайдаров, С.Г. Семенов // Системи обробки інформації. Збірник наукових праць. – Вип. 10. – Харків: ХВУ. – 2004. – С. 3-8.

Здобувачем розроблено алгоритми визначення оптимальних потоків.

4. *Можжаев О.О.* Часова прозорість мережі, як характеристика, що визначає виконання необхідної якості обслуговування / О.О. Можжаев, О.Д. Анохіна, С.Ю. Гайдаров, С.Г. Семенов // Системи обробки інформації. Збірник наукових праць. – Харків: ХВУ. – 2004. – Вип. 11. – С. 133-139.

Здобувачем розроблено метод розрахунку показників часової прозорості мережі.

5. *Можжаев О.О.* Середні часи і дисперсійні оцінки чекання у чергах / О.О. Можжаев, Н.Ю. Любченко, Г.А. Кучук // Системи обробки інформації. Збірник наукових праць. – Харків: ХВУ. – 2004. – Вип. 12. – С. 111-117.

Здобувачем проведено аналіз систем сигналізації гетерогенної комп'ютерної мережі.

6. *Можжаев О.О.* Метод оптимізації структур даних у розподіленій мережі / О.О. Можжаев, Ю.П. Рондин, Н.Ю. Любченко, С.Ф. Кривчач // Системи обробки інформації. Збірник наукових праць. – Харків: ХУПС. – 2005. – Вип. 6. – С. 115-119.

Здобувачем розроблено процедуру виключення надлишкових елементів та порядок перебору.

7. *Можжаев А.А.* Разработка распределенного метода многопутевой маршрутизации, основанного на потоковой модели с предвычислением путей (маршрутов) / А.А. Можжаев, А.Г. Беленков, С.Г. Семенов // Сб. научн. тр. Моделирование та інформаційні технології: – К.: ПІМЕ імені Г.Є. Пухова. – 2005. – Вип. 32. – С. 189-192.

Здобувачем розроблено вибір критерія, що є основою оптимізаційної задачі.

8. *Можжаев А.А.* Вычисление параметра маршрутизации для распределения трафика по найденному множеству путей / А.А. Можжаев, С.Г. Семенов, С.Ф. Кривчач // Системи обробки інформації. Збірник наукових праць. – Харків: ХУПС. – 2005. – Вип. 9(49). – С.107-111.

Здобувачем розроблена блок-схема алгоритму регулювання зростаючого навантаження.

9. *Можжаєв О.О.* Метод прогнозування фрактального трафіка / О.О. Можжаєв, Г.А. Кучук, О.В. Воробйов // *Радіоелектронні і комп'ютерні системи.* – №6(18). – 2006. – С. 181-188.

Здобувачем запропоновано для створення агрегованого потоку проводити динамічний розподіл пропускної здатності мережі.

10. *Можжаєв О.О.* Особливості статистичного розподілу телекомунікаційного трафіку в інформаційній системі сповіщення про надзвичайні ситуації / О.О. Можжаєв, І.В. Ільїна, М.А. Вінокуров // *Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка,* 2006. Вип. 44. Т. 1 – С. 277-283.

Здобувачем проведено аналіз результатів досліджень статистичних характеристик трафіку гетерогенної мережі.

11. *Можжаєв О.О.* Моделювання трафіка телекомунікаційних мереж на базі масштабної інваріантності / О.О. Можжаєв // *Збірник наукових праць Харківського університету Повітряних Сил ім. І. Кожедуба,* випуск 6(12), – 2006. – С. 79-82.

12. *Можжаєв А.А.* Нейродинамическое прогнозирование телекоммуникационного трафика средств космической связи / А.А. Можжаєв, О.В. Воробьев, А.А. Подорожняк // *Авиационно-космическая техника и технология.* – 2006. – № 6 – С. 78-81.

Здобувачем запропоновано метод прогнозування телекомунікаційного трафіка в реальному масштабі часу на підставі теорії штучних нейронних мереж.

13. *Можжаєв О.О.* Рівняння оптимізації ієрархічної телекомунікаційної мережі за критерієм мінімальних експлуатаційних витрат / О.О. Можжаєв, В.О. Губар, Ю.П. Рондин, Н.Ю. Любченко // *Системи обробки інформації. Збірник наукових праць.* – Харків: ХУПС. – 2006. – Вип. 6(55). – С. 59-65.

Здобувачем розроблені методика й алгоритм рішення задачі вибору та оцінки базових мережних структур.

14. *Можжаєв О.О.* Аналіз і моделі самоподібного трафіка / О.О. Можжаєв, Г.А. Кучук, О.В. Воробьев // *Авиационно-космическая техника и технология,* – 2006.–№9(35)–С. 173-180.

Здобувачем запропоновані фізичні та математичні трафікові моделі.

15. *Можжаєв А.А.* Оценка достоверности определения параметров телекоммуникационного трафика / А.А. Можжаєв // *Системи обробки інформації. Збірник наукових праць.* – Харків: ХУПС. – 2006. – Вип. 9(58). – С. 53-55.

16. *Можжаєв О.О.* Оцінка параметрів негаусових стохастичних процесів / О.О. Можжаєв, Ю.В. Стасєв, А.О. Подорожняк // *Системи озброєння і військова техніка.* – 2006. – Вип. 4(8). – С. 74-77.

Здобувачем запропоновано метод оцінки числових характеристик трафіка гетерогенної мережі.

17. *Можжаєв А.А.* Концепция обеспечения качества предоставления услуг в цифровых телекоммуникационных сетях / А.А. Можжаєв // *Системи обробки інформації. Збірник наукових праць.* – Харків: ХУПС. – 2007. – Вип. 1(13). – С. 72-74.

18. *Можжаєв О.О.* Питання комутації у ширококутних цифрових мережах / О.О. Можжаєв, І.В. Ільїна, В.В. Косенко // *Системи управління,*

навігації та зв'язку. Збірник наукових праць. – Київ – 2007. – Вип. 1 – С. 74-76.

Здобувачем побудовані імовірнісні моделі систем комутації, які використовуються у гетерогенних мережах.

19. *Можжаєв А.А.* Многоуровневая модель телекоммуникационного трафика системы глобальной навигации / А.А. Можжаєв, И.В. Ильина, А.А. Коваленко // Системи управління, навігації та зв'язку. Збірник наукових праць. – Київ – 2007. – Вип. 2. – С. 117-122.

Здобувачем запропонована проста ієрархічна модель мережі, що має повну відповідність реальним гетерогенним мережам.

20. *Можжаєв О.О.* Властивість довгострокової залежності ієрархічної моделі / О.О. Можжаєв, І.В. Ільїна, Ю.В. Пантелей // Системи озброєння і військова техніка. – 2007. – Вип. 1(9). – С. 98-103.

Здобувачем розроблено модель гетерогенної мережі, яка дозволяє враховувати довгочасні залежності у великих масштабах часу.

21. *Можжаєв О.О.* Моделювання процесу конвергенції трафіка окремих служб мультисервісних мереж / О.О. Можжаєв, Г.А. Кучук // Системи обробки інформації. Збірник наукових праць. – Харків: ХУПС. – 2007. – Вип. 3(61). – С. 47-50.

Здобувачем отримано висновок, що конвергований трафік має властивості довгочасної залежності та фрактальний характер.

22. *Можжаєв А.А.* Прогнозирование трафика для управления перегрузками интегрированной телекоммуникационной сети / А.А. Можжаєв, Г.А. Кучук // Радіоелектронні і комп'ютерні системи. – 2007. – № 8(27). – С. 261-271.

Здобувачем проведено аналіз властивостей фрактального телекомунікаційного трафіка.

23. *Можжаєв О.О.* Моделювання телекомунікаційного трафіку гетерогенної мережі нелінійними динамічними системами / О.О. Можжаєв // Системи обробки інформації. Збірник наукових праць. – Харків: ХУПС. – 2007. – Вип. 9(67). – С. 75-78.

24. *Можжаєв А.А.* Исследование мультисервисных телекоммуникационных сетей при передаче информации о воздушной обстановке / А.А. Можжаєв, Г.А. Кучук, С.Г. Семенов // Авиационно-космическая техника и технология. – 2006. – №10(36). – С. 165-167.

Здобувачем проведені дослідження впливу окремих характеристик мультисервісних мереж на якість обслуговування в процесі передачі інформації при використанні методу адаптивної маршрутизації.

25. *Можжаєв О.О.* Вплив помилки прогнозування характеристик трафіка на ефективність транспортного протоколу мереж / О.О. Можжаєв, Ю.В. Стасєв, Г.А. Кучук // Системи озброєння і військова техніка. – 2007. – Вип. 2(10). – С. 118-124.

Здобувачем проведено аналіз впливу помилок прогнозування фрактального телекомунікаційного трафіка на ефективність протоколу TCP.

26. *Можжаєв А.А.* Усовершенствование транспортных протоколов в мультисервисных сетях / А.А. Можжаєв, И.В. Ильина, А.А. Коваленко, А.А. Подорожняк // Системи обробки інформації. Збірник наукових праць. – Харків: ХУПС. – 2007. – Вип. 5(63). – С. 86-92.

Здобувачем встановлено, що при гетерогенному управлінні

спостерігаються коливання розмірів плаваючих вікон з'єднань різними протоколами.

27. *Можжаєв О.О.* Метод динамічної зміни характеристик транспортних протоколів у мультисервісних мережах / О.О. Можжаєв, Г.А. Кучук, І.В. Ільїна // Системи обробки інформації. Збірник наукових праць. – Харків: ХУПС. – 2007. – Вип. 6(66). – С. 42-45.

Здобувачем проведено дослідження факторів, які впливають на рівномірність розподілу доступної з'єднанню пропускну здатності у гетерогенній мережі.

28. *Можжаєв О.О.* Хаотичні відображення як моделі пакетного трафіку / О.О. Можжаєв, І.В. Ільїна, Ю.І. Шевяков, О.Д. Анохіна // Системи обробки інформації. Збірник наукових праць. – Харків: ХУПС. – 2007. – Вип. 9(67). – С. 75-78.

Здобувачем доведена можливість моделювання трафіка гетерогенної мережі за допомогою теорії хаосу та хаотичних відображень.

29. *Можжаєв О.О.* Розрахунок фрактальних характеристик трафікових процесів у системах з повторними запитами / О.О. Можжаєв, Ю.В. Стасєв, Г.А. Кучук // Системи озброєння і військова техніка. – 2007. – Вип. 4(12). – С. 104-111.

Здобувачем розроблена модель мережі передачі інформації, як фрактального процесу з повторними запитами.

30. *Можжаєв А.А.* Метод прогнозирования магистрального трафика мультисервисной телекоммуникационной сети / А.А. Можжаєв, А.М. Бычков, Г.А. Кучук // Вестник НТУ «ХПІ» Тем. выпуск «Информатика и моделирование» №8. – Х: НТУ ХПІ. – 2007. – №19 – С. 30-37.

Здобувачем запропоновано метод прогнозу фрактального трафіка, що не вимагає оперативного розрахунку показника Херста.

31. *Можжаєв О.О.* Моделювання формування експертних оцінок показників якості телекомунікаційних систем / О.О. Можжаєв // Системи управління, навігації та зв'язку. Збірник наукових праць. – Київ – 2008. – Вип. 1(5) – С. 118-123.

32. *Можжаєв А.А.* Метод исследования доступной полосы пропускания гетерогенной мультисервисной сети передачи данных / А.А. Можжаєв, А.В. Любченко, О.В. Богацкая // Системи обробки інформації. Збірник наукових праць. – Харків: ХУПС. – 2007. – Вип. 2(69). – С. 83-85.

Здобувачем проаналізовані причини виникнення перевантаження та втрати пакетів у гетерогенних мережах передачі інформації.

33. *Можжаєв А.А.* Разработка метода определения базового множества путей передачи информации в компьютерной сети системы критического применения / А.А. Можжаєв, И.В. Ильина, Г.А. Кучук // Радиоэлектронні і комп'ютерні системи. – 2008. – № 6(33). – С. 311-315.

Здобувачем запропоновано метод визначення базової множини шляхів передачі інформації в комп'ютерній мережі системи критичного застосування.

34. *Можжаєв А.А.* Асимптотический анализ очередей высокоскоростных телекоммуникационных сетей / А.А. Можжаєв, Г.А. Кучук, А.А. Коваленко // Системи обробки інформації. Збірник наукових праць. – Харків: ХУПС. – 2008. – Вип. 7(74). – С. 68-73.

Здобувачем розглянуті питання асимптотичного дослідження черг у високошвидкісних гетерогенних мережах і визначені межі запропонованих модельних апроксимацій.

35. *Можжаев А.А.* Обзор подходов к выбору временных шкал при проведении анализа очередей / А.А. Можжаев, Г.А. Кучук, А.А. Коваленко // Системи обробки інформації. Збірник наукових праць. – Харків: ХУПС. – 2009. – Вип. 1(75). – С. 68-71.

Здобувачем запропоновано використання статистичних характеристик трафіка на невеликій кількості часових масштабів, що дозволяє розширити теоретичні концепції для критичних часових масштабів.

36. *Можжаев А.А.* Мультифрактальная вейвлет-модель и ее применение к сетевому трафику / А.А. Можжаев, Г.А. Кучук, А.А. Коваленко // Системи обробки інформації. Збірник наукових праць. – Харків: ХУПС. – 2009. – Вип. 3(77). – С. 94-97.

Здобувачем запропоновано використання мультифрактальної вейвлет-моделі для дослідження трафіка гетерогенної мережі.

37. *Можжаев А.А.* Вопросы оптимальности временных шкал, использующихся для аппроксимации максимума очереди / А.А. Можжаев, Г.А. Кучук, А.А. Коваленко // Системи обробки інформації. Збірник наукових праць. – Харків: ХУПС. – 2009. – Вип. 2(76). – С. 89-92.

Здобувачем на базі проведеного аналізу розширені теоретичні концепції для критичних часових масштабів і представлені практичні апроксимації для ймовірності хвоста черги.

38. *Можжаев А.А.* Многошкальное вейвлет-преобразование трафика мультисервисных сетей / А.А. Можжаев, Г.А. Кучук, А.А. Коваленко // Радіоелектронні і комп'ютерні системи – 2009. – №6(40) – С. 68-72.

Здобувачем розроблено схему для узгодження моделі з реальними даними мультифрактального трафікового процесу.

39. *Можжаев О.О.* Анализ поведения черг маршрутизаторов в сетях передачи данных в зависимости от типов трафика / О.О. Можжаев, Г.А. Кучук, А.А. Коваленко // Системи озброєння і військова техніка. – 2009. – Вип. 2(18). – С. 103-105.

Здобувачем розглянуті питання роботи протоколів транспортного рівня сучасних високошвидкісних мереж передачі даних у гетерогенному сценарії.

40. *Можжаев А.А.* Оценка безопасности мультисервисной сети / А.А. Можжаев, Г.А. Кучук, А.А. Коваленко // Збірник наукових праць Харківського університету Повітряних Сил, 2009. – Вип. 4(22). – С. 89-93.

Здобувачем проведено аналіз експериментів, що базуються на реальних даних стосовно вразливості мультисервісної мережі.

41. *Можжаев А.А.* Построение экспоненциальных временных шкал при анализе очередей мультисервисных сетей / Г.А. Кучук, А.А. Можжаев, А.А. Коваленко // Радіоелектронні і комп'ютерні системи. – 2010. – №7(48). – С. 257-262.

42. *Можжаев А.А.* Исследования поведения фазовой траектории телекоммуникационного трафика гетерогенной сети передачи данных / А.А. Можжаев, С.М. Порошин, В.Е. Кузьменко, М.А. Можжаев // Системи управління, навігації та зв'язку. Збірник наукових праць, Київ. – 2011,

Вип. 2(18). – С. 255-259.

Здобувачем проведено дослідження на стійкість динамічних систем передачі інформації по Ляпунову, Пуассону та Лагранжу.

43. *Можжаєв А.А.* Оценка параметров нелинейной динамической модели гетерогенной сети / А.А. Можжаєв, С.М. Порошин, В.Е. Кузьменко, М.А. Можжаєв // Системи обробки інформації. Збірник наукових праць. – Харків: ХУ ПС. – 2011. – Вип. 5(95). – С. 209-212.

Здобувачем розроблено метод оцінки параметрів нелінійного зашумленого сигналу (солітону) зі спостереженнями за проміжки часу багато меншими, ніж характерний часовий масштаб солітону.

44. *Можжаєв О.О.* Застосування математичного апарату нелінійних динамічних систем при моделюванні трафіку у гетерогенних мережах / О.О. Можжаєв // Системи обробки інформації. Збірник наукових праць. – Харків: ХУ ПС. – 2012. – Вип. 6(104). – С. 128-133.

45. *Можжаєв О.О.* Моделювання трафіку комп'ютерної мережі системи автоматичної ідентифікації суден / О.О. Можжаєв // Системи управління, навігації та зв'язку. Збірник наукових праць. Київ. – 2012. – Вип. 3(23). – С. 180-183.

46. *Можжаєв О.О.* Забезпечення якості обслуговування в телекомунікаційних мережах з фрактальним характером трафіка / О.О. Можжаєв, Г.А. Кучук, О.В. Воробйов // Матеріали міжнародної науково-технічної конференції «Гарантоспроможні (надійні та безпечні) системи, сервіси та технології» (25-28 квітня, Полтава – 2006) – С. 20.

Здобувачем запропоновано для створення агрегованого потоку проводити динамічний розподіл пропускної здатності мережі.

47. *Можжаєв О.О.* Нейросетевое прогнозирование телекоммуникационного трафика / О.О. Можжаєв, Г.А. Кучук, А.О. Подорожняк // Міжн. НТК «Інтегровані комп'ютерні технології в машинобудуванні» ІКТМ-2006. – Х.: НАКУ «ХАІ», 14-16.11.2006. – С. 345.

Здобувачем запропоновано метод прогнозування телекомунікаційного трафіка в реальному масштабі часу на підставі теорії штучних нейронних мереж.

48. *Можжаєв А.А.* Особенности телекоммуникационных сетей с самоподобным трафиком и пути повышения показателей качества их обслуживания / А.А. Можжаєв, Г.А. Кучук, О.В. Воробйов // Матеріали XIV міжнародної науково-практичної конференції «Інформаційні технології: наука, техніка, освіта, здоров'я» (Харків 18-19 травня 2006). – Х.: МОНУ, НАНУ, НТУ «ХПІ», 18-19.05.2006. – С. 64.

Здобувачем проведено аналіз властивостей самоподібного трафіка гетерогенної мережі.

49. *Можжаєв О.О.* Особливості статистичного розподілу телекомунікаційного трафіку в інформаційній системі сповіщення про надзвичайні ситуації / О.О. Можжаєв, І.В. Ільїна, М.А. Вінокуров // Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції «Технічний прогрес в АПК». – 2006. – С. 149.

Здобувачем проведено аналіз результатів досліджень статистичних характеристик трафіка гетерогенної мережі.

50. *Можжаєв О.О.* Дослідження причин виникнення ефекту самоподібності

трафіка телекомунікаційних мереж / О.О. Можаяєв // Матеріали 6-й міждун. НТК «Проблеми інформатики и моделирования». – Х: МОНУ, НАНУ, НТУ «ХПИ», 23-23.11.2006. – С. 35.

51. *Можаяєв А.А.* Моделирование телекоммуникационного трафика на базе солитоноподобных функций / А.А. Можаяєв, И.В. Ильина, Ю.В. Стасев // Матеріали третьої наукової конференції Харківського університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, 29-29 березня 2007 року.

Здобувачем проведено моделювання трафіка гетерогенної мережі солитоноподібними функціями.

52. *Можаяєв А.А.* Управление перегрузками интегрированной телекоммуникационной сети / А.А. Можаяєв // Компьютерные технологии в технике и экономике: сб. докл. между. науч. конф., ч. 1, 21-22 мая 2007 г. – Воронеж: МИКТ, 2007. – С. 55-58.

53. *Можаяєв А.А.* Метод диагностики полосы пропускания гетерогенной мультисервисной телекоммуникационной сети / А.А. Можаяєв // Четверта наукова конференція Харківського університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, 16-17 квітня 2008 року. – С. 139-140.

54. *Можаяєв О.О.* Моделирование особенностей телекоммуникационного трафика гетерогенной мережі системи відео- та акустичного моніторингу / О.О. Можаяєв // Матеріали ІХ-й міждун. НТК «Проблеми інформатики и моделирования». – Х: МОНУ, НАНУ, НТУ «ХПИ», 23-23.11.2009. – С. 55-56.

55. *Можаяєв А.А.* Мультифрактальная модель сетевого трафика гетерогенных сетей системы акустического мониторинга / А.А. Можаяєв, С.М. Порошин // Матеріали XVIII Міжнародної науково-практичної конференції «Інформаційні технології: Наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я». – Х.: МОНУ, НАНУ, НТУ «ХПИ», 12-14.05.2010. – С. 74.

Здобувачем запропанована мультифрактальна вейвлет-модель трафіка гетерогенної мережі.

56. *Можаяєв А.А.* Моделирование фрактального трафика сети передачи данных на основе нелинейных динамических систем. Матеріали 10-й міждун. НТК «Проблеми інформатики и моделирования». – Х: МОНУ, НАНУ, НТУ «ХПИ», 23-25.09.2010. – С. 53-54.

57. *Mozhayev O.* An Approach to Development of Complex Analysis of Commutative Metric for Multiservice Network security Assessment / O. Mozhayev, G. Kuchuk, A. Kovalenko // Statistical Methods of Signal and Data Processing. Kiev, Ukraine, October 13-14, 2010 / General Chairman I. Prokopenko. – Kiev: National Aviation University «NAU-Druk» Publishing House, 2010. – P. 158-160.

Здобувачем проведено аналіз експериментів, що базуються на реальних даних про вразливість мультисервісної мережі.

58. *Можаяєв А.А.* Исследование гетерогенного трафика сети передачи данных нелинейными динамическими системами / А.А. Можаяєв // Інформаційні технології в навігації і управлінні: стан та перспективи розвитку. Матеріали першої міжнародної науково-технічної конференції. – К.: ДП «ЦНДІ НіУ», 2010. – С. 40.

59. *Можаяєв О.О.* Моделі експертних оцінок показників якості гетерогенних комп'ютерних мереж / О.О. Можаяєв, С.Г. Котенко // Сучасні напрями розвитку інформаційно-комунікаційних технологій та засобів управління.

Матеріали першої науково-технічної конференції. – Х.: ДП «ХНДІ ТМ»; К.: ДП «ЦНДІ НіУ», 2010. – С. 63-64.

Здобувачем проведено аналіз моделей експертних оцінок показників якості гетерогенних комп'ютерних мереж.

60. Можаяев А.А. Исследование информационных систем передачи данных в гетерогенных компьютерных сетях / А.А. Можаяев, С.М. Порошин // Автоматика/Automatics-2011. XVIII Міжнародна конференція з автоматичного управління, 28-30 вересня 2011 року: матеріали конференції / Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2011. – С. 368.

Здобувачем розглянуті питання взаємодії протоколів транспортного рівня сучасних високошвидкісних мереж передачі інформації у гетерогенному сценарії.

61. Можаяев А.А. Моделирование защищенного канала связи с использованием экспоненциальной gert-сети / А.А. Можаяев, С.Г. Семенов // Информатика, математическое моделирование, экономика: Сборник научных статей по итогам второй Международной научно-практической конференции, г. Смоленск, 20 апреля 2012 г. В 3-х томах. Том 1 – Смоленск: Смоленский филиал АНО ВПО ЦС РФ «Российский университет кооперации», 2012. – С. 152-160.

Здобувачем проведено порівняльний аналіз підходів до математичного моделювання комп'ютерних мереж, виявлено їх переваги та недоліки, визначено шляхи подальшого дослідження з метою отримання довільної функції розподілу випадкового процесу доставки інформаційних пакетів у гетерогенній мережі.

62. Можаяев О.О. Моделирование трафика у гетерогенных сетях передачи данных за допомогою нелінійних динамічних систем / О.О. Можаяев // Перша міжнародна науково-технічна конференція Інформаційні проблеми теорії акустичних, радіоелектронних та телекомунікаційних систем IPST-2012. – С. 163-164.

63. Можаяев О.О. Методология экспертизы акустической обстановки в населенных пунктах Украины та в місцях антропогенного акустичного впливу / О.О. Можаяев, С.М. Порошин, В.В. Усик // Материалы XXV Международной конференции «Перспективные компьютерные, управляющие и телекоммуникационные системы для железных дорог Украины», Украина, Алушта, сентябрь 2012. Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. 2012 – №6. – С. 83-84.

Здобувачем розроблені методи синтезу топології систем передачі даних у гетерогенній мережі, які на відміну від існуючих враховують динамічний характер змін як самої мережі, так і вплив зовнішніх факторів.

АНОТАЦІЇ

Можаяев О.О. Моделі та методи передачі інформації у гетерогенних комп'ютерних мережах. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.13.05 – комп'ютерні системи та компоненти. – Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків, 2012.

Дисертаційна робота присвячена вирішенню актуальної науково-технічної проблеми підвищення ефективності передачі інформації в умовах збільшення обсягів інформації, що передається, на основі розробки моделей і методів передачі інформації в гетерогенних комп'ютерних мережах (ГКМ), що має важливе господарське значення.

Проведено аналіз стану проблеми і особливостей передачі даних в ГКМ. В результаті встановлено, що на даний момент існуючі методи керування перевантаженнями, які використовувались на критичних ділянках, не враховують властивостей трафіка гетерогенних мереж. Ця обставина визначає необхідність удосконалення класичного математичного інструментарію аналізу та синтезу розподілених комп'ютерних систем та мереж для підвищення оперативності передачі інформації.

Вдосконалено базову модель трафіка для критичної ділянки мережі з урахуванням ієрархічної структури ON-періодів активності об'єднаного трафіку, а також динаміки зміни швидкості передачі даних між відправником та одержувачем.

Розроблено модель трафіку ГКМ у вигляді солітоноподобних функцій, які є результатом розв'язання нелінійних диференціальних рівнянь Кортевега-де Вріза. Розроблено високоточний метод прогнозування фрактального трафіку, який дозволяє прогнозувати його інтенсивності на наступний інтервал часу. Набув подальшого розвитку метод параметричного управління передачею даних. Розроблено метод інтелектуального управління передачею даних, що дає можливість зменшити час передачі даних і кількість втрат пакетів під час передачі в ГКМ.

Розроблено метод синтезу топології систем передачі інформації для ГКМ, який враховує динамічний характер зміни стану мережі на основі інтелектуального управління. Розроблено комплексну методику оцінки ефективності передачі даних в ГКМ, яка враховує нелінійність трафікових процесів та ґрунтується на пропонуваніх методах прогнозу зміни стану системи передачі даних.

Ключові слова: автоматична ідентифікаційна система, гетерогенна комп'ютерна мережа, фрактальний трафік, синтез топології, параметричне управління, передача інформації, солітоноподобні функції, масштабна інваріантність, критична ділянка мережі, пульсуючий трафік.

Можаев А.А. Модели и методы передачи информации в гетерогенных компьютерных сетях. – рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.13.05. – компьютерные системы и компоненты. – Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», г. Харьков, 2012.

Диссертационная работа посвящена решению актуальной научно-технической проблемы повышения оперативности передачи информации в компьютерных системах при условии увеличения объемов передаваемой информации, на основе разработки моделей и методов передачи информации в

гетерогенных компьютерных сетях. На основе анализа теоретических и экспериментальных исследований процессов обмена информацией в сети, трафик информационных потоков имеет фрактальную структуру, что затрудняет использование классических методов анализа и моделирования на основе общей теории информации.

В настоящее время применяются модели и методы управления интегральными потоками, основанные на классической теории телетрафика. Однако в условиях постоянного увеличения объемов информации и повышении степени гетерогенности сети это приводит к неадекватности процесса управления профилем трафика и отсутствию возможности учета кратковременных пиковых значений его интенсивности. Следствием этого является неэффективное использование гетерогенных компьютерных сетей (ГКС). Предпосылки к возникновению данной проблемы основываются на сложностях системного характера, связанных с несовершенством принципов построения, алгоритмов функционирования и их программной реализации в современных сетевых технологиях. На практике это проявляется в недостаточном качестве используемых методов передачи информации в ГКС, что в итоге приводит к недопустимым задержкам в процессе обмена информацией.

Проведен анализ свойств информационного трафика ГКС как самоподобного процесса. Для этого использованы двумерное преобразование всплесков (вейвлет-преобразование), в основе которого лежит процедура многократного отделения высокочастотной составляющей сигнала и дальнейшего разложения его по локализованным базисам, состоящим из сдвигов выбранной базисной функции. После построения ортогонального базиса становится возможным исследование характеристик не только централизованных приращений сетевой нагрузки, но и идентифицировать масштабно-инвариантные характеристики самих потоков данных.

Основным критерием, по которому определяют, что любой процесс, в том числе и телекоммуникационный трафик, имеет фрактальные особенности, является его дробная размерность. Для анализа хаотических процессов, таких как, например, распространение трафика, введен показатель Херста (H), позволяющий определить хаотичность или стохастичность процесса. В работе предлагается метод определения H , который использует нейросетевые технологии, что позволяет уменьшить необходимое для вычислений время.

В результате исследований нелинейных динамических систем предложена модель трафика ГКС, основанная на его представлении в виде солитоноподобных функций, которые являются результатом решения нелинейного дифференциального уравнения Кортевега-де Вриза. Проведены исследования фрактальной размерности полученного в результате моделирования трафика и подтверждена гипотеза о фрактальном характере смоделированного процесса.

Для критического участка магистрали ГКС предложен метод прогнозирования фрактального трафика, который не требует оперативного расчета показателя Херста. Предложенный метод производит достоверные

оценки среднего значения магистрального трафика, не перегружая сеть служебной информацией.

Разработан метод синтеза топологии системы передачи информации в гетерогенных компьютерных сетях. Для этого определяются оптимальные потоки в компьютерной сети передачи информации с помощью процедуры альтернативной маршрутизации.

Разработаны метод параметрического управления передача с учетом долговременной зависимости фрактального трафика и метод интеллектуального управления передачей информации.

Усовершенствована комплексная методика оценки эффективности передачи информации в гетерогенных компьютерных сетях, которая в отличие от существующих учитывает нелинейность трафиковых процессов и основывается на предложенных методах прогноза состояния системы передачи данных.

Mozhayev A. Models and methods for information transmission in heterogeneous computer networks. – Manuscript.

The thesis towards a degree of doctor of science (Dr. of Sc.) in speciality 05.13.05 – Computer Systems and Components. – National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkov 2012.

The thesis is devoted to solving actual scientific and technical problem of increasing the efficiency of information transmission under conditions of rising amounts of information to be transmitted on the basis of the development of models and methods for information transmission in heterogeneous computer networks (HCN) which is of great economic value.

The state of the problem and the data transmission performance in HCN have been analysed. It is revealed that currently existing methods of congestion control to be used in critical part of HCN disregard the properties of heterogeneous network traffic. This fact confirms the need for improvement of classical mathematical tools for analysis and synthesis of distributed computer systems and networks to increase the efficiency of information transmission.

The basic model for critical traffic in the network, taking into account the hierarchical structure of ON-periods in combined traffic activity and the speed dynamics in data transmission between the sender and the recipient is improved.

The HCN traffic model based on solitonlike solutions of Korteweg–de Vries nonlinear differential equations is elaborated. A high accuracy prediction method for fractal traffic that allows to predict its intensity for the next time interval is proposed. The method of data transmission parametric control is further developed. The method of data transmission predictive control is worked out, which makes it possible to reduce the time of data transmission and the number of packet loss during transmission in HCN.

The method of topology synthesis for information transmission systems operating into HCN environment is proposed, which considers the dynamic behaviour of change in the network state on the base of the predictive control. The comprehensive methodology for evaluating the efficiency of data transmission in

HCN is elaborated, which takes into account nonlinearity of traffic processes and is based on the proposed prediction methods for data transmission system state change.

Keywords: automatic identification system, heterogeneous computer network, fractal traffic, topology synthesis, parametric control, information transmission, solitonlike functions, scale invariance, the critical part of network, pulse traffic.

Allorent

Підписано до друку 22.02.2013 р. Формат 60×84 ¹/₁₆. Папір офсетний.
Гарнітура Times New Roman. Друк ризографічний. Ум. друк. арк. 2,09.
Тираж 100 пр. Зам. № 2/03–2013

Видавець і виготівник
Харківський університет Повітряних Сил
імені Івана Кожедуба
61023, Харків-23, вул. Сумська, 77/79.
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи
ДК № 2535 від 22.06.2006.