

ВІДГУК офіційного опонента

на дисертаційну роботу Левенберга Євгена Вадимовича на тему «Оцінка характеристик якості обслуговування самоподібного трафіка телекомунікаційних мереж», яка подана до захисту на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.12.02 – телекомунікаційні системи та мережі

1. Актуальність теми дисертації

В умовах стрімкого зростання обсягів мережного трафіку, зміни його структури та обслуговування великої кількості абонентів обґрунтовано стає проблема підтримки необхідної якості обслуговування в телекомунікаційних мережах з пакетними технологіями передавання та комутації інформації. Основні характеристики якості обслуговування (*QoS*), як наприклад, середній час затримки пакетів, можуть суттєво погіршуватися із-за перенавантаження мережі зв'язку. У мультисервісних мережах з пакетними технологіями передавання й комутації інформації пакетному трафіку притаманні «пачкування» пакетів та значно більший рівень нерівномірності інтенсивності надходження пакетів, ніж це передбачено класичною моделлю пуассонівського потоку. Пакетний трафік – це фрактальний процес з самоподібними властивостями та певним значенням показника Херста. Але для такої моделі трафіка ще не існує належних методів розрахунку і часто на практиці оцінка характеристик якості обслуговування мультисервісних мереж зв'язку виконується наближеними методами та засобами імітаційного моделювання. Підвищити точність розрахунку характеристик *QoS* пакетного трафіка можна шляхом отримання уточненої формули розрахунку коефіцієнта самоподібності в залежності від параметрів обраної математичної моделі самоподібного трафіка

Забезпечення необхідної якості обслуговування – основна тенденція розвитку сучасних мультисервісних телекомунікаційних мереж, побудованих на базі пакетних технологій передавання й комутації інформації. Однією з особливостей таких мереж є те, що в мережі трафік є достатньо мінливий та нерівномірний. Крім того, оптимальний шлях передавання інформації теж змінюється у часі, у тому числі – внаслідок перевантажень та, наприклад, міграції абонентських терміналів мережі мобільного зв'язку. Це призводить до збільшення часу пошуку каналів, по яких буде здійснюватися передавання, і, як наслідок – до збільшення середніх затримок доставлення пакетів даних. Традиційні методи управління чергами та механізми обробки трафіку в таких динамічних середовищах стають неефективними.

У зв'язку з цим, тематика дисертаційної роботи Левенберга Євгена Вадимовича, яка присвячена розвитку основ теорії телетрафіка і підвищенню точності розрахунку характеристик якості обслуговування самоподібного трафіка мультисервісної мережі зв'язку, є досить актуальною.

ОНАЗ ім. О. С. Попова
01. 01-32-478
22. 11 2019 р

2. Загальна характеристика роботи

Дисертаційна робота Левенберга Євгена Вадимовича стосується наукового завдання оцінки ступеня самоподібності пакетного трафіка і на її основі удосконалення методу розрахунку характеристик якості обслуговування трафіка, який утворюється в умовах різкого зростання різноманітних потоків у сучасних мультисервісних мережах для задоволення потреб користувачів у інформаційно-комунікаційних застосуваннях реального часу.

Робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел та одного додатку. Загальний обсяг роботи складає 141 сторінку друкарського тексту, із них: 6 сторінок вступу, 130 сторінок основного тексту, 22 рисунки, 10 таблиць, список використаних джерел зі 116 найменувань, додаток на 3 сторінках.

У вступі подано загальну характеристику дисертаційної роботи, обґрунтовано всі процедурні положення та представлено зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.

У першому розділі – «Аналіз моделі трафіка телекомунікаційних мереж з пакетними технологіями комутації й передавання інформації» – проведено аналіз основних публікацій за темою дисертації; розглянуто особливості формування потоків трафіка та його параметри; досліджено математичну модель пачкового трафіка та його властивість самоподібності. Тут надано способи опису випадкового процесу формування потоків трафіка та його основні математичні моделі. Розглянуто якість надання послуг телекомунікаційних мереж QoE та її зв'язок з характеристиками QoS .

У результаті аналізу параметрів трафіка мультисервісних мереж зв'язку з пакетними технологіями комутації й передавання інформації встановлено, що модель трафіка (потоки пакетів) суттєво відрізняється від відомої моделі пуассонівського потоку. Пакетний трафік не є простою сумою множини незалежних стаціонарних і ординарних потоків, що властиво пуассонівським потокам. Об'єднаному потоку пакетів властиве так зване «пачкування» пакетів трафіка (*burstiness*) з випадковою періодичністю та тривалістю піків навантаження. Пакетний трафік – це фрактальний процес з самоподібними властивостями та певними значеннями показника Херста.

Дослідженнями підтверджено, результати статистичної обробки даних вимірів краще узгоджуються не з функцією експонентного розподілу, а з функціями, що мають так званій «важкий хвіст», більш вагомий, ніж за експонентного розподілу. Це є розподіли Парето та Вейбулла.

У другому розділі «Оцінка показника самоподібності та підвищення точності його визначення за різних моделей пакетного трафіка» досліджено залежність показника Херста від параметру форми розподілу Парето та Вейбулла; удосконалено метод розрахунку ступеня самоподібності трафіка пакетних мереж зв'язку; удосконалено метод розрахунку характеристик QoS самоподібного трафіка в одноканальній системі з нескінченною чергою.

В основі досліджень другого розділу є визначення коефіцієнта самоподібності пакетного трафіка із залежності показника Херста від параметра форми імовірнісного розподілу інтервалу часу між пакетами потоку, яким представлено математичну модель трафіка. Це дає змогу визначати коефіцієнт Херста набагато простіше, ніж методом R/S -аналізу. Однак у роботі встановлено, що визначення показника Херста, на якому й основана формула Норроса, за методом його лінійної залежності від параметрів розподілу не відповідає реальному коефіцієнту самоподібності трафіка. Тому за результатами імітаційного моделювання запропоновано апроксимацію нелінійної залежності показника Херста від параметру a форми розподілу Парето або Вейбулла, яким представлено математичну модель трафіка, а це суттєво знижує похибку розрахунку показника Херста.

В цьому розділі також удосконалено метод розрахунку характеристик QoS самоподібного трафіка в одноканальній системі з нескінченною чергою шляхом використання для цього показника Херста, який визначається з нової, вперше запропонованої апроксимації залежності показника Херста від параметра форми розподілу Парето або Вейбулла, що зменшило похибку розрахунку характеристик QoS на порядок.

У третьому розділі «Розрахунок імовірності затримки обслуговування та середнього часу затримки пакетів у накопичувальному буфері одноканальної системи з нескінченною чергою» – досліджено ймовірнісні функції розподілу станів одноканальної системи з нескінченною чергою для самоподібного трафіка; запропоновано апроксимацію імовірнісної функції розподілу станів системи; удосконалено метод розрахунку імовірності затримки обслуговування та середнього часу затримки пакетів у накопичувальному буфері одноканальної системи з нескінченною чергою.

Розрахунок характеристик QoS в одноканальній системі з нескінченною чергою для самоподібного трафіка передбачає знаходження показника Херста, після чого за формулою Норроса розраховується середня кількість пакетів у системі N та інші характеристики. Проте цей метод не дозволяє за встановленим значенням показника Херста H розрахувати ще й імовірність очікування обслуговування пакета та середній час затримки пакетів в накопичувальному буфері. Тому у роботі запропоновано апроксимацію функції розподілу станів системи, у якій кожне значення не залежить від моменту надходження пакета у систему. З цієї функції аналітично отримано формулу розрахунку імовірності очікування обслуговування пакета в одноканальній системі з чергою, що дозволило розрахувати й середній час затримки пакетів у накопичувальному буфері.

Імітаційне моделювання підтвердило коректність метода розрахунку характеристик якості обслуговування в одноканальній системі із самоподібним трафіком. При цьому розходження результатів моделювання і розрахунку не перевищує 5 % при зміні завантаження системи в діапазоні $0,4 < \rho < 1$ і зміні значень показника Херста в діапазоні $0,5 < H < 0,9$. Така точність розрахунку характеристик QoS забезпечується за постійної та експонентної тривалості обслуговування пакетів.

У четвертому розділі – «Імітаційне моделювання самоподібного трафіка та його обслуговування у одноканальній системі з чергою» – імітаційним моделюванням перевірено теоретично отримані результати і порівняно їх з існуючими методами розрахунку показника Херста та характеристик якості обслуговування самоподібного трафіка мультисервісної мережі зв'язку.

Моделюванням встановлено, що інтенсивність трафіка не впливає на властивості самоподібності трафіка.

Проведеним імітаційним моделюванням обслуговування в одноканальній системі трафіку з розподілом Парето та Вейбулла встановлено, що імовірність очікування обслуговування, яка отримана за новою формулою та шляхом імітаційного моделювання, майже однакова з відносною похибкою розрахунку не більше 5 % протягом усього діапазону зміни $\rho = 0,4 \dots 0,9$. Чим більше значення показника Херста та завантаженості, тим вища точність розрахунку.

3. Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків, рекомендацій, наданих в дисертації, їхня достовірність

Обґрунтованість і достовірність наукових положень, висновків та рекомендацій, сформульованих у дисертаційній роботі Левенберга Євгена Вадимовича підтверджуються коректним використанням теоретичних та експериментальних методів досліджень, зокрема методів математичного моделювання, а також актами впровадження результатів дисертаційних досліджень.

4. Наукова новизна результатів дисертаційної роботи

У ході розв'язання поставленої наукової задачі здобувачем отримані наступні основні наукові результати:

1. Удосконалено метод розрахунку ступеня самоподібності пакетного трафіка шляхом розрахунку показника Херста з його математичної моделі, яка представлена ймовірнісним розподілом інтервалу часу між пакетами потоку за законами Парето або Вейбулла. Удосконалення полягає у використанні для цього нелінійного закону залежності показника Херста від параметра a форми ймовірнісного розподілу, а вперше запропонованих більш точних апроксимацій цієї залежності при зміні параметра розподілу в межах: $a = 1 \dots 2$ для випадку розподілу Парето та $a = 0 \dots 1$ для розподілу Вейбулла. Такий підхід знижує похибку розрахунку показника Херста H з максимальних значень 45 % до 3 %.

2. Удосконалено метод розрахунку характеристик якості обслуговування самоподібного трафіка в одноканальній системі з нескінченною чергою шляхом використання для цього значень показника Херста, який визначається з відповідної апроксимації залежності показника Херста від параметра форми розподілу Парето або Вейбулла. Такий підхід суттєво зменшує похибку розрахунку характеристик якості обслуговування і,

наприклад, при високих значеннях завантаженості системи $\rho > 0,8$ або великих значеннях показника Херста $H > 0,75$ (тим паче одночасно) ця точність покращується на порядок у порівнянні з використанням відомих методів.

3. Вперше запропоновано апроксимацію імовірнісної функції розподілу станів одноканальної системи з нескінченною чергою для самоподібного трафіка, для випадку, коли ця функція не залежить від моментів надходження до системи пакетів самоподібного трафіка. При цьому апроксимація подібна до експонентної функції з параметром розподілу ρ / N .

4. Удосконалено метод розрахунку імовірності затримки обслуговування P_w та середнього часу затримки пакетів у накопичувальному буфері t_q одноканальної системи з нескінченною чергою шляхом використання для цього нової апроксимуючої функції розподілу станів системи, яка не залежить від моментів надходження до системи пакетів самоподібного трафіка.

Повнота викладу наукових положень, висновків, рекомендацій в опублікованих працях

За результатами досліджень, які викладено у дисертаційній роботі, опубліковано 19 наукових праць, серед них 1 стаття у закордонному фаховому виданні, 9 статей у фахових виданнях України за переліком МОН, та 9 публікацій у збірниках праць міжнародних і всеукраїнських конференцій та семінарів.

5. Відповідність дисертації встановленим вимогам

Автореферат дисертації ідентично та повністю розкриває зміст дисертаційної роботи, яка, в цілому, відповідає усім вимогам до кандидатських дисертаційних робіт, має завершеність, виконана та оформлена на достатньо високому рівні. Стиль викладення матеріалів досліджень, наукових положень, висновків і рекомендацій забезпечує якісне сприйняття.

6. Важливість для науки і народного господарства одержаних результатів та шляхи їх використання

У дисертаційній роботі:

1. Виконано дослідження та розв'язано науково-технічну задачу підвищення точності розрахунку характеристик якості обслуговування самоподібного трафіка мультисервісної мережі зв'язку.

2. Удосконалено методи оцінки ступеня самоподібності пакетного трафіка та характеристик якості його обслуговування, які забезпечують достовірний аналіз і синтез сучасних телекомунікаційних систем з пакетними технологіями передавання й комутації інформації.

3. Удосконалено метод розрахунку імовірності затримки

обслуговування та середнього часу затримки пакетів у накопичувальному буфері одноканальної системи з нескінченною чергою шляхом використання для цього нової апроксимуючої функції розподілу станів системи при надходженні до неї пакетів самоподібного трафіка.

4. Практичне значення одержаних результатів полягає в тому, що запропоновані в роботі методи сприяють пошуку оптимальних шляхів модернізації існуючих мереж зв'язку і підвищення якості надання телекомунікаційних послуг; забезпечують прийняття обґрунтованих і взаємопов'язаних рішень при розробці високоефективної і надійної телекомунікаційної техніки нового покоління.

Надані у додатку акти використання результатів дисертаційної роботи у виробництві та навчальному процесі підтверджують їх достовірність.

7. Зауваження до дисертаційної роботи

1. У роботі не показано, як змінюються характеристики якості обслуговування у випадку застосування пріоритетного обслуговування. У підрозділі 3.2 «Метод розрахунку характеристик вузла доступу мережі NGN при обслуговуванні трафіка передавання мови та даних» розглянуто двох-пріоритетну систему, але тільки для випадку обслуговування пуассонівської моделі трафіка, а не для самоподібного трафіка пакетних мереж зв'язку.

2. У роботі не наведено порівняльного аналізу точності розрахунку запропонованих методів оцінки характеристик якості обслуговування самоподібного трафіка у системі типу $fBM/D/1/\infty$ з відомими оціночними формулами характеристик якості обслуговування за узагальненої моделі, яка може включати в себе й модель самоподібного трафіка (більш широкої моделі трафіка), тобто для системи типу $GI/M/1/\infty$ з будь-яким рекурентним потоком пакетів.

3. У підрозділах 4.1 та 4.2 детально описано як саме необхідно виконувати імітаційне моделювання, однак не наведено ні алгоритму моделювання, ні надано опису самої програми імітаційного моделювання процесу генерування та обслуговування самоподібного трафіка в системі розподілу інформації.

4. При оформленні тексту дисертації до нього включено багато описового матеріалу, наприклад, аналіз публікацій за темою дисертації, способи опису випадкових процесів формування потоків трафіка, методи оцінки ступеня самоподібності трафіка, методи оцінки характеристик якості обслуговування самоподібного трафіка, моделі обслуговування трафіка у телекомунікаційних мережах з комутацією пакетів. Цей матеріал хоча й пояснює логіку дисертаційного дослідження та дозволяє порівнювати відомі результати із запропонованими, однак він міг би бути дещо скорочений.

Зазначені недоліки не знижують загальної позитивної оцінки дисертаційної роботи.

8. Загальні висновки

1. На підставі розгляду змісту дисертації, автореферату, праць здобувача, актів впровадження, аналізу ступеня новизни наукових положень та практичної значимості отриманих у роботі результатів, висновків та рекомендацій можна зробити висновок, що дисертаційна робота Левенберга Євгена Вадимовича «Оцінка характеристик якості обслуговування самоподібного трафіка телекомунікаційних мереж» є завершеною науковою працею, в якій отримані нові наукові результати, що, в сукупності забезпечили розв'язання актуального наукового завдання в галузі телекомунікаційних систем.

2. Дисертаційна робота та її автореферат за змістом та оформленням відповідають установленим вимогам. Результати дисертації достатньо повно опубліковані у фахових наукових виданнях та апробовані на конференціях і семінарах.

3. Дисертаційні дослідження відповідають паспорту спеціальності 05.12.02 – телекомунікаційні системи та мережі.

4. Вважаю, що представлена дисертація відповідає вимогам «Порядку присудження наукових ступенів», затвердженим Постановою Кабінету Міністрів України, а її автор Левенберг Євген Вадимович заслуговує присудження наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.12.02 – телекомунікаційні системи та мережі.

Офіційний опонент

доктор технічних наук, професор,
завідувач кафедри телекомунікацій

Національного університету «Львівська політехніка»,

 Климаш М.М.

Підпис професора Климаша М.М. засвідчую

Вчений секретар

Національного університету «Львівська політехніка»

 Брилинський Р.Б.

