

ВІДГУК

офіційного опонента доктора технічних наук професора Корнієнка Богдана Ярославовича на дисертацію Савченко Аліни Станіславівни «Методи розподіленого управління корпоративними комп'ютерними мережами», представлену на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.13.06 – Інформаційні технології

Актуальність теми визначається різким зростанням ролі інформації та переходом до побудови глобальної інформаційної інфраструктури. Корпоративні комп'ютерні мережі (ККМ) залишаються найпродуктивнішим засобом передачі головного ресурсу сьогодення – інформації. Основне завдання ККМ полягає в тому, щоб надавати користувачу якісний доступ до необхідних інформаційних ресурсів та сервісів. Виконання зазначених вимог можливо тільки завдяки впровадженню управління наявними мережними ресурсами, оскільки темпи нарощування фізичних ресурсів обмежені.

Спроби управління всією мережею не ефективні через проблеми розмірності. Проблема оптимального поділу мережі на автономні керовані сегменти не вирішена. Відсутня єдина теорія управління мережами як складними розподіленими системами з затримкою користувальницької, службової та сигнальної інформації.

На основі фундаментальних досліджень проблеми управління мережами, проведення широкомасштабних експериментів можна вирішити проблему оптимального управління мережними ресурсами в реальному часі. Зменшення числа повторних передач внаслідок втрат пакетів навіть на одиниці відсотків у масштабах глобальної інформаційної системи приведе до значної економії витрат на забезпечення функціонування. Отже, розробка методів розподіленого управління ККМ є актуальною.

Коротко розглянемо основний зміст дисертації.

У вступі розкрито сутність і стан наукової проблеми та обґрунтовано її значимість, сформульовано мету і наукову новизну роботи, визначено практичну цінність і сферу застосування отриманих результатів, подано загальну характеристику роботи. Наведено відомості про апробацію, публікації та впровадження результатів дослідження.

Перший розділ носить оглядовий характер. Проведено огляд і аналіз сучасного стану проблеми управління корпоративними комп'ютерними мережами в умовах нестаціонарних потоків вимог, існуючих підходів, методів, технічних та програмних засобів для розв'язання поставлених в роботі задач. Розглянуто можливі підходи до створення інформаційних технологій в галузі управління комп'ютерними мережами та визначено концептуальну схему досліджень. Обґрунтовано доцільність розробки методів і створення інформаційної технології для розподіленого управління наявними мережними ресурсами з метою оптимізації управління корпоративними комп'ютерними мережами, визначено основні задачі та намічені шляхи їх вирішення.

У другому розділі дисертації обґрунтовано, що для ефективного управління ККМ як стохастичною системою важливо враховувати закони розподілу усіх випадкових параметрів, які входять у рівняння стану і спостереження, зокрема, параметри трафіку в мережі. Розглянуто особливості сучасного різноманітного трафіку у ККМ. Показано, що рівень існуючих систем управління ККМ не відповідає повною мірою сучасним вимогам, оскільки, серед іншого, не враховуються статистичні особливості сучасного трафіку, наприклад, фрактальність, а також зміна характеристик потоку в результаті проходження через комутаційні вузли.

Аналіз особливостей функціонування корпоративних комп'ютерних мереж, дозволив виділити чотири основні групи потоків заявок: потік від незалежного джерела, сумарні, проріджені і марковані потоки вимог. У розділі запропоновано математичні моделі для кожного з видів потоків вимог. Зокрема, потік вимог від незалежного джерела описується моделями з самоподібними властивостями. Адекватною моделлю сумарного потоку вимог є пуасонівська, оскільки за рахунок підсумовування великого числа складових спостерігається згладжування неоднорідності на тлі підвищення середнього значення. Модель прорідженого потоку близька до пуасонівської з відповідним ступенем прорідження початкового потоку. Марковані потоки вимог слід описувати пуасонівськими моделями з провідною функцією, яка відповідає потоку з найвищою інтенсивністю.

В третьому розділі дисертації представлено результати експериментального дослідження трафіку ККМ. Розглянуто потоки заявок від незалежного джерела, сумарні потоки, проріджені та сумарні марковані потоки заявок. Визначено, що самоподібні властивості потоків заявок від незалежного джерела можна описати розподілами з «важкими хвостами». Статистичні характеристики сумарних потоків заявок, які утворюються шляхом агрегації трафіку у пограничних маршрутизаторах, близькі до пуасонівських при великій кількості потоків. Експериментальним шляхом визначено швидкість збіжності сумарного потоку заявок до пуасонівського залежно від кількості потоків заявок.

На основі теоретичних та експериментальних досліджень удосконалено метод аналізу статистичних характеристик та моделі потоків вимог різноманітного мережного трафіку з маркуванням (пріоритизацією) потоків, сумарних та проріджених потоків сучасних ККМ. Етапи методу наступні.

На першому етапі відбувається збір та зберігання статистичних даних щодо трафіку у різних точках мережі. На етапі аналізу визначаються групи потоку вимог та ідентифікуються моделі розподілу та його характеристики з використанням параметричних та непараметричних оцінок. На етапі моделювання будується модель потоку вимог із визначеними характеристиками, на основі яких на етапі прогнозування відбувається розрахунок показників продуктивності мережі з використанням диференціальної ентропії відповідних розподілів. Інформаційно-ентропійний

підхід до оцінки показників продуктивності передбачає, що для встановленого закону розподілу станів системи визначається ентропія розподілів різних потоків. Завдяки зміні коефіцієнтів варіації досягається збіг значень ентропії. За допомогою знайденого коефіцієнта варіації C визначається середня кількість пакетів в системі N , та інші характеристики продуктивності.

В четвертому розділі досліджені проблеми синтезу та оптимізації управління у ККМ. Інформаційна технологія управління ККМ як складним багатовимірним об'єктом має включати методи оптимізації, засновані на мінімізації функціоналів якості управління. Вид цільового функціонала безпосередньо впливає на ефективність методу управління.

Обґрунтовано, що застосування функціоналу узагальненої роботи, для знаходження оптимального, в сенсі мінімуму управляючої інформації, ККМ як складним нелінійним об'єктом, дозволяє знизити обчислювальну складність алгоритму, порівняно із застосуванням класичних функціоналів. Оптимум може бути досягнутий в реальному часі на існуючих обчислювальних пристроях, вбудованих в мережні вузли, що підтверджено приведеними розрахунками.

Запропоновано вид функціоналу узагальненої роботи, який, відповідно до методу О.А. Красовського, мінімізується для досягнення оптимального управління в кожний поточний момент часу.

У дисертаційній роботі показано, що втрати на управління є витратами додаткового інформаційного ресурсу (команди, що управляють), тобто втрати не енергетичні, а інформаційні. Тому запропоновано використовувати інформаційно-ентропійну функцію втрат з умовною щільністю ймовірності Гауса. Із застосуванням інформаційної функції втрат отримано модифікований вираз для оптимального управління. При реалізації модифікованого методу оптимального управління для складного завдання управління ККМ прогноз визначається чисельними методами в прискореному часі (за допомогою імітаційної прогнозуючої моделі). Пошук оптимальних управлінь також здійснюється чисельними методами. Для визначення компонентів градієнта (часткових похідних), що входять у вираз для розрахунків оптимального управління, використовується метод синхронного диференціювання, який є найпростішим в сенсі обчислювальної складності при чисельному диференціюванні функціонала за багатьма змінними.

Розраховано залежності обчислювальної складності запропонованого алгоритму та доведено зростання його переваги відносно класичних методів при збільшенні кількості інтерпольованих функцій.

Таким чином, розроблений метод оптимального управління комп'ютерною мережею, який завдяки застосуванню модифікованого критерію узагальненої роботи О. А. Красовського з використанням

інформаційної функції втрат дає можливість знаходити оптимальні управління для складеної мережі в реальному часі.

П'ятий розділ присвячено аналізу стійкості автономного сегмента (АС) мережі та розробці методу управління сталістю системи, який дозволяє забезпечувати стійкий стан сегмента при випадкових затримках сигнальної та управляючої інформації.

Урахування затримок сигнальної та управляючої інформації у ККМ запропоновано проводити на основі різницевих рівнянь з аргументом, що відхиляється. Відповідно до теорії систем процеси обміну інформацією між керованими об'єктами (сегментом ККМ) і системою управління описуються диференційно-різницеvими рівняннями або рівняннями з аргументом, що відхиляється.

Для оцінки асимптотичної стійкості об'єкту управління були досліджені перехідні характеристики за різних значень затримки сигнальної та управляючої інформації, а також коефіцієнта зворотного зв'язку. Асимптотична стійкість систем, визначається розташуванням полюсів системної функції усередині одиничного кола z -площини. Розраховані значення коефіцієнта зворотного зв'язку при різних значеннях запізнювання інформаційного сигналу, при якому система залишається на межі стійкості, тобто один з полюсів системної функції лежить на одиничному колі. За розрахунками побудований графік області стійкості системи. Доведено, що стійкість об'єкту управління при збільшенні затримки інформаційного сигналу зберігається тільки при зниженні коефіцієнта зворотного зв'язку.

Одним з методів забезпечення глобальної стійкості системи управління є поточний контроль і примусове приведення системи в області стійкості шляхом цілеспрямованої зміни її коефіцієнтів зворотного зв'язку. При цьому в процесі регулювання необхідно забезпечувати збереження динамічних характеристик системи.

У дисертаційні роботі розроблено метод управління сталістю системи з випадковими затримками сигнальної та управляючої інформації заснований на примусовому поверненні в області стійкості. Однак при стрибкоподібній зміні коефіцієнтів цифрової системи в моменти стрибків виникають розриви сигналу помилки, що приводить до пульсацій Гіббса і, як наслідок, до перерегулювання в системі управління. Для зменшення ефекту Гіббса запропоновано змінювати коефіцієнти і, відповідно, переводити систему в стійкий стан, плавно на кінцевому інтервалі. Дослідження функцій різного виду дозволило визначити функцію експоненціального сімейства управління монотонно-повільним поверненням полюсів в область одиничного кола z -площини.

Великий інтерес представляють собою комутаційні вузли мережі як керовані об'єкти для системи управління. **Шостий розділ** присвячено розробці математичної моделі маршрутизатора як керованого об'єкта. Вузол комутації (ВК) як об'єкт управління – це система зі зворотним зв'язком, яка повинна видавати певну реакцію на варіації його стану (перевантаження,

затримка прийому, зменшення пропускної здатності, спустошення буфера, неналежне функціонування, повна або часткова відмова). Для забезпечення коректного управління надійністю та ефективністю мережі час відгуку має бути налаштований оптимально. При короткому періоді реакції система управління буде отримувати послідовність суперечливих інформаційних сигналів, в результаті буде перебувати в стані незатухаючих коливань і не прийде в стабільний стан. З іншого боку, якщо період реакції буде занадто довгим, механізм управління стане взагалі марним.

У роботі виведено передавальні функції системи управління та запропоновано підхід до вибору часу реакції комутаційного вузла за результатами асимптотичного оцінювання затримок сигнальної інформації.

В якості асимптотичної оцінки часу реакції в умовах наявності деякого «великого параметра», роль якого в даному випадку відіграє велике відношення сигнал/завада або тривалий інтервал спостереження за умови локальної стаціонарності процесу, можна вибирати середній час затримки сигнальної інформації. Обґрунтовано, що час реакції маршрутизатора на зміну стану мережі повинен бути одного порядку з середньою затримкою сигнальної інформації. При значній різниці затримки реакції мережного вузла і повній затримці обробки і доставки даних має місце мінімальний запас стійкості системи управління за критерієм перевантаження буфера. При сплесках мережної активності, обумовлених, наприклад, пачковим самоподібним трафіком, зростає ризик перевантаження буфера, відкидання пакетів керуючого сигналу, і, як наслідок, переходу системи управління мережею в режим незатухаючих коливань. У той же час при узгодженні згаданих затримок забезпечується достатній ресурс стійкості управління за критерієм перевантаження буфера для тих же статистичних характеристик сплеску мережної активності.

Проведено цифрове моделювання системи управління параметрами комутаційного вузла. Для різних параметрів мережного трафіку (зокрема, трафіку *Triple / Quadruple Play* з самоподібними властивостями) і з різними випадковими похибками і спотвореннями. Для забезпечення глобальної стабільності системи управління були спеціально підібрані коефіцієнти зворотного зв'язку. Головний результат моделювання – це залежність варіацій довжини черги від часу реакції мережного вузла в порівнянні з часом затримки обробки і доставки даних. Встановлено, що при наближенні часу реакції комутаційного вузла до затримки управляючої інформації спостерігається достатній ресурс стійкості управління за критерієм перевантаження буфера.

Для забезпечення ефективного процесу передачі вироблених оптимальних управлінь і налаштувань для мережного обладнання в дисертаційній роботі визначено розподілену ієрархічну структуру управління ККМ із застосуванням для передачі управляючих команд стандартних протоколів управління. Процедура оптимізації ієрархічної структури

складається з кількох етапів. На першому етапі – попереднього планування – визначаються найбільш загальні властивості мережі, зокрема, число і специфіка сервісів, параметри конфігурації мережі тощо. На другому етапі робиться огляд зони можливого розміщення комутаторів, прив'язка до реальної мережі, вибір методики розрахунку втрат при передачі, розрахунок мережного ресурсу. На підставі цих даних і обраної моделі передачі плануються параметри комутаторів. Грунтуючись на географії мережі і ресурсі каналу, можна оцінити різні можливості створення мережного сегмента при використанні алгоритму оптимізації. Цільова функція являє собою комбінацію досяжної площі функціонування при QoS не менше заданого, оптимальної пропускної здатності при обмеженнях на витрати. На третьому етапі проводиться налаштування та узгодження параметрів і структури мережі за результатами тестування кожного комутатора. За результатами експериментальних досліджень проводиться (при необхідності) корекція попередніх етапів плану.

Для скорочення часу затримки службової інформації, управління в автономному сегменті ККМ, визначеної оптимальної розподіленої ієрархічної структури, запропоновано реалізовувати на каналному рівні. Управління на каналному рівні може бути реалізоване за допомогою абстрактного модуля, який виконує команди системи управління шляхом зазначення ідентифікатора об'єкта (OID) в MIB -базі та відповідних дій, які необхідно виконати (наприклад, змінити ширину смуги пропускання, збільшити обсяг буферної пам'яті для порту, вимкнути порт, накласти обмеження для певних IP -адрес шляхом класифікації трафіка тощо). Розрахунки доводять, що удосконалений метод передачі сигнальної та управляючої інформації на каналному рівні дозволяє скоротити час затримки службової інформації до 25%.

В сьомому розділі розроблено метод оцінки ефективності управління. Ефективність підсистеми управління мережею слід оцінювати за її впливом на ефективність відповідної системи – складеної мережі. В якості математичних моделей, якими описуються процес зміни станів мережі, застосовані моделі марковського ланцюга або дискретного марковського випадкового процесу. Мережа може знаходитись в одному з M станів. Переходи зі стану в стан відбуваються в випадковій або детермінованій моменти часу. Випадкові зміни в стані ККМ можуть бути викликані зовнішніми і внутрішніми факторами, зокрема, перевантаженнями мережі, повними або частковими (тимчасовими, плаваючими) збоями мережних вузлів і елементів. Це означає, що стани системи можуть бути різними, а кількість можливих станів того чи іншого вузла (елемента) може бути більше двох. В мережі розглядається математична модель з чотирма станами: працездатний; перевантаження; тимчасова (плаваюча) відмова; повна відмова. Оцінка продуктивності всієї мережі, проводиться на основі системи диференціальних рівнянь Колмогорова. Застосувавши до системи рівнянь

метод перетворення Лапласа, і визначивши фундаментальну матрицю рішення, отримано вирази для безумовних ймовірностей станів мережі.

Запропоновано вираз для умовного критерію ефективності системи управління, що враховує коефіцієнт бітових помилок, інтервал часу доставки даних, ступінь захисту мережі. В такому випадку кожен стан сегменту ККМ в довільний момент часу характеризується відповідною ймовірністю. Коли мережа вирішує конкретну задачу на обраному інтервалі в певний момент часу, можна зв'язати значення деякого функціоналу, що характеризує якість рішення проблеми системою в одному з станів. Цей функціонал можна інтерпретувати як умовний критерій ефективності управління. Наприклад, при вирішенні проблеми доставки трафіку на заданому маршруті вибрана ймовірність того, що в заданому інтервалі часу мережа матиме заданий допустимий рівень бітових помилок (*BER*). У дисертаційній роботі виведено умовний критерій ефективності управління для даного випадку. Використовуючи загальний критерій, автор роботи отримала часткові критерії. Для показника ефективності мережі, по якій доставляються повідомлення довільної довжини, в якості умовного критерію встановлено ймовірність передачі без втрат.

Ефективність управління ККМ оцінюється по впливу на продуктивність мережі. Поточний коефіцієнт ефективності представляє собою відношення ефективності мережі з управлінням до ефективності мережі без управління.

На основі запропонованих методів у дисертаційній роботі розроблено інформаційну технологію управління корпоративною комп'ютерною мережею з еталонною моделлю та використанням концепції «оптимального адміністратора» на основі психофізіологічних моделей професійної діяльності адміністратора ККМ з використанням принципів оптимального управління та технології експертних систем. Основними складовими технології є:

- модуль обробки вхідної інформації про стан мережі у вигляді бази даних для зберігання статистик функціонування мережі;
- модуль ідентифікації стану мережі;
- еталонна інформаційна та математична модель АС ККМ з прогнозуванням;
- модуль «оптимального адміністратора» для формування оптимальних управлінь;
- база знань з набором правил щодо стратегій управління ККМ;
- база даних для аналізу ефективності управління;
- модуль реалізації управління.

Набір параметрів мережі, які контролюються, дозволяє враховувати такі відхилення параметрів АС, від яких явно залежить досягнення цільових показників якості *QoS* для різних сервісів: затримка передачі і варіація затримки, кількість втрачених пакетів та бітових помилок.

Перевагами інформаційної технології управління ККМ є відповідність загальним психофізіологічним моделям професійної діяльності адміністратора, а також застосування методу оптимального управління, який дозволяє переводити систему у бажаний кінцевий стан при мінімальних затратах на управління.

У **висновках** по роботі сформульовані основні результати, отримані при розв'язанні науково-прикладної проблеми в галузі інформаційних технологій: підвищення ефективності функціонування корпоративних комп'ютерних мереж у сенсі збільшення корисної пропускну здатності при фізичних обмеженнях на мережний ресурс в системах з нестаціонарними потоками. Проблему розв'язано засобами сучасних інформаційних технологій з використанням методів розподіленого управління наявними мережними ресурсами. Це дозволило змістити центр тяжіння зі спроб простого нарощування системних енергетичних та інформаційних ресурсів саме на оптимальний розподіл тих ресурсів, що вже є у наявності.

Ступінь обґрунтованості наукових положень. Результати дисертації наведено у вигляді математичних моделей, алгоритмів, структурних та принципів схем. Показано місце різних методів аналізу та моніторингу при організації інформаційних технологій управління. Для підтвердження теоретичних результатів наведені приклади розрахунків типових показників якості, порівняльної ефективності розроблених методів та пристроїв. Дані аргументовані порівняльними оцінками запропонованих автором нових рішень відносно результатів інших авторів, одержаних раніше.

Достовірність та новизна

Достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій, отриманих у дисертації, на наш погляд, обумовлена такими міркуваннями:

– математичний апарат, що використаний у дисертаційних дослідженнях, застосований на достатньому для інженерних задач рівні строгості та коректності;

– нові наукові результати узагальнюючого характеру, які отримані в дисертації, при відповідних спрощеннях та припущеннях можуть бути зведені до добре відомих, багатократно перевірених теоретично та експериментально часткових результатів, одержаних раніше іншими авторами;

– математичні моделі та одержані наукові результати співпадають з нашими інтуїтивними уявленнями про реальні фізичні процеси, які протікають в системах, що досліджувалися.

Наукова новизна результатів дисертаційної роботи. На основі виконаних теоретичних і експериментальних досліджень розв'язано важливу науково-прикладну проблему підвищення ефективності функціонування корпоративних комп'ютерних мереж у сенсі збільшення корисної пропускну здатності при фізичних обмеженнях на мережний ресурс в системах з нестаціонарними потоками. При цьому отримано такі наукові результати:

1) *удосконалено* метод аналізу статистичних характеристик та моделі потоків вимог різнорідного мережного трафіку з маркуванням (пріоритизацією) потоків, сумарних та проріджених потоків, які завдяки урахуванню самоподібності сучасного трафіка та використанню диференціальної ентропії відповідних розподілів, дозволяє отримувати оцінки прогнозованого навантаження на мережу та відповідно налаштовувати параметри регуляторів системи управління;

2) *вперше* розроблено метод оптимального управління комп'ютерною мережею, який завдяки застосуванню модифікованого критерію узагальненої роботи О. А. Красовського з використанням інформаційної функції втрат дає можливість знаходити оптимальні управління для складеної мережі в реальному часі;

3) *вперше* розроблено метод управління сталістю системи, який завдяки монотонно-повільному поверненню особливих точок (поліусів) передатної функції в область сталості забезпечує зменшення варіабельності перехідних процесів у системі управління та дозволяє забезпечувати стійкий стан системи при випадкових затримках сигнальної та управляючої інформації;

4) *удосконалено* математичну модель у вигляді передаточної функції мережного вузла як керованого об'єкту, яка, на відміну від відомих, враховує наявність затримок сигнальної і управляючої інформації, що забезпечує оптимальний вибір постійної часу реакції керованого об'єкту;

5) *удосконалено* метод передачі сигнальної та управляючої інформації, який завдяки визначенню оптимальної розподіленої ієрархічної структури управління та здійсненню транспорту управляючої інформації в автономному сегменті на каналному рівні, дозволяє скоротити час доставки службової інформації на 25%;

6) *вперше* розроблено метод оцінки ефективності системи управління розподіленою комп'ютерною мережею, який в якості умовного критерію ефективності визначає рівень бітових помилок та затримок пакетів, що дозволяє оцінити якість роботи системи управління по її впливу на продуктивність мережі;

7) *вперше* розроблено інформаційну технологію управління корпоративною комп'ютерною мережею, яка за рахунок етапів ідентифікації, прогнозування, вибору оптимальної стратегії управління стосовно до великої інформаційно-обчислювальної мережі з різнорідним обладнанням (складеної мережі), різними фізичними каналами доставляння даних, дає можливість досягнення цільових показників QoS для різних сервісів при мінімальних затратах інформаційного ресурсу (мінімум сигнальної та управляючої інформації) необхідних для цього.

Практичне значення отриманих результатів визначається тим, що запропоновані моделі і методи є науково-методологічною основою для розробки інформаційної технології створення систем управління корпоративними комп'ютерними мережами з використанням нових методів розподіленого управління наявними мережними ресурсами в умовах затримки сигнальної та управляючої інформації.

1. Розроблене алгоритмічне забезпечення відповідно до методу аналізу статистичних характеристик трафіку для потоків вимог різноманітного мережного трафіку з маркуванням (пріоритизацією), сумарних та проріджених, яке дозволяє отримувати оцінки прогнозованого навантаження на мережу (довжина черги, завантаженість буферної пам'яті), впроваджено в ККМ ТОВ «Об'єднання ЮГ».

2. Розроблене алгоритмічне забезпечення відповідно до методу управління сталістю системи, яке дозволяє переводити систему до стійкого стану шляхом розрахунку та застосування нових коефіцієнтів зворотного зв'язку, при яких система залишається стійкою, впроваджено у дата-центрі ТОВ «Об'єднанні мережі України».

3. Розроблене алгоритмічне забезпечення відповідно до моделі мережного вузла, як керованого об'єкту, яке дозволяє розраховувати оптимальне значення часу реакції мережного вузла залежно від часу затримки доставки даних, впроваджено в ККМ ТОВ «Об'єднання ЮГ».

4. Запропоновані «Система управління телекомунікаційною мережею» (патент на корисну модель № 82963, 27.08.2013 р.) та «Спосіб управління телекомунікаційною мережею» (патент на корисну модель № 82964, 27.08.2013 р.) впроваджені шляхом інтеграції їх з системою управління корпоративною мережею і дають можливість оптимального перерозподілу ресурсів комутаційного обладнання для забезпечення цільових показників якості обслуговування (QoS) різних типів мережних сервісів, що підтверджено актом впровадження у Національне бюро з розслідування авіаційних подій та інцидентів з цивільними повітряними суднами.

5. Розроблене алгоритмічне забезпечення відповідно до інформаційної технології управління мережею та методу оптимального управління дає можливість досягнення заданого рівня якості обслуговування при мінімальних затратах інформаційного ресурсу (мінімум сигнальної та управляючої інформації) необхідних для цього, впроваджено у ПАТ «Укртелеком», дата-центрі ТОВ «Об'єднанні мережі України», ТОВ «Головне підприємство обробки польотних даних».

Розроблене алгоритмічне забезпечення та запропоновані функціональні схеми дозволяють підвищити ефективність функціонування корпоративних комп'ютерних мереж у сенсі підвищення рівня корисної пропускної здатності на 9%.

Результати використано у навчальному процесі Національного авіаційного університету при викладанні дисциплін «Комп'ютерні мережі» та «Методи та системи штучного інтелекту» (акт впровадження від 11.02.2021 р.) та Державного університету телекомунікацій (акт впровадження від 06.11.2020 р.).

Результати дисертаційної роботи пропонується використовувати науково-дослідним організаціям, підприємствам та телекомунікаційним операторам, дата-центрам України, країн СНД і інших країн при побудові високоефективних корпоративних комп'ютерних мереж та їх систем управління, а також для підвищення ефективності існуючих мереж.

Повнота викладення результатів дисертації в опублікованих працях

Основні результати дисертації досить повно викладені в друкованих працях у фахових виданнях, що входять до міжнародних наукометричних баз, переліків атестаційного органу України, та в матеріалах наукових конференцій. Результати роботи досить детально доповідались та обговорювались на конференціях та семінарах. Основні результати дисертації опубліковано у 47 публікаціях, у тому числі 20 наукових статтях в фахових журналах за переліком МОН України, 3 наукові статі у журналах, індексованих у МНБ *Scopus*, 2 одноосібних патентах на корисну модель, 2 наукові статті у зарубіжних журналах, та в 19 тезах і матеріалах доповідей на міжнародних конференціях, 1 з яких входять до МНБ *Scopus*, 1 монографії.

Мова і стиль дисертації та автореферату в цілому задовільні і відповідають вимогам стандартів оформлення науково-дослідних робіт. Зміст автореферату відповідає змістові дисертації та об'єктивно відображає основні результати роботи.

Використання чужих наукових результатів без посилань на авторів у дисертації не виявлено.

Обсяг і структура дисертації відповідають вимогам та рекомендаціям атестаційного органу України.

Зауваження та недоліки

1. Статистика сумарних потоків різнорідного трафіку, що поступають на комутаційний вузол, може прагнути до пуасонівської, якщо всі потоки поступають на вхід вузла через концентратор з багатьма входами та одним виходом. Якщо ж вони поступають через мультиплексор на різні входи комутаційного вузла, статистика трафіку буде варіабельною і більш складною.

2. Протоколи управління мережами типу *SNMP* більше орієнтовані на організаційне управління, тобто на менеджмент. На технічне управління орієнтований протокол *CMIP*. Не зрозуміло, чому автор про нього не згадала.

3. Автором широко використовується поняття «корисна пропускна спроможність», але визначення цього терміну в розумінні автора не наведено.

4. Бази даних та знань, на думку автора, будуть наповнюватися експертами з комп'ютерних мереж та теорії управління. Саме поєднання цих теорій може служити підґрунтям створення нової інформаційної технології. Проблема лише в тому, чи є достатнє число фахівців вищої кваліфікації у цій міждисциплінарній галузі.

5. При плавному вводиті полюсів всередину одиничного кола z -площини буде витрачатися час. Відповідно, виникатимуть додаткові затримки управляючої інформації. Ця проблема потребує додаткових досліджень.

6. При попаданні полюса в околицю одиничного кола z -площини можливі варіанти: полюс лишається всередині одиничного кола; полюс виходить за одиничне коло. Імовірність попадання полюсу точно на одиничне коло залежить від розрядності цифрового пристрою і в будь-якому випадку буде величиною другого порядку малості.

7. В дисертації та авторефераті зустрічаються описки та помилки.

Вказані недоліки не носять принципового характеру. Через їх наявність достовірність та якість кінцевих результатів роботи ніяк не страждає.

Дисертація являє собою одноособово написану завершену кваліфікаційну наукову працю, яка містить нові наукові результати, має внутрішню єдність та логіку, свідчить про особистий внесок автора у науку, її ерудицію, добру загальну та спеціальну підготовку. Автор роботи глибоко вникла в суть задачі, що вирішується, виявила добру обізнаність з предметом дослідження, коректно та за потрібним призначенням застосувала математичний апарат.

Дисертаційна робота в цілому є самостійно виконаним завершеним науковим дослідженням на актуальну тему. Вона містить нове рішення проблеми створення нової інформаційної технології розподіленого управління корпоративними комп'ютерними мережами з метою оптимального розподілу наявних інформаційних ресурсів.

Дисертація відповідає спеціальності 05.13.06 – Інформаційні технології. Основні наукові положення дисертації досить повно та об'єктивно викладені в авторефераті та публікаціях.

За науковим рівнем, практичною цінністю, апробацією та публікаціями дисертаційна робота відповідає вимогам пп. 9,10,12,13 Порядку присудження наукових ступенів, затвердженого постановою КМУ №567 від 24.07.2013 р. (зі змінами, внесеними згідно з Постановами КМУ №656 від 19.08.2015 р., №1159 від 30.12.2015 р. та №567 від 27.07.2016 р.), а її автор, Савченко Аліна Станіславівна, заслуговує присудження наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.13.06 – Інформаційні технології.

Офіційний опонент
професор кафедри
автоматики та управління в технічних системах
Національного технічного університету
«Київський політехнічний інститут
імені Ігоря Сікорського»
доктор технічних наук, професор



Б. Я. Корнієнко

