

## ВІДГУК

офіційного опонента доктора технічних наук, доцента  
Лукової-Чуйко Наталії Вікторівни  
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.

Автоматизація, комп'ютеризація та інформатизація є невід'ємними складовими сучасного інформаційного суспільства, а обмін інформацією – нагальною необхідністю для його успішного існування. Потреби в обробці та передаванні великих об'ємів даних неперервно зростають. На перший план виходить вже не проблема збільшення інформаційного ресурсу, необхідного для задоволення постійно зростаючих потреб користувачів. Особлива увага приділяється значно більш важливій, хоча і більш складній, проблемі оптимального розподілу наявного інформаційного ресурсу між користувачами з урахуванням їх територіального рознесення та завантаженості частотного спектру.

Хоча проблемі управління інформаційними системами, зокрема, комп'ютерними мережами (КМ) приділяється багато уваги, вона ще не вирішена повністю. На основі фундаментальних досліджень проблеми управління мережами, проведення широкомасштабних експериментів можна вирішити проблему оптимального управління мережними ресурсами в реальному часі. Отже, розробка методів розподіленого управління корпоративними КМ (ККМ) є актуальною науково-прикладною проблемою.

Огляд розділів 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.

В **першому розділі** досліджено стратегію розвитку корпоративних комп'ютерних мереж України. Приведено основні визначення, 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.

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 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.

У розділі виділені чотири основні групи потоків заявок: потік від незалежного джерела, сумарні, проріджені і марковані потоки вимог; запропоновано математичні моделі для кожного з видів потоків вимог.

**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». Експериментальним шляхом визначено швидкість збіжності сумарного потоку заявок до пуасонівського залежно від кількості потоків заявок. Для проріджених та сумарних маркованих потоків заявок визначено характеристики відповідно до властивостей (наприклад, ступеню самоподібності та безпосередньо зв'язаного з ним параметру Херста).

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

На першому етапі відбувається збір та зберігання статистичних даних щодо трафіку у різних точках мережі. На етапі аналізу відбувається визначення групи потоку вимог, ідентифікація моделі розподілу та його характеристик за допомогою параметричної та непараметричної оцінки. 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.

**В четвертому розділі** виконано дослідження проблем 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, необхідно мінімізувати для досягнення оптимального управління в кожен поточний момент часу, а в результаті – отримати розв'язок термінальної задачі управління.

Термінальна складова та затрати на управління є головною частиною функціоналу узагальненої роботи. Остання складова функціоналу трактується як сума робіт, що здійснюються управліннями і сигналами, що управляють, тобто затрати на управління.

Враховуючи особливості ККМ, втрати на управління є витратами додаткового інформаційного ресурсу (команди, що управляють), тобто втрати не енергетичні, а інформаційні. Тому запропоновано використовувати інформаційно-ентропійну функцію втрат. Застосувавши інформаційну функцію втрат, отримуємо вираз для модифікованого 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), і чисельним шляхом реалізується алгоритм управління.

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 сегменту (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. Вважається, що для рівнянь з аргументом, що відхиляється, метод апроксимації диференціальних рівнянь різницеvими рівняннями є особливо ефективним. Для систем зі змінним запізненням аргументу цей метод лишається єдиним, який можна реалізувати на практиці, зокрема, на цифрових пристроях.

Навіть для простої системи затримка аргументу призводить до появи післядії. При цьому якщо початкове рівняння стійке, то стійкість рівняння з аргументом, що відхиляється, не гарантується. Виникає проблема оцінювання стійкості системи з затримками.

Для оцінки асимптотичної стійкості системи дослідження лише передавальних характеристик недостатньо. Асимптотична стійкість систем, визначається розташуванням полюсів системної функції усередині одиничного кола  $z$ -площини. Розраховані значення коефіцієнта зворотного зв'язку  $b_i$  при різних значеннях запізнення інформаційного сигналу ( $k$ ), при якому система залишається на межі стійкості, тобто один з полюсів системної функції лежить на одиничному колі. 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 дисертаційній роботі розроблено метод управління сталістю системи з випадковими затримками сигнальної та управляючої інформації заснований на примусовому поверненні в області стійкості. Полнос системної функції віддзеркалюється всередину одиничного кола  $z$ -площини зі збереженням кутового положення. Завдяки цьому динаміка цифрової системи залишається незмінною.

Алгоритм забезпечення сталості на основі експоненціальної функції відрізняється низькою обчислювальною складністю та дозволяє підвищити якість перехідних процесів в середньому на 16%, що підтверджено відповідними розрахунками.

Таким чином, у п'ятому розділі визначено умови стійкості сегменту мережі та запропоновано метод управління сталістю, який завдяки монотонно-повільному поверненню полюсів системної функції в область одиничного кола, дозволяє забезпечувати стійкий стан системи при випадкових затримках сигнальної та управляючої інформації.

**Шостий розділ** присвячено розробці математичної моделі у вигляді передаточної функції маршрутизатора як керованого об'єкта, виведено передавальні функції системи управління та запропоновано підхід до вибору постійних часу комутаційного вузла за результатами асимптотичного оцінювання затримок сигнальної інформації.

Вузол комутації (ВК) як об'єкт управління – це система зворотного зв'язку, яка повинна надавати певний відгук 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 реагуватиме повільно.

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. Встановлено, що варіації нормалізованої поточної довжини черг в буфері мережного вузла залежать від співвідношення між часом реакції мережного вузла та затримкою управляючого сигналу. При положенні близько до одиниці, 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 (SNMP, OF-CONFIG, OpenFlow тощо). Таким чином, система управління може бути застосована (з відповідними модифікаціями) і для мереж SDN.

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 на 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. Перехід з одного стану в інший можливий у відомі моменти часу з відповідними ймовірностями. Сукупність станів елементів системи в деякий момент часу характеризує загальний стан системи в цей момент часу. Зміна станів елементів у часі визначає динаміку станів системи.

В процесі роботи ККМ переходи зі стану в стан відбуваються в випадкові або детерміновані 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. Стан повної відмови означає, що відновлення системи під час поточної роботи неможливо через фізичний збій. Мережна система може бути відновлена після повної зупинки і переконфігурації.

Оцінка продуктивності всієї мережі, проводиться на основі системи диференціальних рівнянь Колмогорова. Застосувавши до системи рівнянь метод перетворення Лапласа, і визначивши фундаментальну матрицю рішення, автор отримала вирази для безумовних імовірностей станів мережі.

У якості умовного критерію ефективності управління мережею при вирішенні даної проблеми доставки трафіку на заданому маршруті вибрано ймовірність того, що в заданому інтервалі часу мережа матиме заданий допустимий рівень бітових помилок ( $BER$ ). Для цього випадку виведено вираз для умовного критерію ефективності управління.

Для показника ефективності мережі, по якій доставляються повідомлення довільної довжини, встановлені в якості умовного критерію ймовірність передачі без втрат.

При вирішенні інших завдань з доставки даних (передача, обмін, розподіл тощо) необхідно застосовувати інші критерії ефективності. Для оцінки впливу системи управління мережею на ефективність мережі як об'єкта функціонування управління необхідно знати ймовірності станів СУ.

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.

Дані про стан ККМ передаються в дворівневу  $i$ -у еталону модель АС. Перший рівень відповідає за стан кожного елемента мережі окремо і прив'язаний до конкретного обладнання (маршрутизаторів, комутаторів, програмних комутаторів Softswitch, пограничних контролерів сесій SBC тощо). Другий (мереженезалежний) рівень відповідає за загальний стан АС ККМ. Такий підхід дозволяє відокремити завдання управління надійністю обладнання від завдання аналізу і управління топологією комп'ютерної мережі.

При зборі статистики враховуються розбіжності параметрів вектору поточного стану АС, інформація про які надходить із запізненням інформаційного сигналу, та вектором стану еталонної моделі.

Модуль ідентифікації на основі вектору поточного стану мережі та інформаційно-ентропійних критеріїв дозволяє визначити відповідність одному з чотирьох раніше визначених станів.

Еталонна модель, яка описує процеси обміну інформацією в АС, побудована на основі диференційно-різницевої рівнянь з аргументами, що відхиляються, які дозволяють врахувати затримки як сигнальної, так і управляючої інформації. Стійкість стану АС ККМ при затримках сигналів забезпечується завдяки розробленому методу управління сталістю.

На основі методу аналізу статистичних характеристик та моделей потоків вимог формується вектор вихідних сигналів першого рівня еталонної моделі, який дозволяє отримати прогноз щодо стану елементів та інтенсивності трафіку в контрольних точках мережі.

Паралельно з адміністратором, що має стандартну кваліфікацію і досвід роботи, ті ж завдання вирішує експертна система, оптимальна в сенсі мінімізації заданих цільових функціоналів, – «оптимальний адміністратор». Ця система, як і адміністратор, отримує інформацію про стан мережі і прогноз працездатності. Мінімізуючи цільовий функціонал, виробляється оптимальне управління, на основі якого, за допомогою бази знань, формується стратегія управління.

Концептуальна структура експертної системи заснована на виявленні понятійної структури мережі, її елементів, параметрів та можливих станів за допомогою парадигми концептуального аналізу та принципів побудови ієрархії понять. База знань побудована за продукційною моделлю та містить інформацію про оптимальні стратегії управління мережею відповідно до бажаного стану АС та мінімуму управляючих дій.

Для аналізу ефективності управління у базі даних фіксуються оптимальні управління (вироблені експертною системою), управляючі дії адміністратора, стани мережі. Ефективність управління оцінюється по

впливу на продуктивність мережі. Поточний коефіцієнт ефективності визначає співвідношення ефективності мережі з управлінням до ефективності мережі без управління.

Експериментальним шляхом доведено, що застосування запропонованої інформаційної технології управління дозволяє підвищити ефективність ККМ в сенсі збільшення рівня корисної пропускнуої спроможності каналів зв'язку автономного сегмента в середньому на 9% .

Таким чином, розроблена інформаційна технологія управління ККМ, перевагою якої 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 пропускнуої здатності при фізичних обмеженнях на мережний ресурс в системах з нестационарними потоками. Розв'язання проблеми досягається шляхом оптимального розподілу наявного мережного ресурсу між користувачами з урахуванням їх потреб та пріоритетів доступу до мережі.

**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. Наведено порівняльні оцінки запропонованих автором нових рішень відносно результатів інших авторів, одержаних раніше.

#### **Достовірність та новизна.**

Достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій, отриманих у дисертації, обумовлена:

- адекватністю математичних моделей реальним фізичним процесам, які протікають в досліджуваних системах;
- коректністю застосування математичного апарату;
- підтвердженням теоретичних результатів розрахунками, комп'ютерним моделюванням та експериментами.

**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. 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, дозволяють 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 (полосів) 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'єкта;

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 різномірним 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. Розроблено алгоритмічне забезпечення відповідно до методу аналізу статистичних характеристик трафіку для потоків вимог різномірного мережного трафіку з маркуванням (пріоритизацією), сумарних та проріджених, яке дозволяє отримувати оцінки прогнозованого навантаження

на мережу (довжина черги, завантаженість буферної пам'яті) та впроваджено в ККМ ТОВ «Об'єднання ЮГ».

2. Розроблено 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'єднані мережі України».

3. Розроблено 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. Розроблено алгоритмічне забезпечення відповідно до інформаційної технології управління мережею та методу оптимального управління, яке 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'єднані мережі України», ТОВ «Головне підприємство обробки польотних даних».

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

Результати дисертаційної роботи пропонується використовувати науково-дослідним організаціям, підприємствам та телекомунікаційним операторам, дата-центрам України, країн СНД і інших країн при побудові вискоефективних 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 опубліковано у 47 наукових працях (22 одноосібні), серед яких: 20 наукових статей у фахових виданнях за переліком МОН України, 3 наукові статі у журналах, індексованих у міжнародній наукометричній базі *Scopus*, 2 одноосібних патенти на корисну модель, 2 наукові статті у зарубіжних виданнях, 19 тез і матеріалів доповідей на міжнародних конференціях, одна монографія.

Мова і стиль дисертації та автореферату задовільні. Зміст автореферату відповідає змістові дисертації.

Зауваження стосовно змісту та оформлення дисертаційної роботи.

1. При аналізі процесу переходів корпоративної комп'ютерної мережі відмічено, що вони відбуваються у випадковій або детермінованій миттєвості часу. У такому випадку і математичні моделі процесів переходу мають бути різними. Наприклад, для випадкових моментів переходу – процес загибелі та розмноження, для детермінованих моментів переходу – альтернуючий процес відновлення. Це питання у роботі не висвітлено.

2. При фізичній відмові комутаційний вузол відразу перестає реагувати на запити. При перевантаженні реакція вузла деякий час зберігається. Ці відмінності можна було б використовувати для розпізнавання станів вузла.

3. У дисертації правильно відмічено, що корисна пропускна спроможність мережі довше зберігається при наявності управління мережею. У той же час неясний характер зміни корисної пропускної спроможності при наявності пуасонівського та самоподібного трафіку.

4. Кількісні результати покращення характеристик мережі, отримані експериментально та шляхом моделювання, наведені в різних місцях дисертації. Було б доцільно звести їх до загальної таблиці і розмістити, наприклад, у висновках.

5. Концептуальна схема досліджень для вирішення проблеми управління корпоративною комп'ютерною мережею містить недостатньо детальний опис деяких інформаційних технологій, зокрема, інформаційних технологій прогнозування трафіку.

Треба відмітити, що вказані недоліки є несуттєвими і не впливають на кінцеві результати роботи, яка залишає хороше враження.

Дисертація представляє 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 низки інформаційних технологій розподіленого управління складними та територіально рознесеними корпоративними комп'ютерними мережами з метою оптимального розподілу та найкращого використання 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  
завідувач кафедри  
кібербезпеки та захисту інформації  
Київського національного університету  
імені Тараса Шевченка  
доктор технічних наук, доцент

Лукова-Чуйко Н.В.

