

Міністерство освіти і науки України
Національний університет «Львівська політехніка»

ФЕДЕВИЧ ОЛЬГА ЮРІЇВНА



УДК 004.042 + 004.738

**ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ АНАЛІЗУ ТА ПРОГНОЗУВАННЯ
ТРАФІКУ В КОМП'ЮТЕРНИХ МЕРЕЖАХ**

05.13.06 – інформаційні технології

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Львів – 2018

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Національному університеті «Львівська політехніка» Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник:

кандидат фізико-математичних наук, доцент
Дронюк Іванна Мирославівна,
Національний університет «Львівська політехніка»,
доцент кафедри автоматизованих систем управління

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук, професор
Тимченко Олександр Володимирович,
Українська академія друкарства,
професор кафедри автоматизації та комп'ютерних технологій

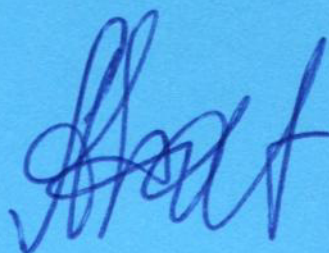
кандидат технічних наук, доцент
Лисенко Сергій Миколайович,
Хмельницький національний університет,
доцент кафедри комп'ютерної інженерії та системного програмування

Захист відбудеться «03» липня 2018 р. о 14⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 35.052.14 у Національному університеті «Львівська політехніка» за адресою: 79013, м. Львів, вул. Степана Бандери, 28а, ауд. 807, V навч. корпус.

З дисертацією можна ознайомитися у науково-технічній бібліотеці Національного університету «Львівська політехніка» за адресою: 79013, м. Львів, вул. Професорська, 1.

Автореферат розісланий «06» червня 2018 р.

Учений секретар
спеціалізованої вченої ради
канд. тех. наук, доцент



А. Є. Батюк

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Теорія та практика дослідження комп'ютерних мереж вимагає особливої уваги, оскільки тільки надійне, своєчасне транспортування інформаційних потоків є фундаментом інформаційно розвинутого суспільства.

Телекомунікаційні системи на сучасній стадії розвитку трансформувались у складну та неструктуровану мережу, що здійснює передавання даних між серверами та клієнтами за допомогою різноманітного мережного обладнання. Постійне зростання кількості даних у світі призводить до збільшення завантаження як телекомунікаційних систем, так і комп'ютерних мереж в цілому.

Тому необхідним завданням на сьогоднішній день є проведення аналізу переваг та недоліків функціонування сучасних комп'ютерних мереж, а також методів та засобів адаптивного управління мережним обладнанням, розвитку методів прогнозування інтенсивності трафіку та методів перенаправлення потоків даних в комп'ютерних мережах.

Класичні підходи в теорії мереж базуються на припущеннях, що вхідні потоки є усталеними, тобто фактично є суперпозицією дуже великої кількості незалежних стаціонарних потоків. Розглядаючи телефонні мережі з каналною комутацією, можна стверджувати, що таке припущення також буде для них справедливим. Однак дослідники стверджують, що трафік в сучасних комп'ютерних та телекомунікаційних мережах з комутацією пакетів має особливу структуру, яка не дає змоги використовувати при моделюванні стандартні методи, які базуються на марковських моделях та формулах Ерланга. Ці моделі недостатньо враховують ефект пульсацій трафіку, тобто в реалізації завжди наявна певна кількість достатньо сильних коливань на фоні низького середнього рівня трафіку. Це явище спричиняє збільшення втрат пакетів з даними, затримок їх передавання при проходженні такого трафіку через комп'ютерну мережу.

Значний внесок у розвиток теорії трафіку, систем управління в телекомунікаціях здійснили В.К. Стеклов, Б.Я. Костік, Л.Н. Беркман, комп'ютерних мереж та адаптивного управління зробили М.Л. Бірюков, М.М. Климаш, Г.Ф. Конахович, Ю.А. Кочергін, у розроблення різних механізмів прогнозування трафіку вклад зробили Г.А. Кучук, О.О. Можаяєв, О.В. Воробйов, В.М. Вишневський, Т. Чахурські, у теорію створення та планування комп'ютерних мереж Е. Таненбаум, В.Г. Оліфер та Н.О. Оліфер, Є.В. Буров, Б.А. Демида, К.М. Обельовська, І.В. Демидов та інші науковці. Беручи до уваги щораз швидші темпи розростання завантаженості комп'ютерних мереж, збільшення кількості користувачів та щораз більше проникнення інформаційних технологій у життя та діяльність людини, виникає потреба розроблення нових методів, моделей та засобів для аналізу та прогнозування інтенсивності трафіку, адаптивного управління мережним обладнанням комп'ютерних мереж з метою зменшення частоти виникнення пульсацій передавання даних.

Тому актуальним науковим завданням є розроблення моделі та методів прогнозування та перерозподілу трафіку з метою зменшення часових затримок передавання даних.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота пов'язана з планами науково-дослідної та навчальної роботи інституту

комп'ютерних наук та інформаційних технологій Національного університету «Львівська політехніка». Дисертація відповідає науковому напрямку кафедри автоматизованих систем управління «Методи, моделі та компоненти інформаційних управляючих систем і технологій». Дисертація виконана в межах держбюджетних науково-дослідних робіт на кафедрі автоматизованих систем управління: «Технологія підвищення графічного рівня захищеності друкованих та електронних документів» (№ державної реєстрації 0115U004704), «Інтелектуальні інформаційні технології багаторівневого управління енергоефективністю регіону» (№ державної реєстрації 0117U1004450) та спільного україно-австрійського науково-дослідного проекту «Моделювання трафіку та телекомунікаційних мереж» (№ державної реєстрації 0117U001612).

Мета та задачі дослідження. Метою дисертаційної роботи є зменшення часових затримок передавання даних шляхом розроблення інформаційної технології аналізу та прогнозування трафіку в комп'ютерних мережах.

Досягнення цієї мети передбачало розв'язання таких завдань:

- аналіз методів та засобів моделювання та прогнозування трафіку в комп'ютерних мережах, а також моделей опису трафіку комп'ютерної мережі;
- розроблення предметно-орієнтованої математичної моделі трафіку;
- розроблення методу короткострокового прогнозування інтенсивності трафіку комп'ютерної мережі;
- вдосконалення методу маршрутизації трафіку комп'ютерної мережі у мережному обладнанні;
- програмної реалізації розроблених методів короткострокового прогнозування інтенсивності трафіку та методу маршрутизації трафіку в мережному обладнанні;
- розроблення структурно-функціональної моделі інформаційної технології аналізу та прогнозування трафіку в комп'ютерних мережах;
- комп'ютерного імітаційного моделювання функціонування розроблених методів.

Об'єктом дослідження є процес передавання даних у комп'ютерних мережах.

Предмет дослідження – методи та моделі аналізу і прогнозування трафіку в мережному обладнанні комп'ютерних мереж.

Методи дослідження. Для розв'язання поставлених в дисертаційній роботі завдань використано: теорію та методи управління трафіком в комп'ютерних мережах – для аналізу трафіку комп'ютерних мереж, моделей трафіку; теорію диференціальних рівнянь, методи математичного аналізу, математичної логіки та теорії операторів, теорію спеціальних функцій, методи оптимізації, методи наближених обчислень – для побудови математичної моделі трафіку; теорію графів, теорію алгоритмів – для аналізу, дослідження та вдосконалення методів маршрутизації трафіку; методи системного аналізу, елементи об'єктно-орієнтованого проектування – для розроблення імітаційної моделі; імітаційне моделювання та статистичні методи оброблення даних, елементи функційного

програмування, λ -числення – для програмної реалізації розроблених методів, прогнозування та перерозподілу трафіку та для опрацювання результатів.

Наукова новизна отриманих результатів. Наукова новизна дисертаційної роботи полягає у тому, що:

вперше:

- розроблено предметно-орієнтовану математичну модель трафіку, яка, на відміну від відомих, побудована на основі диференціальних рівнянь коливного руху з одним ступенем вільності, що забезпечує підвищення вірогідності результатів моделювання;
- розроблено метод короткострокового прогнозування інтенсивності трафіку, який за рахунок використання математичного апарату теорії Атеб-функцій підвищує точність прогнозу значень трафіку;

вдосконалено:

- метод маршрутизації трафіку у мережному обладнанні, який ґрунтується на прогнозуванні інтенсивностей завантаження маршрутів та, використовуючи існуючу інформацію про маршрути, забезпечує їх корекцію та зменшує інтенсивність навантаження буфера мережного обладнання;

отримав подальший розвиток:

- метод перерозподілу трафіку, який за рахунок прогнозування інтенсивностей пульсацій потоку даних, забезпечує мінімізацію джиттера трафіку комп'ютерної мережі.

Практичне значення одержаних результатів. Розв'язання сформульованих завдань є основою для побудови методів для удосконалення процесу обслуговування мережного трафіку.

Метод короткострокового прогнозування інтенсивності трафіку, а також удосконалений метод маршрутизації трафіку у мережному обладнанні є придатними для використання у мережному обладнанні комп'ютерних мереж. Середню часову затримку передавання пакетів з даними було знижено в середньому на 14 – 15% шляхом обслуговування пакетів в умовах прогнозованого перевантаження мережного обладнання. Таким чином, розроблені методи короткострокового прогнозування та перерозподілу трафіку дають змогу знизити інтенсивність завантаження мережного обладнання в комп'ютерних мережах в умовах виникнення значних пульсацій трафіку.

Результати досліджень використані в Інституті теоретичної та прикладної інформатики Польської академії наук в рамках дослідження та обробки трафіку цього Інституту з метою підвищення ефективності використання мережного обладнання (акт впровадження від 03.02.2017 р.) та в ПП «Цифрові технології» (акт впровадження від 30.12.2016 р.), а також при виконанні спільного україно-австрійського науково-дослідного проекту «Моделювання трафіку та телекомунікаційних мереж» та у навчальному процесі кафедри «Автоматизовані системи управління» Національного університету «Львівська політехніка».

Особистий внесок здобувача. Усі наукові результати дисертаційної роботи отримані автором самостійно. Одноосібно опубліковані праці – [8, 9, 14]. У працях, опублікованих у співавторстві, автору належать: реалізація моделювання

збурень за допомогою Ateb-функцій [1]; предметно-орієнтована математична модель трафіку [2]; порівняння зразків значень реального трафіку, зібраного за допомогою аналізатора мережевих протоколів Wireshark та значень прогнозованого трафіку комп'ютерних мереж [3]; метод короткострокового прогнозування інтенсивності трафіку [4]; дослідження аналізатора мережевих протоколів Wireshark та збір зразків трафіку [6, 10]; опис розробленого програмного забезпечення для інформаційної технології аналізу та прогнозування трафіку в комп'ютерній мережі [5, 7, 13, 16]; удосконалення методу маршрутизації трафіку у мережному обладнанні [11], функція аналізатора трафіку для дослідження параметрів прогнозування трафіку [12] прогнозування та визначення зміни параметрів трафіку [15].

Апробація результатів дисертаційної роботи. Основні положення та результати роботи були представлені та обговорені та доповідались на міжнародних та всеукраїнських конференціях, а саме: Computer Networks (CN) (Łądek Zdrój, Poland, 2017); Computer Networks (CN) (Lwówek Śląski, Poland, 2016); The 11th International Scientific and Technical Conference of Computer Sciences and Information Technologies (CSIT 2016) (Lviv, 2016); Free/Libre and Open-Source Software (FOSS 2016) (Lviv 2016); The XIIth International Conference «Perspective Technologies and Methods in MEMS Design» (MEMSTECH'2016) (Polyana, 2016); The 10th International Scientific and Technical Conference of Computer Sciences and Information Technologies (CSIT 2015) (Lviv, 2015); Free/Libre and Open-Source Software (FOSS 2015) (Lviv 2015); 13th International Conference on Experience of Designing and Application of CAD Systems in Microelectronics (CADSM) (2015, Polyana); 72-а науково-технічна студентська конференція (Львів, 2014); The Xth International Conference «Perspective Technologies and Methods in MEMS Design» (MEMSTECH'2014) (Polyana, 2014); Computer Networks (CN) (Lwówek Śląski, Poland, 2013); The IXth International Conference «Perspective Technologies and Methods in MEMS Design» (MEMSTECH'2013) (Polyana, 2013).

Матеріали дисертації регулярно доповідались та обговорювались на наукових семінарах кафедри автоматизованих систем управління Національного університету «Львівська політехніка» (2014 – 2017 рр.).

Публікації. Основні положення та результати дисертаційного дослідження викладено в 16 наукових публікаціях, наведених в авторефераті серед них 4 статті у наукових періодичних виданнях інших держав, які включено до міжнародних наукометричних баз, 5 статей у наукових фахових виданнях України з технічних наук (з них 4 включено до міжнародних наукометричних баз); 5 публікацій у збірниках праць міжнародних конференцій, а також 1 патент на корисну модель та 1 свідоцтво про авторське право на комп'ютерну програму.

Структура та обсяг дисертації. Дисертація складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. Робота містить 160 сторінок основного тексту, 92 рисунки та 20 таблиць. Загальний обсяг дисертації – 214 сторінок, список літературних джерел налічує 131 найменування на 16 сторінках. Дисертація містить 4 додатки, розміщені на 20 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми дисертаційної роботи, сформульовано мету і завдання дослідження, визначено наукову новизну та практичне значення отриманих результатів, показано зв'язок роботи з науковими темами. Подано відомості про впровадження та апробацію результатів дисертаційної роботи, публікації та особистий внесок здобувача.

У **першому розділі** проаналізовано сучасний стан та прогнозований розвиток комп'ютерних мереж та зростання об'ємів даних, які ними передаються. Проведено дослідження методів та існуючого інструментарію інформаційних технологій, які використовуються для прогнозування та моделювання потоків трафіку в комп'ютерних мережах на сьогоднішній день провідними науковцями світу, виділено їх основні переваги та недоліки.

Розроблення інформаційної технології для аналізу та прогнозування інтенсивності трафіку потоків даних в комп'ютерних мережах націлено на покращання функціонування їх складових компонентів, зокрема комутаторів, маршрутизаторів та комутаторів міток різних видів. Для підтвердження актуальності та корисності створення такої інформаційної технології необхідно встановити об'єми трафіку, які передаються через обрану комп'ютерну мережу. Наступним кроком необхідно оцінити ймовірне зниження завантаженості такої мережі та прийняти рішення про потрібність такої інформаційної технології.

Враховуючи об'єми зразків трафіку, які необхідно дослідити, не є можливим провести таке дослідження без використання апаратних засобів для збору інформації такого роду на глобальному рівні. Тому за основу для обґрунтування проведення досліджень взято програму збору, обробки та прогнозування розвитку глобального мережевого трафіку Cisco Visual Networking Index, запропоновану компанією Cisco. Згідно прогнозу, до 2020 року кількість загального трафіку збільшиться в 3 рази порівняно з кількістю трафіку в 2015 році. Збільшення кількості трафіку, в свою чергу, спричинить зростання інтенсивності навантаження складових частин комп'ютерної мережі, зокрема маршрутизаторів та комутаторів, що може призвести до падіння ефективності їх роботи та спричинити втрати корисної інформації, що передається.

Беручи до уваги також той факт, що на сьогоднішній день існує велика різноманітність пристроїв мережного обладнання, та щороку розробляються та втілюються їхні апаратні удосконалення, постає потреба розроблення інформаційних технологій, що значно спростять роботу з різнотипним обладнанням та дадуть змогу розробляти вдосконалення для них на програмному рівні.

Крім того, опрацьовані статистичні дані показують, що в майбутньому з кожним роком буде зростати потреба у створенні інформаційних технологій для покращення роботи комп'ютерних мереж як в цілому, так і зокрема інформаційних технологій прогнозування та аналізу мережного трафіку, які дадуть змогу ефективно використовувати комп'ютерні мережі та їх обладнання не лише для передавання різномірної інформації, а також і ефективно працювати з даними та метаданими. Початково для розроблення такої інформаційної технології є необхідним здійснити аналіз найвідоміших існуючих моделей, методів та засобів опису та дослідження трафіку, розглянути та дослідити їхні переваги та недоліки.

На підставі проведеного огляду літературних джерел було розглянуто математичну модель опису трафіку як самоподібного процесу. Самоподібний трафік володіє особливою структурою. Ця структура зберігається при використанні багаторазового масштабування. У реалізації такого підходу, як правило, присутня певна кількість викидів при відносно невеликому загальному рівні трафіку. Дане явище погіршує характеристики (збільшує затримки передавання пакетів, джиттер трафіку) при проходженні такого трафіку через вузли комп'ютерної мережі. На практиці це проявляється в тому, що пакети, при великій швидкості їхнього руху через комп'ютерну мережу, надходять на вузол не окремо, а цілою множиною, що може призводити до їхніх втрат через обмеженість об'ємів буфера, які були попередньо розраховані за класичними методиками. Описані особливості мережевого трафіку викликали велике зростання публікацій та проведення наукових досліджень за методами аналізу, моделювання та прогнозування самоподібного трафіку.

Наступним кроком було дослідження математичної моделі опису трафіку на підставі дифузійних рівнянь. Розробкою моделі трафіку на основі дифузійних рівнянь активно займається школа Інституту теоретичної та прикладної інформатики Польської Академії наук під керівництвом професора, директора Тадеуша Чахурскі. Моделювання мережного трафіку на основі теорії дифузії вже на сьогодні – велика область знання. Ці дослідження демонструють багато позитивних результатів: зокрема, представляється в узгодженому вигляді певний підхід, який було прийнято і використано науковцями з цієї школи для аналізу ряду моделей щодо оцінки деяких механізмів контролю трафіку. Дифузійне наближення представляється з інженерної точки зору, підкреслюючи його корисність та коментуючи чисельні проблеми його реалізації. Це наближення є методом для моделювання поведінки черги пакетів трафіку на одному вузлі мережі або поведінки черг пакетів в усій мережі. Це дозволяє включити в модель загальний час обслуговування, загальні (також корельовані) вхідні потоки та досліджувати перехідні стани. У сучасних мережах представляє інтерес дослідження присутності пульсуючих потоків (наприклад, мультимедійних), що дана модель дозволяє реалізувати.

Також було розглянуто моделювання трафіку за допомогою методів теорії систем масового обслуговування, та різних її модифікацій. Важливою проблемою при побудові моделей непуассонівського трафіку, зокрема, однією з найважливіших, є проблема виділення відповідності між властивостями трафіку як реалізації цілочислового випадкового процесу і трафіку як послідовності випадкових інтервалів часу між подіями (потоків подій). Вирішення останнього завдання особливо є важливим для теорії масового обслуговування, оскільки весь арсенал розроблених і розроблюваних моделей функціонування мережних пристроїв базується на другому поданні трафіку.

Загалом методи моделювання та прогнозування передавання трафіку в сучасних комп'ютерних мережах постійно розвиваються та розробляються провідними науковцями світу, однак на сьогодні все ще містять різноманітні недоліки, не є розробленими та повністю вивченими. А тому актуальним завданням є розроблення моделі та методів прогнозування та перерозподілу трафіку з метою

зменшення часових затримок передавання даних шляхом розроблення інформаційної технології аналізу та прогнозування трафіку в комп'ютерних мережах. Відповідно до цього визначено основні завдання наукового дослідження, викладеного у дисертаційній роботі.

У **другому розділі** роботи опрацьовано та досліджено застосування методу усереднення Боголюбова-Митропольського для різнопланових завдань, а також математичний апарат теорії Атеб-функцій, та показано застосування цих функцій для вирішення задач у багатьох галузях людської діяльності. Також було описано та досліджено теорію нелінійних диференціальних рівнянь коливного руху для моделювання періодичних процесів та поведінки цих систем. Здійснено опис динамічних процесів досліджуваних нелінійних систем, що описуються за допомогою Атеб-функцій. Наступним кроком здійснено дослідження нелінійних диференціальних рівнянь коливних систем з одним ступенем вільності. Розроблено модель потокового трафіку в комп'ютерних мережах на основі нелінійних диференціальних рівнянь коливного руху з одним ступенем вільності, розв'язання яких побудовано на основі асимптотичного методу Боголюбова-Митропольського. Показано, що незбурений розв'язок виражається через Атеб-функції. Малі збурення змодельовано за допомогою дельта-функцій із застосуванням малого параметра, випадкових за появою в часі.

Першочергово розглянуто зміни трафіку комп'ютерної мережі в часі як нелінійну коливну систему з одним ступенем вільності з малим збуренням. Моделювання поведінки трафіку комп'ютерної мережі $x(t)$ здійснюється за допомогою звичайного диференціального рівняння другого порядку з малим параметром ε у вигляді

$$\ddot{x} + \alpha^2 x^n = \varepsilon f(x, \dot{x}, t) \quad (1)$$

де $x(t)$ – кількість пакетів у мережі в момент часу t ; α – константа, яка визначає величину періоду коливання трафіку, $f(x, \dot{x}, t)$ - довільна аналітична функція, яка використовується для моделювання малих відхилень трафіку від основної складової коливань, n – число, яке визначає степінь нелінійності рівняння і впливає на період основної складової коливань.

При виконанні поданих умов на α і n $\alpha \neq 0$, $n = \frac{2k_1+1}{2k_2+1}$, $k_1, k_2 = 0, 1, 2, \dots$, доведено, що аналітичний розв'язок рівняння (1) представляється у вигляді Атеб-функцій. Для завдань прогнозування трафіку в комп'ютерній мережі чи мережі мобільного зв'язку важливим є вибір функції f , оскільки саме її складові враховують особливості даної конкретної мережі. Підхід, у якому розглянуто малі збурення у вигляді періодичних функцій є доцільним для моделювання мережі з плавною зміною інтенсивності проходження трафіку. Однак тут розглянуто збурення у вигляді суми дельта-функцій. Такий опис краще відповідає мережі з різкими змінами інтенсивності проходження трафіку.

Для побудови розв'язку розглядається спочатку рівняння (1) без збурювальної функції

$$\ddot{x} + \alpha^2 x^n = 0. \quad (2)$$

Наступним кроком отримано формули для моделювання трафіку в мережі на підставі поліпшеного наближення асимптотичного методу для диференціального рівняння коливного руху з малим збуренням у вигляді

$$\begin{cases} \xi = aCa(n, 1, \varphi) - \varepsilon f(\xi, \zeta, \varphi) \\ \zeta = a^{\frac{1+n}{2}} hSa(1, n, \varphi) - \varepsilon g(\xi, \zeta, \varphi) \end{cases} \quad (3)$$

де $\xi = \xi(\varphi), \zeta = \zeta(\varphi)$, a – амплітуда коливань, $Ca(n, 1, \varphi), Sa(1, n, \varphi)$ – Ateb-косинус і Ateb-синус відповідно, ε – малий параметр, $h^2 = \frac{2\alpha^2}{1+n}$. Змінна φ пов'язана з часом t співвідношенням вигляду

$$\varphi = \frac{a^{\frac{n-1}{2}}}{L} t + \varphi_0, \quad (4)$$

де L – певна константа, φ_0 – початкова фаза коливань, які визначаються з початкових умов для рівняння (2).

Математичний апарат Ateb-функцій дав змогу розв'язати диференціальне рівняння (1) що описує суттєво нелінійні процеси у системах з одним ступенем вільності.

Ateb-функції є оберненням до Beta-функцій. Неповна Beta-функція визначається рівністю

$$B_x(p, q) = \int_0^x t^{p-1} (1-t)^{q-1} dt, \quad (5)$$

де p і q – дійсні числа.

В частковому випадку, якщо $x = 1$, рівняння (5) набуде вигляду інтегралу Ейлера першого роду

$$B_1(p, q) = \int_0^1 t^{p-1} (1-t)^{q-1} dt, \quad (6)$$

тобто повної Beta-функції.

Для всіх x з інтервалу $[0,1]$ функції $B_x(p, q)$ і $B_1(p, q)$, задані формулами (5), (6), є додатними та задовольняють умови

$$\begin{aligned} 0 &\leq B_x(p, q) \leq B_1(p, q), \\ B_x(p, q) &= B_1(p, q) - B_{1-x}(p, q). \end{aligned}$$

Прийнято розглядати два варіанти, а саме

$$p = \frac{1}{n+1}, q = \frac{1}{m+1}; \quad (7)$$

$$p = \frac{1}{n+1}, q = \frac{m}{m+1} - \frac{1}{n+1}, \quad (8)$$

де m і n визначаються як $n = \frac{2\theta'_1+1}{2\theta''_1+1}, m = \frac{2\theta'_2+1}{2\theta''_2+1}, (\theta'_1, \theta''_1, \theta'_2, \theta''_2 = 0,1,2, \dots)$.

У роботі використано періодичні Ateb-функції для забезпечення врахування коливань та пульсацій трафіку.

Отримані аналітичні вирази є підставою для моделювання потоків трафіку в комп'ютерній мережі.

Також було показано адекватність розробленої математичної моделі трафіку відносно реальних зразків трафіку. Дана модель може бути використана для прогнозування або моделювання трафіку в комп'ютерних мережах, а також у телекомунікаційних мережах та мережах мобільного зв'язку.

У **третьому розділі** розроблено та реалізовано моделювання збурень на основі

Ateb-функцій, реалізовано метод короткострокового прогнозування інтенсивності трафіку з різними параметрами, удосконалено метод маршрутизації потоків трафіку в трактах обміну даними з метою покращання роботи комп'ютерної мережі та її обладнання. Подано опис розробленого аналізатора трафіку для розробленої інформаційної технології, показано його функціональні можливості.

Відомо, що основною вимогою до комп'ютерних мереж зі сторони якості обслуговування (QoS) є виконання такою мережею її основних функцій, серед яких – забезпечення користувачам можливостей доступу до всіх ресурсів комп'ютерів всередині мережі.

У розподілювач навантаження закладено декілька стандартних алгоритмів, якими може скористатись системний адміністратор для покращення роботи мережі. Альтернативним підходом може бути створення адаптивної системи управління перерозподілом пропускної здатності мережного обладнання на основі інформаційної технології аналізу та прогнозування трафіку, що враховує інформацію про трафік в реальному часі.

У зв'язку з цим пропонується на основі моніторингу трафіку мережі в реальному часі та розробленої математичної моделі прогнозування трафіку комп'ютерної мережі створити метод прогнозування інтенсивності трафіку, що допоможе приймати ефективні рішення про розподіл навантаження обладнання.

Основним програмним засобом створеної інформаційної технології аналізу та прогнозування трафіку в комп'ютерних мережах є розроблений аналізатор трафіку, серед можливостей якого є зчитування зразків трафіку з мережного обладнання комп'ютерної мережі із можливістю запису результатів зчитування в файл спеціального формату *.rpsar, аналіз попередньо записаного трафіку. Опрацьовані дані про трафік зберігаються в реляційній базі даних.

Головним призначенням аналізатора трафіку комп'ютерної мережі є аналіз зразків цього трафіку з подальшою можливістю прогнозування величини трафіку за допомогою математичного апарату теорії Ateb-функцій та розрахунку оптимальних мережових маршрутів передавання даних на основі графової моделі за допомогою удосконалення методу маршрутизації потокового трафіку трактами обміну даних.

Розроблений аналізатор трафіку не вимагає встановлення. Програма знаходиться у вигляді архівного файлу, який необхідно розпакувати, а потім розпакований вміст можна розмістити в зручному для користувача місці на комп'ютері чи іншому обладнанні. Крім описаних, мережовий аналізатор трафіку дає змогу здійснювати наступні операції: аналізувати дані трафіку, обробляти дані, отримані з комп'ютерної мережі та відображати отримані результати, підбирати параметри прогнозування на основі статистичних даних. Цей програмний продукт створено за допомогою мов програмування C++ та Haskell. Налаштування бази даних для збереження трафіку також є передбаченим у розробленому аналізаторі трафіку.

Метод короткострокового прогнозування інтенсивності трафіку імплементовано на основі математичного апарату теорії Ateb-функцій, який дав можливість розв'язати аналітично системи диференціальних рівнянь, що описують суттєво нелінійні процеси у системах з одним ступенем вільності. Адаптивно вибираючи значення параметра n для Ateb-функції в залежності від довжини

періоду реальних коливань трафіку з даних моніторингу на основі використання концепції добової ритміки, отримано формулу для обчислення тренду трафіку мережі протягом проміжку часу, що відповідає періоду між піковими навантаженнями у мережі.

У залежності від реальних даних моніторингу мережі (кількості пульсацій трафіку в одиницю часу) проміжок прогнозу тренду трафіку може змінюватись. Для прикладу, середнє значення періоду пульсацій (пікових коливань трафіку) рівне 5 хв. Якщо прогнозоване значення навантаження у вузлі буде більше за задане значення максимальної пропускнуї спроможності даного вузла, то програмне забезпечення згенерує відповідне повідомлення стосовно перерозподілу навантаження у мережі.

У результаті роботи програмного забезпечення параметри трафіку візуально відображаються на графіках та даються відповідні рекомендації про перерозподіл інтенсивності навантаження у мережі, тобто для мережного обладнання, що досліджується. В залежності від прогнозованих значень завантаження мережного обладнання експериментальним чином визначено, що перемикання на альтернативні шляхи доставлення пакетів необхідно здійснювати при 50-55 % прогнозованого завантаження буфера мережного обладнання.

Перевагою запропонованого методу короткострокового прогнозування інтенсивності трафіку є використання однієї аналітичної формули для прогнозування обсягів трафіку та реалізація перерозподілу інтенсивності навантаження у мережі.

Використання аналізатора трафіку комп'ютерної мережі дає змогу: автоматично і цілодобово збирати дані (джиттер, затримка, швидкість передавання даних) з пристроїв мережі; в режимі реального часу слідкувати за роботою мережі; здійснювати дослідження інтенсивності навантаження мережного обладнання; опрацьовувати отримані дані стану мережного обладнання та здійснювати балансування інтенсивністю навантаження мережного обладнання.

Для прийняття ефективних рішень адаптивного управління необхідно також дослідити методи та механізми балансування інтенсивністю навантаження мережного обладнання з метою розроблення та впровадження певних удосконалень в ці механізми на основі отриманої інформації про прогнозовану інтенсивність завантаженості досліджуваного мережного обладнання.

Маршрутизація у сучасних комп'ютерних мережах має великий вплив на їх функціонування, експлуатацію, раціональне використання ресурсів. Одним з протоколів, що використовуються для маршрутизації в сучасних комп'ютерних мережах є протокол OSPF (Open Shortest Path First), який забезпечує передачу даних по найкоротшому шляху, для пошуку якого використовується алгоритм Дейкстри. Однак цей протокол не забезпечує захисту ресурсів комп'ютерної мережі від перевантажень, що зумовлює потребу створення методів, засобів та вживання додаткових заходів для їх ліквідації. Проблема великих перевантажень в комп'ютерних мережах, які використовують маршрутизацію за допомогою протоколу OSPF, є надзвичайно актуальною для вирішення на сьогодні.

Головною причиною виникнення перевантажень в комп'ютерній мережі є передавання трафіку різних потоків лише одним спільним шляхом, визначеним за

алгоритмом Дейкстри. В свою чергу, цей алгоритм будує дерево найкоротших шляхів на основі топології комп'ютерної мережі, в якій він працює, однак не враховує поточного стану її завантаження. Це спричиняє створення черг з інформаційних пакетів та виникнення затримки при передачі даних, тому що всі потоки йдуть по розрахованому найкоротшому маршруті, результатом чого може стати перевантаження мережного обладнання, що становить цей розрахований найкоротший шлях.

Розроблене удосконалення методу маршрутизації мережного трафіку в трактах обміну даними побудовано на основі даних, отриманих за допомогою розробленого методу короткострокового прогнозування інтенсивності трафіку в комп'ютерній мережі та використано для відображення шляхів між реальними вузлами мережі Інтернет, дані про які були взяті з проекту The Opte Project.

Суть роботи такого удосконаленого методу маршрутизації трафіку описується за допомогою наступних кроків:

I. Пошук дерева найкоротших шляхів.

1. Задається топологія комп'ютерної мережі як зважена матриця суміжностей, яка зберігається в масиві A .

2. Будується масив X , в якому буде зберігатись та демонструватись знаходження найкоротшого шляху від вершини s (кореня дерева) до кожної з вершин, які залишились.

3. За допомогою класичного алгоритму Дейкстри відбувається пошук дерева найкоротших шляхів T від вершини s до всіх інших вершин.

II. Створення головної маршрутної таблиці.

III. Обчислення альтернативних дерев найкоротших шляхів, що можуть бути використані при перевантаженні того чи іншого вузла, та створення маршрутних таблиць відбувається відповідно до результатів роботи методу короткострокового прогнозування інтенсивності трафіку.

При умові знаходження декількох альтернативних шляхів, що є рівними між собою, відбувається вибір одного з них за правилом лівої руки. Вибір здійснюється у вузлі, в якому відбувається пошук альтернативних шляхів з метою уникнення перевантаження мережного обладнання. За відсутності перевантажень в мережі використовується класичний спосіб маршрутизації за правилами протоколу OSPF.

Основною перевагою удосконаленого методу маршрутизації мережного трафіку в трактах обміну даними є врахування розрахованих значень прогнозу тренду трафіку, отриманого за допомогою застосування розробленого методу короткострокового прогнозування інтенсивності трафіку та побудова альтернативних маршрутів передавання даних з використанням цієї інформації.

Описане програмне забезпечення протестовано не тільки на зразках трафіку комп'ютерної мережі кафедри автоматизованих систем управління, але і на зразках трафіку отриманих в комп'ютерній мережі Інституту теоретичної та прикладної інформатики Польської Академії Наук, отриманих як з використанням аналізатора мережевих протоколів Wireshark, так і з використанням розробленого аналізатора мережного трафіку з метою забезпечення достовірності результатів.

Для порівняння результатів експерименту обрано максимальну кореляцію та коефіцієнт, який виражає відношення стандартної девіації до максимальної.

Отримані результати засвідчили, що порівняння реальних та прогнозованих значень трафіку (на проміжку часу однієї доби) демонструє високий рівень збігу, а значення коефіцієнту кореляції це підтверджує. Звідси випливає, що метод короткострокового прогнозування інтенсивності трафіку в комп'ютерній мережі на основі диференціальних рівнянь коливного руху та створений програмний продукт є достатньо ефективними, розроблене програмне забезпечення покращує роботу мережного обладнання. На рисунку 1 зображено схему роботи методів розробленої інформаційної технології.

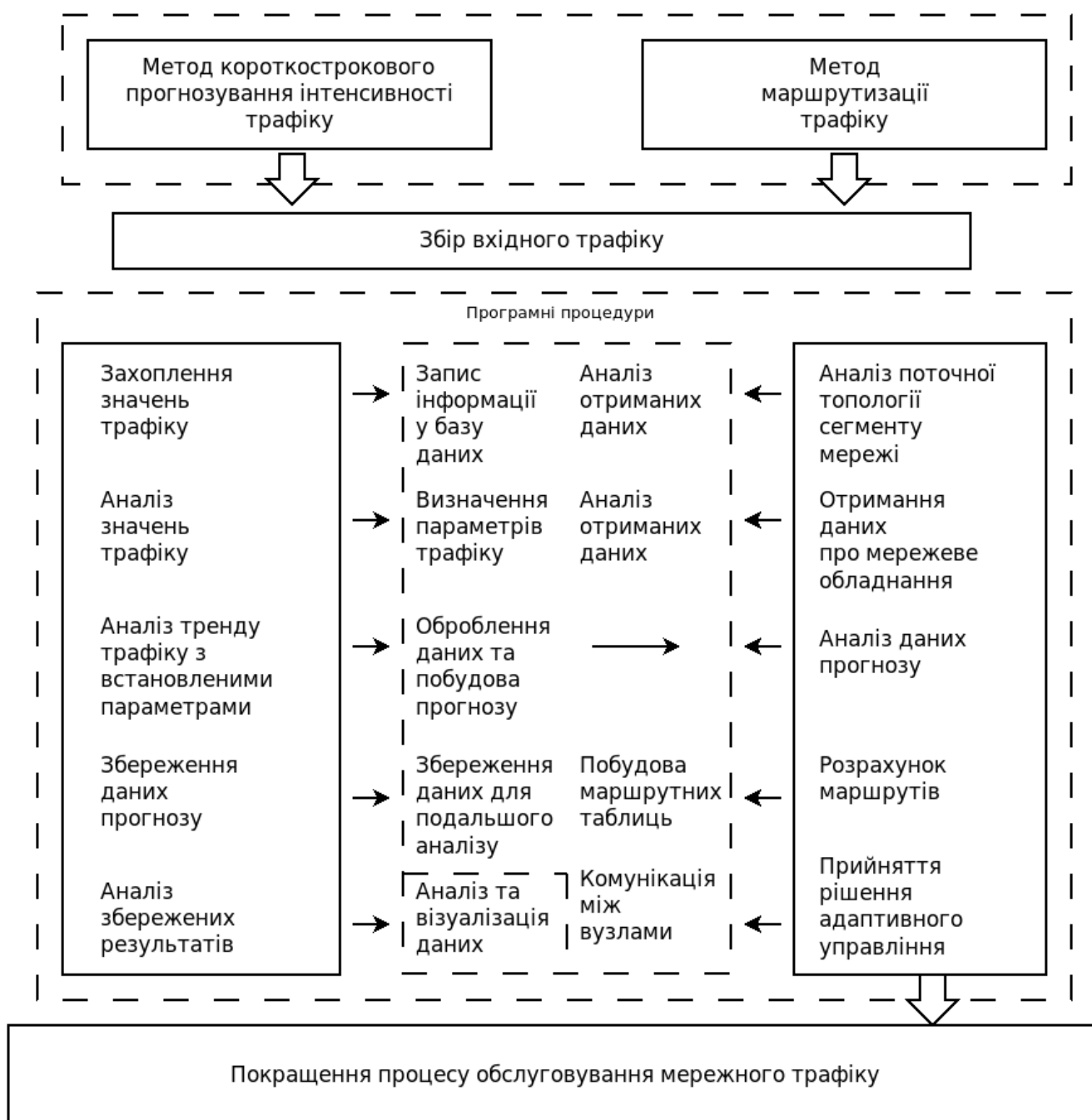


Рисунок 1 – Схема застосування інформаційної технології аналізу та прогнозування трафіку в комп'ютерних мережах

У четвертому розділі наведено розроблену структурно-функціональну

модель інформаційної технології аналізу та прогнозування трафіку в комп'ютерній мережі, показано результати визначення параметрів завантаженості комп'ютерної мережі шляхом комп'ютерного імітаційного моделювання для визначення впливу застосування методів розробленої інформаційної технології на роботу мережного обладнання комп'ютерної мережі. Структурно-функціональна модель інформаційної технології показана на рисунку 2.

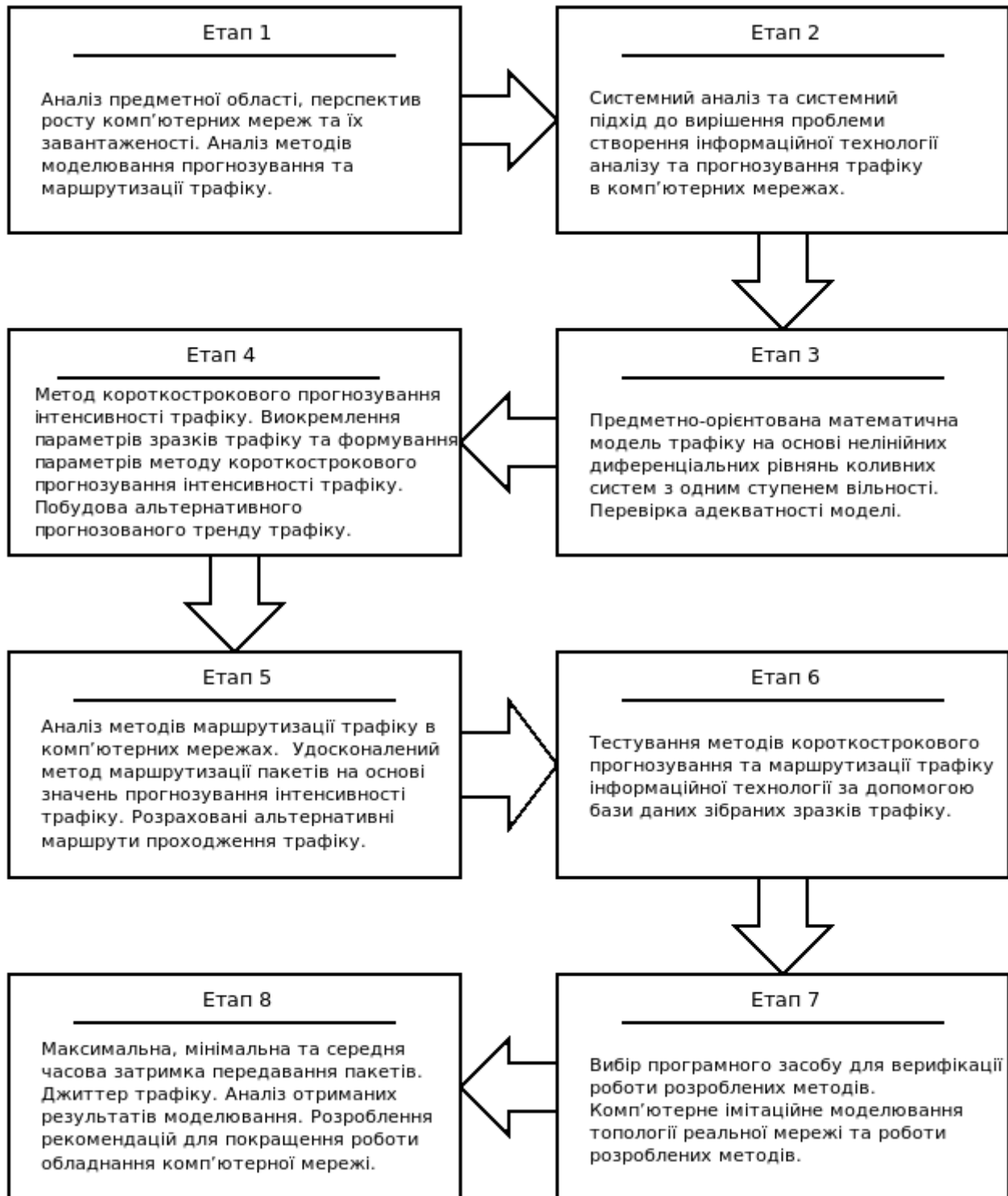


Рисунок 2 – Структурно-функціональна модель інформаційної технології аналізу та прогнозування трафіку в комп'ютерних мережах

Комп'ютерне імітаційне моделювання проводилось з використанням методу короткострокового прогнозування інтенсивності потокового трафіку мережі, топології якої та дані для моделювання отримані з проекту The Opte Project. Комп'ютерне імітаційне моделювання тут є необхідним етапом, який підтверджує теоретичні очікування і служить додатковою базою для обґрунтування розробленого методу короткострокового прогнозування інтенсивності мережного трафіку та вдосконалення методу маршрутизації трафіку.

В експериментальній комп'ютерній мережі було змодельовано актуальні на сьогоднішній день пристрої, які відповідають стандартам IEEE802.

Для здійснення комп'ютерного імітаційного моделювання роботи розробленої інформаційної технології та верифікації отриманих результатів було розглянуто декілька найвідоміших середовищ комп'ютерного імітаційного моделювання, що дають змогу створювати топології комп'ютерних мереж будь-якого типу з актуальними на сьогодні пристроями, а також такі, що дають можливість генерувати зразки трафіку чи/та використовувати попередньо зібрані зразки за необхідності.

Серед цих середовищ було розглянуто J-Sim, OMNeT++, NS-2. Кожне з цих середовищ імітаційного моделювання має свої переваги та недоліки. Для верифікації отриманих результатів експериментів інструментом імітаційного моделювання та для моделювання роботи інформаційної технології аналізу та прогнозування трафіку в комп'ютерних мережах було обрано середовище OMNeT++, оскільки воно дає змогу вбудовувати програмний код розроблених методів, який був написаний мовою програмування C++, в розроблені імітаційні моделі комп'ютерних мереж.

Для проведення експериментів розроблений метод короткострокового прогнозування інтенсивності мережного трафіку за допомогою математичного апарату теорії Ateb-функцій було вбудовано в тестові комп'ютерні імітаційні моделі, складені у середовищі OMNeT++. Вихідний код розробленого методу короткострокового прогнозування інтенсивності трафіку додано до існуючого програмного коду моделі з можливістю викликати необхідні функції опрацювання даних прогнозування та маршрутизації пакетів у функціях оброблення пакетів, розташованих в модулі маршрутизації у структурі вузла, розроблених для здійснення імітаційного моделювання різних топологій комп'ютерних мереж.

Імітаційна модель реалізована таким чином: спочатку побудовано структуру вузла, яка, в свою чергу, складається з джерела генерування пакетів певного розміру та з певною частотою (різні вузли генерують пакети різного розміру та з різними часовими інтервалами передавання пакетів по каналах мережі), а також ці джерела є одночасно й кінцевими пунктами призначення пакетів у мережі. При обробленні вхідного пакету він знищується, але дані про нього зберігаються для подальшого опрацювання.

У процесі моделювання здійснено вимірювання часових затримок за доставкою пакетів до вузла призначення, серед яких: проведено вимірювання часу доставки, середньої затримки передавання пакетів в декількох комп'ютерних мережах, зокрема їхньої максимальної та мінімальної затримки. На рисунку 3 зображено порівняння зміни середньої часової затримки передавання пакетів даних з використанням методів розробленої інформаційної технології та без них.

Також одним із результатів імітаційного моделювання є зменшення часу перебування пакету в системі при зменшенні завантаження мережного обладнання за рахунок імплементації методу короткострокового прогнозування інтенсивності трафіку і при цьому час затримки знижується. Тому зменшення кількості заявок на обслуговування у вузлах, скерування їх на обслуговування у менш завантажені вузли комп'ютерної мережі та використання менш завантажених каналів таких мереж є перспективним напрямком розробок для комп'ютерних мереж.

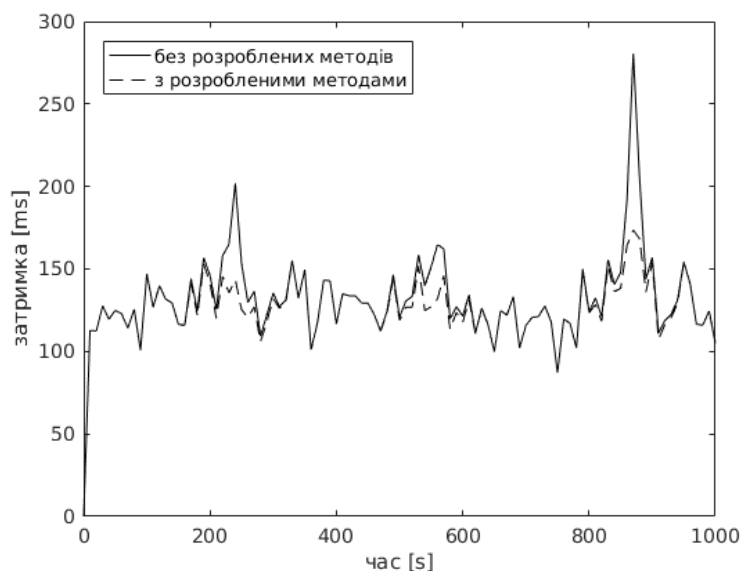


Рисунок 3 – Порівняння середньої часової затримки передавання пакетів даних в комп'ютерній мережі одного експерименту з розробленими методами (пунктирна лінія) та без них (суцільна лінія)

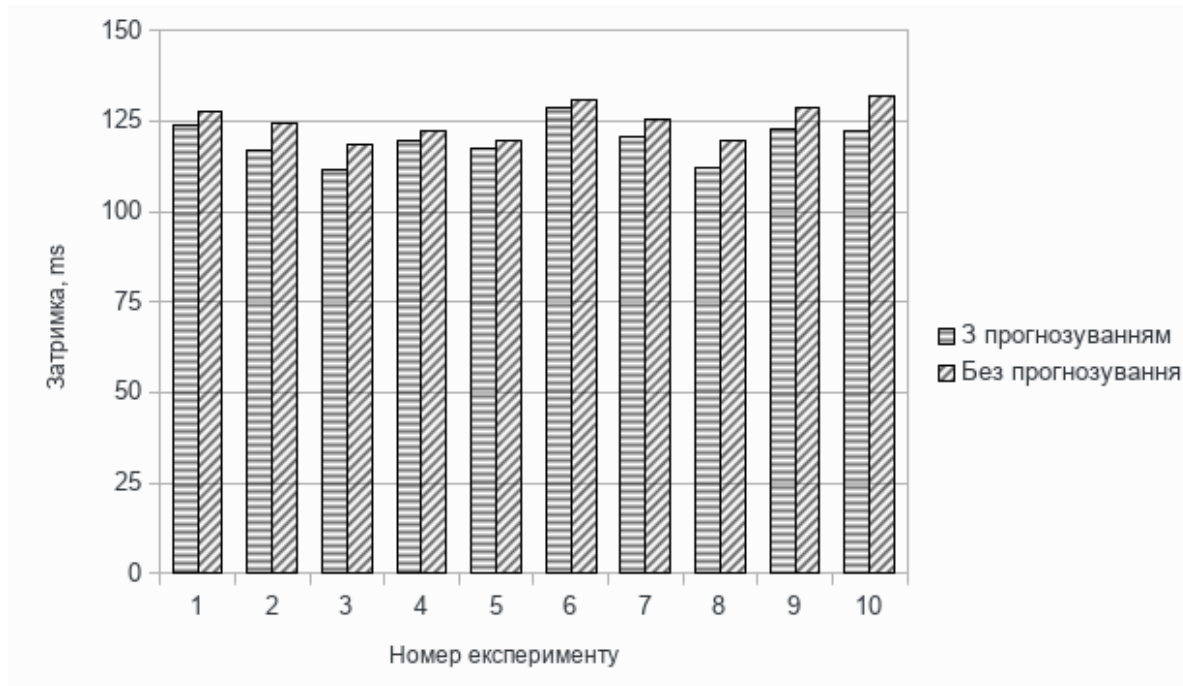


Рисунок 4 – Порівняння середньої часової затримки передавання пакетів для 10 експериментів при застосуванні методу прогнозування (горизонтальне штрихування) та без нього (штрихування під кутом)

На рисунку 4 зображено значення середніх часових затримок передавання пакетів з даними для 10 експериментів при застосуванні методу короткострокового прогнозування інтенсивності трафіку та без нього, що демонструє зниження значень затримок передавання пакетів зі застосуванням методу короткострокового прогнозування. Значення отриманих результатів верифікують адекватність проведених експериментів та обраних вибірок даних і параметрів комп'ютерної мережі.

З результатів моделювання можна зробити висновки, що впровадження методу короткострокового прогнозування інтенсивності мережного трафіку, запрограмованого на використання інформації щодо зібраних та оброблених значень параметрів мережного трафіку на вхідних портах мережного обладнання, створює умови для прогнозування значень таких параметрів та прийняття рішень адаптивного управління навантаженням у мережному обладнанні тощо.

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі на основі здійснених теоретичних та експериментальних досліджень розв'язано актуальне наукове завдання розроблення моделі та методів прогнозування та перерозподілу трафіку з метою зменшення часових затримок передавання даних.

При цьому отримано такі основні результати:

1. Проведено аналіз методів, моделей та засобів моделювання та прогнозування трафіку в комп'ютерних мережах, а також математичних моделей опису трафіку. Визначено можливості вдосконалення та розроблення таких методів, моделей та засобів, а також показано, що ці моделі та методи не надають змоги підвищити точність відображення фізичних властивостей трафіку, зокрема врахування ділянок з пульсуючим характером.

2. Показано, що побудована предметно-орієнтована математична модель трафіку на основі диференціальних рівнянь коливного руху є адекватною згідно з реальними даними трафіку. Це зумовлює використання цієї математичної моделі для підвищення точності результатів моделювання трафіку. Зокрема, проведений аналіз розв'язків рівнянь у вигляді Ateb-функцій та їхньої застосовності для моделювання трафіку комп'ютерної мережі показав, що найбільший вигаш при використанні цієї моделі можна отримати у разі прогнозування з великоамплітудними пульсуючими ділянками трафіку в порівнянні з відомими.

3. Вперше розроблено метод короткострокового прогнозування інтенсивності трафіку. Цей метод не є складним у програмній реалізації, що дає змогу застосовувати його на будь-якому мережному обладнанні у будь яких комп'ютерних мережах. На експериментально отриманих зразках трафіку здійснено короткострокове прогнозування за двома різними методами прогнозування інтенсивності трафіку.

4. Вдосконалено метод маршрутизації трафіку у мережному обладнанні, який ґрунтується на прогнозуванні інтенсивностей пульсацій потоку даних та існуючих маршрутів, забезпечує корекцію маршруту передавання даних та зменшує навантаження буфера мережного обладнання і затримку пульсацій трафіку.

5. Здійснено програмну реалізацію розроблених методу короткострокового прогнозування інтенсивності трафіку та методу маршрутизації трафіку потоку даних у мережному обладнанні, яка дала змогу застосовувати розроблену інформаційну технологію аналізу та прогнозування трафіку в комп'ютерних мережах на будь-якому мережному обладнанні.

6. Розроблено структурно-функціональну модель інформаційної технології аналізу та прогнозування трафіку в комп'ютерних мережах, що враховує всі етапи дослідження та уможливорює короткострокове прогнозування інтенсивності трафіку в комп'ютерних мережах.

7. Здійснено комп'ютерне імітаційне моделювання функціонування розроблених методів. Результати комп'ютерного імітаційного моделювання показали, що із використанням розроблених методів відбувається зменшення затримок передавання пакетів з даними, а саме середньої затримки передавання пакетів з даними на 12-14% та максимальної затримки передавання пакетів з даними на 14-19%.

СПИСОК ОСНОВНИХ ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Medykovskyy M. Modelling the Perturbation of Traffic Based on Ateb-functions / Droniuk I., Nazarkevich M., **Fedevych O.** // *Communications in Computer and Information Science*. – 2013. – Vol. 370, Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2013, pp.38-44. (Scopus, Web of Science).
2. Dronjuk I. Asymptotic method of traffic simulation (Distributed Computer and Communication Networks) / Nazarkevych M., **Fedevych O.** // *Communications in Computer and Information Science*. – 2014. – Springer 2014, Vol. 279, pp.136-144. (Scopus, Web of Science).
3. **Fedevych O.** Monitoring and analysis of measured and modeled traffic of TCP/IP Networks / Droniuk I., Nazarkevych M. // *Communications in Computer and Information Science*, Vol. 608, Springer Int. Publishing Switzerland. – 2016. pp. 32-41. (Scopus, Web of Science).
4. Dronyuk I. Traffic Flows Ateb-Prediction Method with Fluctuation Modeling Using Dirac Functions / **Fedevych O.** // *Communications in Computer and Information Science*, vol 718. Springer International Publishing Switzerland. – 2017. pp. 3-13. (Scopus, Web of Science).
5. Дронюк І.М. Прогнозування трафіку комп'ютерних мереж для підвищення ефективності використання мережевого обладнання / **Федевич О.Ю.** // *Наук. вісн. НЛТУ України*. – 2015. – Вип.25.5. – С.301-307. (Index Copernicus).
6. Дронюк І. М. Аналіз трафіку комп'ютерної мережі на основі експериментальних даних середовища Wireshark / **Федевич О. Ю.** // *Вісник Нац. ун-ту «Львівська політехніка»*. – 2015. – № 814 : Інформаційні системи та мережі. – С. 55-62.
7. Дронюк І.М. Програмний комплекс моніторингу та прогнозування трафіку потоку в сегменті комп'ютерної мережі / **Федевич О.Ю.** // *Наук. вісн. НЛТУ України*.-2015. – Вип.25.10. – С.295-301. (Index Copernicus).
8. **Федевич О.Ю.** Аналізатор протоколів комп'ютерної мережі для оптимізації адаптивного управління трафіком потоку // *Наук. вісн. НЛТУ України*. – 2016. – Вип. 26.03. – С.374-380. (Index Copernicus).

9. **Федевич О.Ю.** Застосування методу Ateb-прогнозування для зменшення інтенсивності завантаження каналів комп'ютерних мереж // *Наук. вісн. НЛТУ України.* – 2016. – Вип. 26.08. – С.375-381. (Index Copernicus).
10. Droniuk I. Investigation of Computer Network Traffic Using Network Protocol Analyzer // **Fedevych O.** // *Матеріали десятої Міжнародної науково-технічної конференції «Перспективні технології і методи проектування MEMC» (MEMSTECH 2014).* — Львів. – 2014. — С. 74.
11. Дронюк І.М. Аналізатор трафіку потоку з вбудованим модифікованим алгоритмом маршрутизації / **Федевич О.Ю.** // *Матеріали XII міжнародної наукової конференції «Інтелектуальні системи прийняття рішень та проблеми обчислювального інтелекту» (ISDMCI 2016) Залізний порт.* — 2016. — С.61- 63.
12. Droniuk I. Ateb-prediction Simulation of Traffic Using OMNeT++ Modeling Tools / **Fedevych O.,** Lipinski P. // *Proceedings of the 10-th International Scientific and Technical Conference «Computer Science and Information Technologies» (CSIT 2016) Lviv.* – 2016. – P. 96 - 98. (Scopus).
13. Droniuk I. Computer network protocol analyzer designed for accuracy of traffic trends forecasting / **Fedevych O.** // *Матеріали XII Міжнародної науково-технічної конференції «Перспективні технології і методи проектування MEMC» (MEMSTECH 2016) Львів-Поляна.* — 2016. — С. 155-157.
14. **Федевич О.Ю.** Програмне забезпечення для аналізу протоколів комп'ютерної мережі для ОС Ubuntu // *Матеріали шостої міжнародної конференції FOSS Lviv.* – 2016. – С.22-23.
15. Пат. 106989 Україна, МПК:Н04L 12/02, Н03Н 21/00 Пристрій для адаптивного управління трафіком потоку в сегменті комп'ютерної мережі / Дронюк І.М., **Федевич О.Ю.**; власник Нац. ун-т «Львів. політехніка». – № 201512669 ; заявл. 21.12.2015; опублік. 10.05.2016, Бюл. № 9. – 2 с.
16. Комп'ютерна програма «Аналізатор мережевих протоколів з прогнозуванням поведінки трафіку потоку»: свід. про реєстр. автор. права на твір № 72331 / Дронюк І.М., Лізанець Д.І., **Федевич О.Ю.**; Національний університет «Львівська політехніка». – Зареєстр. в Упр. держ. Реєстрацій Департаменту інтелектуальної власності Мін. Економічного розвитку і торгівлі України заявка 13.03.2017 № 72608; Реєстр. 21.06.2017.

АНОТАЦІЇ

Федевич О.Ю. Інформаційна технологія аналізу та прогнозування трафіку в комп'ютерних мережах. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.06 – інформаційні технології. – Національний університет «Львівська політехніка» Міністерства освіти і науки України, Львів, 2018.

Дисертаційна робота присвячена розв'язанню важливого наукового завдання – розроблення моделі та методів прогнозування та перерозподілу трафіку з метою зменшення часових затримок передавання даних.

У дисертації розроблено метод короткострокового прогнозування інтенсивності трафіку. Отриманий метод дає можливість передбачити завантаженість мережного обладнання комп'ютерної мережі. Завдяки

удосконаленню методу маршрутизації трафіку, який забезпечує корекцію маршруту передавання даних, покращено вибір альтернативних шляхів передавання даних в залежності від прогнозованих раніше можливих перевантажень.

Для зменшення втрат пакетів даних, набув подальшого розвитку метод перерозподілу значень трафіку, який забезпечує мінімізацію джиттера трафіку. Використання розробленого інструментарію дало змогу отримати адекватний прогноз завантаженості мережного обладнання комп'ютерних мереж.

Ключові слова: *інформаційна технологія, трафік, комп'ютерна мережа, Атеб-функція, диференціальні рівняння коливних систем.*

Федевич О.Ю. Информационная технология анализа и прогнозирования трафика в компьютерных сетях. – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.06 – информационные технологии. – Национальный университет «Львівська політехніка» Министерства образования и науки Украины, Львов, 2018.

Диссертация посвящена решению важного научного задания – разработке модели и методов прогнозирования и перераспределения трафика с целью уменьшения временных задержек передачи данных.

В диссертации разработан метод прогнозирования интенсивности трафика. Полученный метод дает возможность предсказать перегруженность узлового оборудования компьютерной сети. Благодаря усовершенствованию метода маршрутизации трафика данных, который обеспечивает коррекцию маршрута передачи данных, усовершенствовано выбор альтернативных путей передачи данных в зависимости от прогнозируемых ранее возможных перегрузок.

Для уменьшения потерь пакетов данных, получил дальнейшее развитие метод перераспределения значений трафика, который обеспечивает минимизацию джиттера трафика компьютерной сети. Использование разработанного инструментария дает возможность получить адекватный прогноз загруженности узлового оборудования компьютерных сетей.

Ключевые слова: *информационная технология, трафик, компьютерная сеть, Атеб-функция, дифференциальные уравнения колебательных систем.*

O.Yu.Fedevych. Information technology for analysis and prediction of traffic flows in computer networks. – Manuscript copyright.

Thesis for the Scholarly Degree of Doctor of Philosophy, in specialty 05.13.06 – Information Technologies. Lviv Polytechnic National University, Ministry of Education and Science of Ukraine, Lviv, 2018.

This thesis aims to solve an important scientific problem — how to develop the model and the methods to forecast and redistribute traffic in order to reduce the time delays of data transmission.

The first section of the thesis reviews the relevant literature and the information sources within the current state and the predicted development of computer networks and the growth of the data volume they transfer. The methods and the available tools and

information technologies used to forecast and simulate traffic flows in computer networks were researched. The main advantages and disadvantages were identified.

The second section deals with the problems related to the simulation of periodic processes in nonlinear systems, as well as the problems of construction and operation of such systems. Nonlinear differential equations of vibrating systems with one degree of freedom were studied. On the basis of findings, it was proposed to develop a model of the nonlinear vibrating system with one degree of freedom, where movement is described using a system of ordinary differential equations of the first order.

The third section covers the implementation of the method of short-term traffic intensity forecasting and the improvement of the method of packets routing in the network equipment. The obtained short-term forecasting method gives an opportunity to predict the network equipment load with high probability. Since the method of traffic routing in the network equipment was improved and now provides for the correction of the data transmission route and reduces the load of the network equipment buffer, the procedure of automatic calculation and selection of alternative ways of data transmission in the computer network was enhanced, now considering the potential overloads forecasted earlier.

To reduce the intensity of network equipment load in computer networks, as well as to reduce the loss of data packets, a method of traffic values redistribution was enhanced, based on the advanced information technology. It minimizes traffic jitter of the computer network by predicting the intensity of data flow fluctuations.

A computer network traffic analyzer was developed as a key information technology tool. Its main purpose is to collect traffic patterns and subsequently predict the traffic values using the mathematical mechanism of Ateb-functions.

The fourth section describes the testing of the developed techniques and confirms the effectiveness of the developed information technology using computer simulation and demonstrating the potential options for its usage.

The use of the developed toolkit made it possible to obtain a proper forecast of the network equipment load in computer networks.

Keywords: *information technology, traffic, computer network, Ateb-function, differential equations of oscillation systems.*

Підписано до друку 29.05.2018 р. Формат 60×84/16.
Гарнітура Times New Roman. Папір офсетний.
Умовн. друк. арк. 0,9. Тираж 100 прим.
ЛНМУ ім. Данила Галицького
вул. Пекарська, 69 м. Львів 79010