

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

**МХАМАД ІБРАГІМ АХМАД АЛЬОМАР
(ЙОРДАНІЯ)**

УДК 004.7(045)

**УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ УПРАВЛІННЯ
РОЗПОДІЛОМ РЕСУРСІВ ПАКЕТНИХ МЕРЕЖ**

Спеціальність 05.13.05 – Комп'ютерні системи та компоненти

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Київ – 2015

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана на кафедрі інформаційних технологій Київського національного університету будівництва і архітектури України (КНУБА).

Науковий керівник: кандидат технічних наук, доцент
Вишняков Володимир Михайлович,
КНУБА, доцент кафедри інформаційних технологій.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Конахович Георгій Філімонович,
Національний авіаційний університет, завідувач
кафедри телекомунікацій.

кандидат технічних наук, доцент
Полторак Вадим Петрович,
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут», доцент
кафедри автоматичного управління в технічних
системах.

Захист дисертації відбудеться «___» _____ 2015 р. о ___ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д.26.062.07 у Національному авіаційному університеті (НАУ) (м. Київ, пр.Космонавта Комарова, 1, корп.б, ауд. 200).

Відгуки на автореферат у двох екземплярах, завірені печаткою установи, просимо надсилати на адресу: 03680, м.Київ, пр. Космонавта Комарова, 1, вченому секретарю спеціалізованої ради Д26.062.07.

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці НАУ.

Автореферат розісланий «___» _____ 2015 року.

Вчений секретар
спеціалізованої ради,
кандидат технічних наук, доцент

Лукашенко В.В.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Наукові завдання, що вирішуються у рамках дисертаційної роботи, спрямовані на підвищення завантаження вузлового обладнання (ВО) мереж з пакетною комутацією. Вирішення цих завдань базується на застосуванні методів формування пакетного трафіка, синтезу адаптивних механізмів управління динамічними системами та прогнозування часових рядів, що дозволило удосконалити технологію управління розподілом пропускну здатності ВО між портами комутуючих пристроїв.

Актуальність роботи. Одна з основних проблем експлуатації обладнання пакетних мереж полягає у недостатній досконалості існуючих технологій обробки протокольних блоків даних (*PDU*), які в умовах пульсуючого трафіка поки що не в змозі забезпечити високу ступінь завантаження високовартісного ВО, зокрема магістральних мультиплексорів, потужних комутаторів/маршрутизаторів, шлюзів, серверів, мультимедійних трансляторів тощо. Ступінь навантаження ВО поточним трафіком на проміжку часу τ визначається коефіцієнтом завантаження K_{BO} - відношенням досягнутої на цьому проміжку швидкості (інтенсивності) обробки *PDU* I_{BO} до пропускну спроможності цього обладнання C_{BO} , тобто $K_{BO} = I_{BO} / C_{BO}$. По мірі підвищення завантаження ВО на часових ділянках сплесків трафіка ймовірність його перенавантаження зростає, що призводить до лавиноподібного збільшення втрат пакетів і, отже, до перевищення нормативного значення коефіцієнту втрат пакетів, що неприпустимо. Тому доводиться суттєво обмежувати середню швидкість обробки *PDU* на портах ВО у порівнянні із його пропускну здатністю з тим, щоб убезпечитись від неконтрольованого зростання втрат пакетів під час пульсацій трафіка. Робота пакетної мережі може вважатися лише тоді ефективною, коли кожен її ресурс є суттєво завантаженим, але не перенавантаженим. Оскільки обладнання сучасних пакетних мереж є високовартісним, то міркування економічної доцільності змушують прагнути до найбільш повного використання ресурсів такого обладнання, щоб оброблювати якомога більші обсяги даних у перерахунку на одиницю вартості задіяного обладнання. І при цьому в умовах пульсацій трафіка намагатися не знизити якість обробки інформації нижче певних припустимих рівнів (зокрема, не збільшити коефіцієнт втрат пакетів, їхні затримки тощо). Тобто, необхідно намагатися забезпечити оптимальний компроміс між рівнем завантаження ресурсів мережі і якістю надання послуг. На практиці, навіть за умов використання сучасних методів інженерії трафіку реально досягнуті рівні коефіцієнту завантаження ВО не перевищують 0,6. При більших значеннях цього коефіцієнту різко падає якість обробки пакетів під час значних пульсацій трафіка. Як бачимо, існує достатньо вагомий резерв збільшення економічної ефективності використання ресурсів пакетної мережі, зокрема збільшення коефіцієнту завантаження її вузлового обладнання.

В роботі Ю.А.Кочергіна „Задача авторегулювання перераспределением пропускну здатності пакетного комутатора между его портами” (у зб. „Математичні машини і системи”. К.: ІК АНУ, 2006. Вип. 2. – С. 60-70) запропоновано ефективний спосіб збільшення навантажень на ВО (зрозуміло, без погіршення якості обробки потоків пакетів) за рахунок використання механізму адаптивного перерозподілу пропускну здатності пакетного комутатора між його портами у реальному часі. Проте цей спосіб потребує суттєвої доробки, оскільки не враховує негативний вплив системних помилок, пов'язаних із адаптивністю та дискретністю процесу такого перерозподілу. Окрім того, не враховується нестационарний характер пульсацій реального пакетного трафіку, що утруднює можливість застосування вищезазначеного способу на практиці. Тому, якщо виявити та використати можливості зменшення системних помилок адаптивного управління, зокрема за рахунок уведення у контур управління засобів прогнозування трафіку, а також знайти способи перетворення нестационарних потоків трафіку

у квазістаціонарні відрізки трендів цього трафіку, то будуть усунені основні перешкоди на шляху використання способу адаптивного управління ресурсами ВО на практиці.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Висвітлені в дисертації наукові результати отримано, здебільшого, в рамках науково-дослідної роботи, яка була виконана Київським національним університетом будівництва і архітектури (КНУБА) на замовлення Державного НДІ автоматизованих систем у будівництві Мінрегіон України (НДІАСБ), що здійснює свою діяльність у сфері створення комп'ютерних систем для потреб будівельної галузі, та „Укртелеком” (Договори про НДР №165-ХО4 (№ держ. реєстрації 0113U000093), №513-9-931, №514-9-931, №401/03). Отримані результати використовуються у навчальному процесі КНУБА при викладанні навчальної дисципліни «Комп'ютерні мережі».

Мета і задачі дослідження. Метою роботи є удосконалення технології адаптивного управління розподілом пропускної спроможності ВО пакетних мереж за рахунок цілеспрямованого формування та прогнозування пакетного трафіка. Ці удосконалення забезпечують можливість збільшення коефіцієнту завантаження ВО пакетної мережі без порушень нормативів якості обробки та передавання пакетних даних в умовах значних пульсацій трафіка.

Удосконалення вищеназваної технології пропонується здійснювати шляхом застосування у реальному часі адаптивного методу управління смугами пропускання портів ВО, що, у свою чергу, потребує розробки нової технології формування пакетних потоків на цих портах та використання відповідних засобів короткострокового прогнозування інтенсивності трендів пакетних потоків. Механізм прогнозування у даній роботі розглядається як засіб зменшення системних помилок адаптивного управління.

Для досягнення поставленої мети в роботі вирішуються такі завдання:

1. Визначення можливостей та шляхів застосування технології адаптивного розподілу ресурсів пакетної мережі в умовах пульсацій пакетного трафіка на основі аналізу характеристик цієї технології та механізму утворення помилок адаптивного управління.

2. Розробка технології формування пакетного трафіка для забезпечення роботи засобів адаптивного управління (обґрунтування моделі пакетного трафіка, визначення можливостей його згладжування та прогнозування, дослідження впливу параметрів усереднення трафіка на його статистичні характеристики, розробка процедур віднесення пакетного трафіка до класу самоподібних процесів, розробка технологічної схеми формування трафіка).

3. Удосконалення технології управління розподілом ресурсів пакетних мереж (розробка алгоритму адаптивного управління, вибір метода та розрахункової схеми прогнозування, розробка процедури прийняття рішень при управлінні портами вузлового обладнання, розробка технологічної схеми адаптивного розподілу пропускної спроможності ВО між його портами).

4. Експериментальні дослідження пакетного трафіка та комп'ютерної моделі системи адаптивного розподілу пропускної здатності ВО між його портами (дослідження адекватності отриманих вибірок прийнятої моделі пакетного трафіка, експериментальна оцінка впливу засобу прогнозування на якість адаптивного управління, експериментальна оцінка технології адаптивного управління щодо можливостей підвищення завантаженості обладнання).

Об'єктом дослідження є процеси адаптивного розподілу пропускної здатності вузлового обладнання пакетної мережі між смугами пропускання його портів в умовах пульсуючого трафіка, що має забезпечувати підвищення завантаженості цього обладнання без втрат у якості обслуговування користувачів.

Предметом дослідження є засоби та показники якості формування і прогнозування пакетного трафіку, а також технологічні схеми та помилки адаптивного управління механізмом

розподілу продуктивності вузлового обладнання між смугами пропускання його портів в умовах пульсацій трафіку.

Методи дослідження. Під час моделювання пакетного трафіка використовувався апарат теорії ймовірності та випадкових процесів, математичної статистики, теорії телетрафіка (в частині аналізу фрактальних процесів), а також методи прогнозування часових рядів. При синтезі адаптивного механізму управління розподілом ресурсів вузлового обладнання використано наукові результати Р. Белмана щодо динамічного програмування та результати теорії конструювання регуляторів. Розгляд моделі пакетного трафіка як фрактального процесу виконано на основі робіт О.І.Шелухіна, Д.Є. Соколова та М.М. Петрова. В основу аналізу часових рядів узята класифікація Дж.Бокса та Г. Дженкінса. В основі розроблених механізмів прогнозування тренду пакетного трафіка лежать роботи К. Де Бора, А.А. Лігуна та В.В. Кармазіної.

Наукова новизна одержаних результатів полягає у вирішенні задач формування та прогнозування пульсуючого пакетного трафіка, що дозволило удосконалити засоби адаптивного управління розподілом ресурсів пакетної мережі і, як результат, збільшити навантаження на ВО.

Автором одержані наступні нові наукові результати:

1. Вперше надано математичне представлення дискретних асимптотично самоподібних процесів, що дало змогу провести аналіз впливу процедури усереднення на статистичні характеристики самоподібного трафіка.

2. Вперше знайдено функціональний зв'язок між параметрами усереднення пакетного трафіка та його статистичними характеристиками, що дозволило визначити критерії та умови формування пакетного трафіка (зокрема, обґрунтувати вибір інтервалу усереднення трафіка), в системі адаптивного управління розподілом продуктивності вузлового обладнання.

3. Вперше запропоновано спосіб та відповідна технологічна схема формування пакетного трафіка, що забезпечує перетворення нестационарного пульсуючого потоку пакетів у послідовність квазістационарних відрізків процесу із заданими обмеженнями на максимальну величину поточних значень їхньої інтенсивності, а також узгодженість інтервалів стаціонарності потоків пакетів на портах вузлового обладнання з інтервалами кроків дискретного управління. Запропонований спосіб дозволяє отримати згладжений квазістационарний тренд трафіка сходинкоподібної форми, пристосований для вирішення задач короткострокового прогнозування у реальному часі.

4. Вперше запропоновано спосіб та відповідна технологічна схема підвищення якості адаптивного управління параметрами вузлового обладнання пакетних мереж в умовах пульсуючого трафіка за рахунок цілеспрямованого його формування та включення у контур управління засобу прогнозування, що зменшує кількість помилок управління та сприяє перетворенню помилок недооцінки ширини смуг портів вузлового обладнання в помилки переоцінки смуг цих портів, які несуттєво впливають на якість роботи обладнання. Запропонований спосіб адаптивного управління доцільно використовувати в умовах значних пульсацій пакетного трафіка.

Практичне значення одержаних результатів визначається тим, що отримані теоретичні результати дозволили удосконалити технологію адаптивного розподілу ресурсів пакетної мережі в напрямках:

- зменшення впливу системних помилок адаптивного управління на якість роботи вузлового обладнання (зокрема, за інших рівних умов зменшити рівень втрат пакетів під час адаптивного

управління механізмом перерозподілу пропускної здатності вузлового обладнання між смугами пропускання його портів);

- збільшення рівня завантаженості вузлового обладнання (із значеннями коефіцієнту використання пропускної здатності комутуючого обладнання у діапазоні 0,65 – 0,75) за інших рівних умов його застосування;

- забезпечення можливості використання технології адаптивного управління розподілом ресурсів вузлового обладнання в умовах значних пульсацій трафіка.

Результати роботи впровадженні на об'єктах аеропорту «Бориспіль», в Укртелекомі та у навчальні процеси КНУБА та НАУ.

Особистий внесок здобувача. Основні положення і результати дисертаційної роботи отримані автором самостійно, обмежуються обсягом тих результатів наукової діяльності, які відображені у цій роботі. Із робіт, що опубліковані у співавторстві, у дисертаційній роботі використовуються результати, що отримані особисто здобувачем. (Творчий вклад здобувача у роботах із співавторами відображено у розділі «ПУБЛІКАЦІЇ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ»).

Апробація результатів дисертації. Результати досліджень дисертаційної роботи доповідались, обговорювались і отримали позитивну оцінку на:

1. X Міжнародна науково-технічна конференція «Новітні комп'ютерні технології» NOCOTE'2012 (м. Севастополь, 2012).

2. 73-тя науково-практична конференція КНУБА (м. Київ, 2012).

3. Міжнародна науково-практична конференція аспірантів і студентів «Інженерія програмного забезпечення» (м. Київ, 2012).

4. XI Міжнародна науково-технічна конференція «Новітні комп'ютерні технології» NOCOTE'2013 (м. Севастополь, 2013).

5. 74-та науково-практична конференція КНУБА (м. Київ, 2013).

Публікації. За результатами виконаних досліджень опубліковано 8 наукових робіт, з яких 5 статей у фахових науково-технічних спеціалізованих виданнях (з них 2 статті у зарубіжних науково-технічних журналах, які реферуються науково-метричними базами), 1 стаття у не фаховому науково-технічному спеціалізованому виданні та 2 тези доповідей на науково-технічних конференціях.

Структура та обсяг дисертації. Дисертаційна робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків по кожному розділу та загальних висновків по роботі в цілому, списку використаних літературних джерел (110 найменувань), 2 додатки. Повний обсяг дисертації - 140 сторінок, у тому числі 137 сторінок основного тексту, 23 рисунки, 3 таблиці.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ ДИСЕРТАЦІЇ

У вступі сформульовано шляхи та мету дослідження, обґрунтовано актуальність теми дисертації, визначено коло задач, що вирішуються, вказано на наукову новизну, практичне значення отриманих результатів, наведено дані про їх апробацію та впровадження.

У першому розділі здійснено аналіз існуючих технологій адаптивного управління розподілом ресурсів пакетних мереж з метою виявлення недоліків, що утруднюють впровадження цього способу управління в умовах значних пульсацій трафіка. На основі аналізу існуючих методів підвищення завантаженості ВО визначено можливі шляхи удосконалення технології адаптивного управління розподілом ресурсів пакетних мереж. Досліджено вплив цих удосконалень на показник помилок адаптивного управління. Показано, що використання методу адаптивного управління розподілом ресурсів пакетних мереж забезпечує більш високий

рівень завантаження обладнання корисним трафіком у порівнянні із можливостями статичного методу управління, не порушуючи при цьому норм на припустимі рівні втрат пакетів. Досліджено дискретно-адаптивне управління розподілом ширини смуг портів ВО, на вході якого подаються потоки пакетного трафіка, що згладжуються за методом «відра токенів». Виявлено, що робота такої системи управління супроводжується виникненням системних помилок: типу $D^{(-)}$ - недооцінки смуги пропускання портів, що призводять, за певних умов, до підвищення рівню втрат пакетів, та типу $D^{(+)}$ - переоцінки смуги пропускання портів, що призводять, до зниження завантаження обладнання корисним трафіком.

Виявлено умови виникнення втрат пакетів через помилки недооцінки смуги порту типу $D^{(-)}$, а також параметри, що впливають на рівень цих втрат. Показано, що системні помилки типу $D^{(-)}$ не завжди призводять до втрат пакетів. Ці втрати залежать також від інтенсивності виникнення подій перевищення швидкості потоків встановлених смуг пропускання портів обладнання, що розглядаються на квазістаціонарних ділянках тренду. Введено покроковий коефіцієнт помилок недооцінки смуги порту $K(D^{(-)})$ - відношення кількості втрачених пакетів через переповнення буферної пам'яті порту до загальної кількості пакетів, що надійшли до входу буферу на поточному інтервалі усереднення пакетного трафіка.

Аналіз можливих шляхів вдосконалення технологій управління розподілом ресурсів пакетних мереж показав, що найбільш ефективною з точки зору підвищення завантаження мережного обладнання є технологія дискретно-аналогового управління. Однак ця технологія потребує вдосконалення у наступних двох напрямках: зменшення системних помилок недооцінки $D^{(-)}$, що пов'язані із втратами пакетів, та модифікації алгоритмів згладжування трафіка для формування квазістаціонарних відрізків. Також показано, що використання механізму прогнозування у контурі дискретно-адаптивного управління забезпечує можливість не тільки зменшення помилок недооцінки $D^{(-)}$, але і перетворення цих помилок у помилки переоцінки $D^{(+)}$. При вирішенні більшості експлуатаційних завдань більш важливою є задача зменшення помилок типу $D^{(-)}$. Так що технологія управління розподілом ресурсів пакетних мереж має базуватися на використанні дискретно-адаптивного принципу управління із уведенням у контур адаптивного управління певним чином обраного механізму прогнозування пакетного трафіка. Таким чином удосконалена технологія розподілу ресурсів пакетної мережі дозволить зменшити, а за певних умов і усунути системні помилки дискретно-адаптивного управління, що призводять до втрат пакетів.

Другий розділ роботи присвячено питанням формування трафіка для забезпечення ефективною роботи засобів адаптивного управління розподілом ресурсів вузлового обладнання. Дослідження проведено за умов, коли на порти ВО надходять пульсуючі потоки пакетів, які доцільно моделювати у вигляді квазістаціонарних відрізків випадкового процесу із обмеженою дисперсією. Реальним потокам, що надходять до портів ВО, як показують у тому числі і результати наших експериментальних досліджень, не притаманна властивість стаціонарності та й розмах пульсацій не є обмеженим. Тому пошук шляхів перетворення увідних нестаціонарних потоків у послідовності відрізків квазістаціонарного процесу з обмеженою дисперсією представляється актуальним завданням. Окрім того, вкрай бажано, щоб сформовані відрізки квазістаціонарного процесу були придатні для короткострокового прогнозування, оскільки у даній роботі для зменшення помилок адаптивного управління пропонується використати засоби прогнозування трендів сформованих потоків пакетів. Для вирішення вищеназваних завдань у даному розділі розглянута можливість моделювання пакетного трафіка у вигляді дискретних

асимптотично самоподібних (фрактальних) процесів, а також доцільність використання цих моделей для прогнозування трафіка. Рівень самоподібності аналізується не через схожість процесів у сенсі їхніх статистичних розподілів, а шляхом дослідження властивостей статистичних абсолютних моментів, зокрема функції автокореляції та індексу дисперсії.

Стандартне визначення масштабної інваріантності стосовно безперервного процесу $X(t)$ пов'язане з виконанням наступної рівності:

$$X(t) \hat{=} a^{-H} Z(at), \quad t \in T, \quad a > 0, \quad 0 < H < 1, \quad (1)$$

де символ $\hat{=}$ розуміється у сенсі рівності щодо статистичного розподілу процесів $X(t)$ та $a^{-H} Z(at)$, а параметр H називають параметром Херста.

Проте реальний потік пакетів не є безперервним процесом. Тому в роботі надано математичне представлення дискретного фрактального процесу. Зокрема, розглянуто в якості моделі пакетного трафіка напівнескінчений відрізок стаціонарного випадкового процесу X дискретного аргументу (часу) $t=0,1,\dots,k, \dots$, тобто часовий ряд $\{X_k; k=0;1;2;\dots\}$, де k - поточний номер часового інтервалу усереднення процесу X .

Точкове значення k -го відліку часового ряду $\{X_k^{(\tau)}; k=0;1;2; \dots\}$ при моделюванні пакетного трафіка інтерпретовано як кількість пакетів x_k^τ , що надійшли у вузол обробки даних протягом k -го інтервалу часу тривалістю τ . Тобто, у даному випадку τ - це інтервал усереднення пакетів у потоці. Якщо ряд $\{X_k^{(\tau)}; k=0;1;2; \dots\}$ унормувати відносно τ , то отримаємо ряд $\{I_k^{(\tau)}; k=0;1;2; \dots\}$, в якому k -й компонент визначає поточну інтенсивність трафіка на k -ому кроці його усереднення. Кількість пакетів, що надійшли у вузол обробки даних протягом k -го інтервалу часу тривалістю τ , дорівнює максимально можливому значенню індексу i_{max} , що задовольняє нерівності

$$\begin{aligned} i\Delta\tau_{k,i} &= \tau \\ \tau &\geq \sum_{i=i+1} \Delta\tau_{k,i} = \Delta\tau_{k,1} + \Delta\tau_{k,2} + \dots + \Delta\tau_{k,i_{max}}, \end{aligned} \quad (2)$$

де $\Delta\tau_{k,i}$ - проміжок часу між сусідніми пакетами у потоці, $i=0,1,2, \dots$ - поточний номер цього проміжку, а k - поточний номер часового інтервалу усереднення процесу $\{X_k^{(\tau)}; k=0;1;2; \dots\}$.

Отже, k -й компонент ряду $\{I_k^{(\tau)}; k=0;1;2; \dots\}$, що визначає поточну інтенсивність трафіка на k -ому кроці його усереднення, визначено як

$$I_k^{(\tau)} = x_k^\tau / \tau. \quad (3)$$

Якщо береться значення індексу $i_{max} \geq 2$, то маємо справу із усередненим процесом. Якщо ж розглядається послідовність моментів проходження одиничних пакетів, то вважають, що $i_{max} = 1$.

Найбільш зручним об'єктом аналізу під час моделювання пакетного трафіка є автокореляційна функція $R(n)$ процесу X або його коефіцієнт автокореляції $r(n)$. Тому в роботі автокореляційна функція обчислювалась наступним чином:

$$\begin{aligned} R^{(\tau)}(n) &= M\{X_k^{(\tau)} X_{k+n}^{(\tau)}\} = \\ &= M\left\{ \left| (1/\tau) \sum_{i=i+1}^{i\Delta\tau_i=\tau} \Delta\tau_{k,i} - M\{X_k^{(\tau)}\} \right| \cdot \left| (1/\tau) \sum_{i=i+1}^{i\Delta\tau_i=\tau} \Delta\tau_{k+n,i} - M\{X_{k+n}^{(\tau)}\} \right| \right\}, \end{aligned} \quad (4)$$

$$i=i+1$$

$$i=i+1$$

де математичне очікування береться по усім K вибіркам $\{X_k; k = 0;1;2;\dots\}$, а n - інтервал кореляції, тобто кількість членів ряду, що розміщені між членами щодо яких визначається кореляційний зв'язок.

За цих умов досліджено функціональний зв'язок між параметрами усереднення пакетного трафіка та його статистичними характеристиками, що дозволило визначити шляхи та умови формування трафіка (зокрема, обґрунтувати вибір інтервалу усереднення трафіка), придатного для обробки в системі адаптивного управління. З метою визначення коректності процесу формування вихідного (рос., - исходного) пакетного трафіку, а також ступеня прогнозованості сформованого потоку пакетів розроблено процедури віднесення пакетного трафіка до класу самоподібних процесів на основі оцінок параметра Херста та індексу дисперсії IDC .

Пакетний трафік у даній роботі розглядається як послідовність квазістаціонарних ділянок із реалізаціями дискретного випадкового процесу, що у певній мірі можуть бути згладженими за допомогою процедур усереднення. З оглядом на ціль даного дослідження інтерес являє визначення умов, за яких досліджувані потоки пакетів та (або) їхні тренди, що отримані шляхом усереднення цих потоків, можуть бути визнані як потенційно прогнозовані.

Відомо, що самоподібні процеси мають гіперболічно згасаючий коефіцієнт автокореляції виду

$$r(n) = \frac{1}{2} \left((n+1)^{2H} - 2n^{2H} + (n-1)^{2H} \right), \quad (5)$$

Якщо виконати логарифмування виразу (5), то отримаємо:

$$\log R(\tau_i) \sim -\beta \log \tau_i, \quad (6)$$

тобто маємо лінійну залежність між $\log R(\tau_i)$ та $\log \tau_i$, яку можливо відобразити графічно у вигляді прямої лінії з кутом нахилу, що залежить від параметру β .

У таблиці 1 наведено результати кількісного аналізу залежності параметру Херста від інтервалу усереднення типової вибірки із слабо вираженою персистентністю (коли первісний не усереднений потік пакетів має $H=0,57$).

Таблиця 1

Дані щодо залежності параметру Херста від інтервалу кореляції

Кутовий коефіцієнт нахилу прямої β	Значення параметру Херста H	Інтервал усереднення вибірки даних τ_y
0,86	0,57	1 с
0,74	0,63	5 с
0,68	0,66	25 с
0,66	0,67	125 с
0,65	0,675	625 с

Результати аналізу даних (таблиця1) полягають у наступному:

1. Збільшення інтервалу усереднення трафіку підвищує рівень його самоподібності (оскільки збільшуються значення параметру Херста).

2. Позитивний ефект щодо підвищення ступеню самоподібності більш суттєво проявляється у діапазоні невеликих інтервалів усереднення. У діапазоні значних інтервалів τ , збільшення цих інтервалів приводить до незначного росту параметру Херста.

3. З ростом проміжків кореляції τ точність визначення показника самоподібності трафіка збільшується.

Отже, отримані результати свідчать, що процедура усереднення пакетного трафіка, в багатьох випадках, може у певній мірі згладити пульсації, підвищити ступінь самоподібності трендів трафіку і, таким чином, створити більш прийнятні умови для прогнозування його трендів.

Вперше виявлена залежність між характеристиками пакетного трафіка та ступенем його прогнозованості дозволила визначити умови та шляхи формування вихідного трафіка у напрямку підвищення його прогнозованості.

На основі відомих методів розроблено процедури віднесення вибірок пакетного трафіка до класу асимптотично самоподібних систем, що забезпечує можливість визначення умов застосування засобів формування та прогнозування пакетного трафіка у складі системи адаптивного розподілу ресурсів пакетних мереж.

Вперше розроблено процедуру корекції у реальному часі інтервалу усереднення пакетного трафіка, яка, з одного боку, забезпечує максимально можливу ступінь самоподібності усередненого трафіка, а з іншого, не допускає перевищення припустимого значення затримок пакетів.

На основі удосконалення алгоритму «відра токенів» розроблено нову технологію формування пакетного трафіка. На відміну від відомих ця технологія забезпечує можливість перетворення нестационарних потоків пакетів, що просуваються через порти вузлового обладнання, на квазістационарні відрізки з проміжками стаціонарності, які узгоджені з інтервалами кроків дискретного управління. Внаслідок вищезазначеного відкрилась можливість застосування розробленої технології формування трафіка в системах адаптивного розподілу пропускну здатності вузлового обладнання між його портами.

Третій розділ присвячено удосконаленню характеристик технології управління розподілом ресурсів пакетних мереж.

Задачу адаптивного управління смугами портів ВО вирішено на основі даних спостереження за поточними значеннями інтенсивності потоків пакетів на його портах у реальному часі шляхом її зведення до відомої задачі динамічного вирівнювання коефіцієнтів завантаження портів k_1, k_2, \dots, k_n , де N – кількість портів у ВО. Для вирівнювання значень коефіцієнтів в процесі адаптивного управління використано один із різновидів методу динамічного програмування – метод аналітичного конструювання регуляторів. Цей метод дозволяє враховувати тривалість перехідних процесів у динамічно керованих системах, що є суттєвим з оглядом на умови функціонування ВО.

Коефіцієнти завантаження портів зв'язано із зворотними коефіцієнтами $\eta_1, \eta_2, \dots, \eta_n$ наступними співвідношеннями:

$$k_i = I_i / \Delta F_i = 1 / \eta_i, i = 1, 2, 3, \dots, N, \quad (7)$$

де $\Delta F_1, \Delta F_2, \dots, \Delta F_i, \dots, \Delta F_N$ - ширина смуг пропускання (пропускні здатності) портів;
 $I_1, I_2, \dots, I_i, \dots, I_N$ - інтенсивність трафіка на портах ВО.

Сума ширини смуг усіх портів ВО має дорівнювати його пропускній здатності:

$$C = \Delta F_1 + \Delta F_2 + \Delta F_3 + \dots + \Delta F_N. \quad (8)$$

Уведено у розгляд вектори прямих та зворотних коефіцієнтів завантаження портів:

$$k = \begin{pmatrix} k_1 \\ k_2 \\ k_3 \end{pmatrix}, \quad \eta = \begin{pmatrix} \eta_1 \\ \eta_2 \\ \eta_3 \end{pmatrix}. \quad (9)$$

З масиву даних, що визначають змінні, утворено вектор

$$N = \begin{pmatrix} n_1 \\ n_2 \\ n_3 \end{pmatrix} \quad (10)$$

і задано матрицю регулюючих зв'язків у вигляді

$$C = \begin{pmatrix} 1 & 0 & -1 \\ -1 & 1 & 0 \\ 0 & -1 & 1 \end{pmatrix}. \quad (11)$$

Кількість стовпців у матриці має дорівнювати кількості портів ВО, а число рядків - максимально можливому числу пар портів, причому усі пари різні, але містять порти з однаковими номерами. Така розбивка на пари дозволяє встановити регулюючі зв'язки між будь-якими двома портами ВО.

Добуток вектора і матриці представлено у вигляді

$$N^T C = (n_1, n_2, n_3) \cdot \begin{pmatrix} 1 & 0 & -1 \\ -1 & 1 & 0 \\ 0 & -1 & 1 \end{pmatrix} = (n_1 - n_2, n_2 - n_3, n_3 - n_1). \quad (12)$$

Далі призначено матрицю вагових коефіцієнтів

$$P = \begin{pmatrix} p_{11} & 0 & 0 \\ 0 & p_{22} & 0 \\ 0 & 0 & p_{33} \end{pmatrix}. \quad (13)$$

За допомогою цієї матриці побудовано наступну квадратичну форму

$$N^T C P C^T N = (n_1 - n_2, n_2 - n_3, n_3 - n_1) \cdot \begin{pmatrix} p_{11} & 0 & 0 \\ 0 & p_{22} & 0 \\ 0 & 0 & p_{33} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} n_1 - n_2 \\ n_2 - n_3 \\ n_3 - n_1 \end{pmatrix} = \quad (14)$$

$$= p_{11}(n_1 - n_2)^2 + p_{22}(n_2 - n_3)^2 + p_{33}(n_3 - n_1)^2.$$

Як бачимо, ця матриця являє собою зважену суму квадратів відмінків різних змінних. Вона також є позитивно визначеною і дорівнює нулю у разі, коли усі змінні дорівнюють нулю. Ця функція придатна для аналітичного конструювання регуляторів смуг портів, а її вигляд є зручним для пошуку функції Белмана.

Задача адаптивного розподілу пропускної здатності ВО між його портами поставлена як задача вирівнювання коефіцієнтів завантаження портів з використанням методу динамічного програмування Белмана. Функціонал, що підлягає оптимізації, задано у вигляді

$$I = \int_0^{\infty} (N^T C P C^T N + \alpha N^T C Q C^T N + u^T R u) dt, \quad (15)$$

де P - $m \times m$ -мірна квадратна симетрична не негативно визначена матриця зв'язків, α - позитивна константа - множник при функції Белмана у функціоналі, що отримав назву «показник загасання функції Белмана», R - $m \times m$ -мірна симетрична позитивно визначена матриця вагових коефіцієнтів при керуваннях, Q - $m \times m$ -мірна позитивно визначена симетрична матриця квадратичної форми - функції Белмана, T - символ операції транспонування матриці. Компоненти вектора керуючих впливів u залежать від t .

Запропонована структура адаптивної системи управління розподілом пропускної здатності ВО між смугами пропускання його портів показана на рис.1.

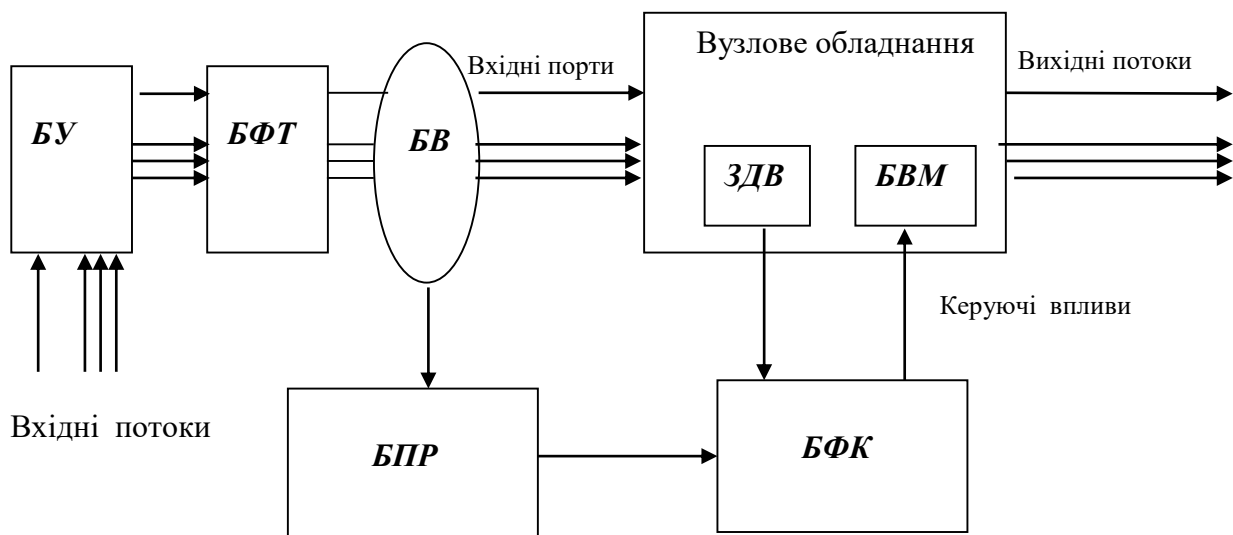


Рис.1. Структура адаптивної системи управління розподілом пропускної здатності вузлового обладнання між смугами пропускання його портів

Вузол керування складається із послідовно з'єднаних блоку вимірювання (BB) поточних

значень параметрів потоків пакетів на увідних портах ВО, блоку формування команд управління (БФК) змінами параметрів портів та блоку виконавчих механізмів (БВМ) вузлу керування розподілом пропускної здатності ВО між його портами. До складу вузлу керування входить також блок задавальника (ЗДВ) - пристрій, що фіксує поточні значення параметрів портів на кожному кроці управління та передає їх в якості вихідних даних на БФК. Окрім того, між блоком вимірювання та блоком формування команд управління уведено блок прогнозування (БПР) значень параметрів потоків пакетів.

Для зменшення помилок адаптивного управління запропоновано у ланцюг управління включити засіб прогнозування пульсацій потоків пакетів. У свою чергу, вибір методу прогнозування обумовлює необхідність оцінювання якості прогнозування за показниками, що адекватні умовам застосування вибраного методу. Для оцінювання якості прогнозування запропоновано використати два наступні показники: показник економії ширини смуг портів вузлового обладнання E_{Δ} , що відображає ступінь підвищення (у відсотках) завантаженості ВО завдяки застосуванню блоку прогнозування в системі перерозподілу пропускної здатності ВО відносно рівня завантаженості в умовах відсутності прогнозування; параметр помилки прогнозу E_r , який відображає долю помилок, що виникають під час застосування того чи іншого алгоритму прогнозування. Уведені показники дозволили надати вичерпну характеристику якості прогнозування у разі використання адаптивного методу управління смугами портів ВО.

Розроблено вимоги до засобу прогнозування тренду потоку пакетів в умовах пульсацій трафіка. Цим вимогам відповідає чимало існуючих методів короткострокового прогнозування. Однак в роботі розглянуто лише два найпростіших із них: метод прогнозування, що заснований на обчисленні похідних, та метод прогнозування з використанням експоненційного згладжування. Перший є нескладним у реалізації та у розрахунках, характеризується високим ступенем швидкодії, але не є достатньо точним (хоч у нашому випадку точність прогнозу не має визначального значення). Другий - більш точний, але якщо темпи зростання часового ряду є суттєвими, то реалізація процедури прогнозування за методом експоненційного згладжування не є ефективною.

За результатами аналізу моделі адаптивного управління розроблено структуру та відповідну технологічну схему реалізації механізму перерозподілу ширини смуг портів ВО в умовах пульсацій трафіка. Відома технологічна схема адаптивного управління не передбачає відповідного усереднення та формування пакетного трафіка. Однак за таких умов під час здійснення адаптивного управління доводиться мати справу із майже не прогнозованими швидко змінюваними пульсаціями нестационарних потоків пакетів. Запропоновані засоби усереднення та формування дозволили отримати на вводах портів ВО квазістационарні, відповідним чином згладжені тренди цих потоків. Включення цих засобів в систему адаптивного управління дозволило підсилити можливості прогнозування і, тим самим, зменшити кількість системних помилок дискретного-адаптивного управління.

У четвертому розділі надані результати експериментальних досліджень пакетного трафіку на вузлі мережі Інтернет нижнього рівня з метою визначення можливостей його моделювання самоподібним стохастичним процесом.

Чисельні спостереження за «поведінкою» потоків пакетів на портах ВО свідчать про нестационарний та пульсуючий характер змін інтенсивності цих потоків у реальному часі, що обумовлено механізмом статистичного мультиплексування індивідуальних потоків клієнтів пакетної мережі. Проте, опубліковані дані враховуючи появу та швидкий розвиток в Інтернет

нових інформаційних сервісів, потребують певних уточнень. Наприклад, якщо зовсім недавно вважалося, що пакетний трафік на вузлах Інтернет нижнього рівня має асиметричний щодо напрямків передавання характер, то за останні роки внаслідок широкого впровадження нових мультимедійних послуг характер трафіка суттєво змінився. На теперішній час, як свідчать результати наших експериментальних досліджень, з високою долею ймовірності його можливо вважати симетричним. Для досліджень обрано типовий фрагмент Інтернет нижнього рівня з приблизно однаковою часткою корпоративних та домашніх клієнтів. Здійснено комп'ютерне моделювання і на базі розробленої моделі виконана експериментальна оцінка ефективності уведених удосконалень в технологію адаптивного управління розподілом ресурсів пакетної мережі.

Узагальнена структура сегментованої мережі доступу до вузлу Інтернет Державного НДІ автоматизованих систем у будівництві (ДНДІАСБ) показана на схемі, що відображена рис. 2.

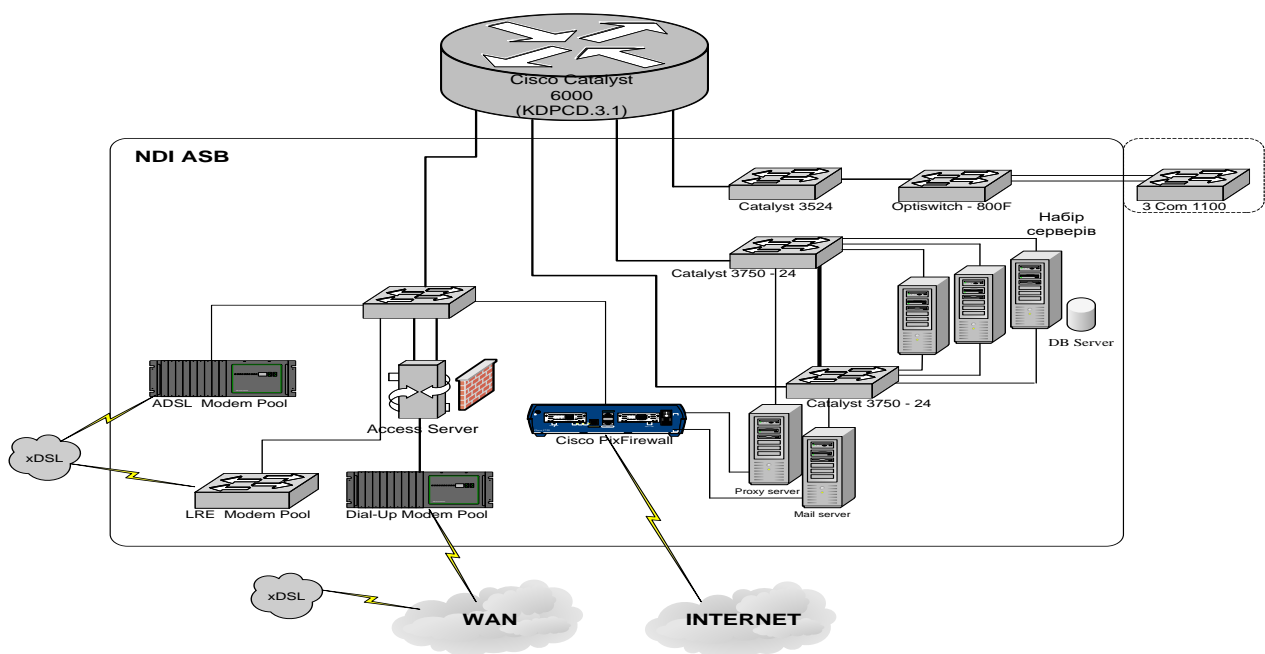


Рис. 2. Схема експерименту з отримання вибірок пакетного трафіка

Отримані погодинні вибірки даних обумовили можливість виявлення «поведінки» пакетного трафіка, що генерується у мережному сегменті ДНДІАСБ. На рис. 3 представлена добова гістограма однієї із характерних реалізацій пакетного трафіка на одному із портів вузлового маршрутизатора ДНДІАСБ. Проміжок усереднення – одна хвилина. Інші реалізації трафіка мають подібні характеристики.

Аналіз гістограми (рис. 3) дозволяє стверджувати, що вибірка даних має пульсуючий характер. Розмах сплесків іноді перевищує десятковий порядок (на гістограмі – від 10 тис.пак. до 100 тис.пак./с). Спостерігаються викиди достатньо сильної амплітуди, але сильні сплески трапляються відносно рідко і вони є короткотривалими. Середнє значення інтенсивності потоку пакетів (на гістограмі для увідного трафіка – 43,31 тис.пак./с) у порівнянні із амплітудою сплесків (на гістограмі – до 96,98 тис.пак./с) – відносно мале. Характеристики увідного та вивідного трафіка – приблизно однакові. Групування сплесків не спостерігається (що позбавляє необхідності скремблювання потоку пакетів).

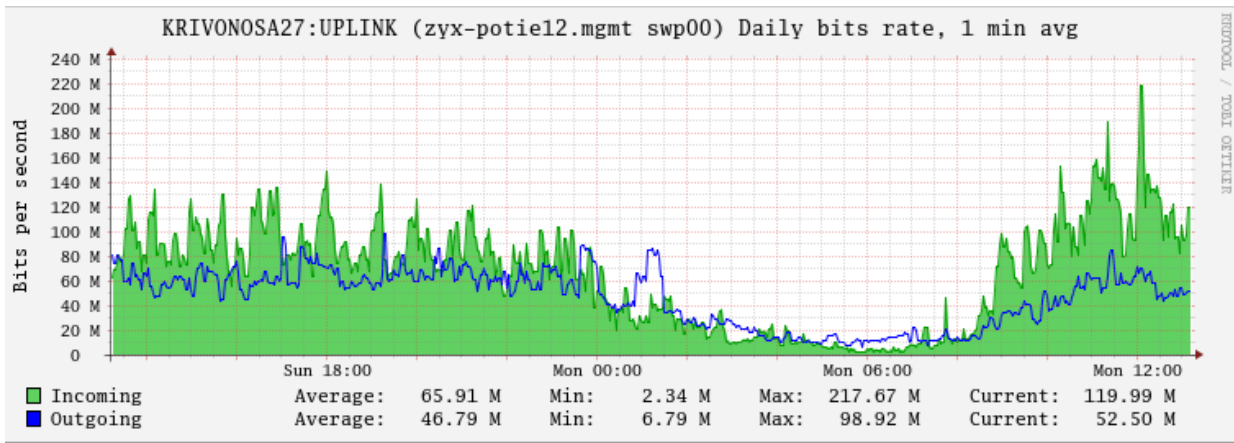


Рис. 3. Вибірка експериментально отриманих даних

На рис. 4 представлена залежність коефіцієнту автокореляції $r(k)$ отриманої вибірки від відстані між точками k цієї вибірки (зрозуміло, що у нашому випадку вибірки даних – це часові ряди, що моделюють характер змін інтенсивності потоків пакетів на портах вузлового маршрутизатора).

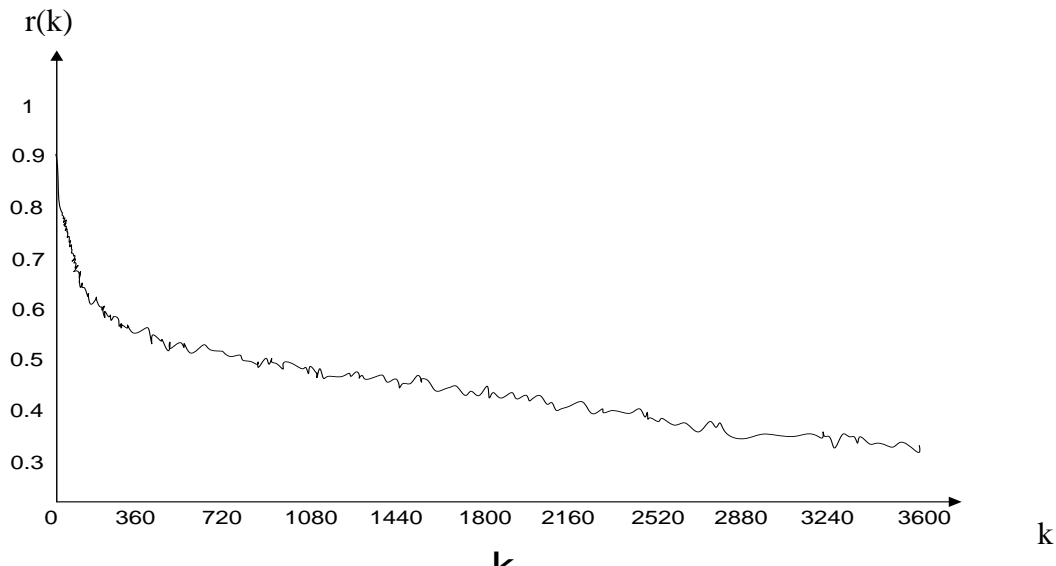


Рис. 4. Залежність коефіцієнту автокореляції отриманих реалізацій трафіка від відстані у часі між вимірними значеннями його інтенсивності

Як бачимо, коефіцієнт автокореляції даних вибірки, що розглядалась, навіть на великих проміжках кореляції не спадає нижче значення 0,37, що вказує на один із проявів можливої самоподібності трафіка. Окрім того, бачимо спорадичні сплески значень $r(k)$, що вказує на існування пульсацій трафіка.

Обраховано середні значення коефіцієнту автокореляції для вибірок, що отримані в умовах повного та неповного завантаження мережного сегменту ДНДІАСБ. Для неповного завантаження ВО характерні середні значення $r(k)$ знаходяться в районі 0,36, а для повного завантаження – в районі 0,67. У цілому, отримані вибірки вказують на схожість досліджуваного пакетного трафіка на самоподібний процес. Усе це дозволяє сподіватися на ефективність

застосування запропонованих у даній роботі процедур формування пакетного трафіка.

Результати обробки експериментально отриманих вибірок даних на основі розроблених процедур класифікації тренду (зокрема, шляхом оцінювання параметру Херста) показали, що:

1. На десяти секундних інтервалах усереднення значна частина отриманих вибірок, що представляють пульсації тренду пакетного трафіка, може бути віднесена до самоподібного процесу.

2. Інша значна частина вибірок шляхом згладжування (у т.ч., шляхом зміни інтервалу усереднення) може бути трансформована у часові ряди з ознаками самоподібного процесу.

3. Незначна частина отриманих вибірок, навіть після згладжування, не виявляла ознак самоподібного процесу.

Таким чином, у більшості випадків реальний трафік сучасних пакетних мереж може адекватно представлятися дискретним самоподібним випадковим процесом.

Показана доцільність застосування в системах адаптивного управління портами (САУП) ВО обчислювальних схем прогнозування. Розглянуто дві схеми прогнозування: з використанням похідних та згідно методу експоненціального згладжування. У цьому зв'язку визнано актуальним проведення експериментального дослідження запропонованих схем прогнозування з метою визначення ступеню їхньої придатності для застосування у САУП. Розроблено відповідне середовище прогнозування у реальному часі відповідно до схеми «менеджер/агент» і на експериментально отриманих вибірках даних здійснено прогнозування за вищевказаними обчислювальними схемами. Придатність схем прогнозування оцінювалась за показником економії смуг портів вузлового обладнання та за параметром помилок прогнозування. Показано, що обидві схеми прогнозування придатні для використання у складі САУП. Показник економії смуг оцінено у середньому на рівні $0,6 \div 0,7$ (ідеальний прогноз забезпечує значення цього показника на рівні 1,0), а параметр помилок - на рівні $6,0\% \div 12,0\%$, тобто у середньому виникає одна помилка на десять актів прогнозування.

Отримані результати теоретичних досліджень свідчать, що запропоновані удосконалення технології управління розподілом ресурсів пакетних мереж зменшують рівень системних помилок дискретно-адаптивного управління. Однак не дозволяють на кількісному рівні оцінити величину зменшення цього рівню. Тому визнано актуальним здійснити імітаційне комп'ютерне моделювання САУП і на базі розробленої моделі виконати експериментальну оцінку ефективності уведених удосконалень в САУП.

Побудовано відповідне програмне середовище, що моделює роботу САУП. Фактично у даному експерименті здійснювалося покрокове інтегрування рівняння настроювання і оцінювався параметр недооцінки смуги портів ВО для двох випадків - із включеним та виключеним блоком прогнозування. Отримані оцінки порівнювалися між собою і за результатами порівняння робився висновок щодо ступеню ефективності запропонованих удосконалень досліджуваної технології.

Результати моделювання показали, що з включенням у склад САУП блоків прогнозування підвищується якість роботи системи адаптивного перерозподілу смуг портів ВО, оскільки значення показника недооцінки смуги портів ВО на п'ятисекундних інтервалах при інтегруванні рівняння настроювання з кроком 0,0001 секунди за методом Ейлера зменшуються в середньому на $25 \div 35\%$, крім того показано, що - обчислювальна схема прогнозування за методом експоненціального згладжування дає щодо обраного показника недооцінки смуги портів ВО приблизно на 20% кращі результати у порівнянні із прогнозуванням з використанням

похідних.

У цілому результати моделювання показали, що запропоновані удосконалення дозволяють знизити рівень системних помилок дискретно-адаптивного управління у порівнянні із відомою технологічною схемою реалізації САУП.

ВИСНОВКИ ПО РОБОТІ

Основні наукові та практичні результати полягають у наступному:

1. Аналіз можливих шляхів удосконалення технологій управління розподілом ресурсів пакетних мереж показав, що найбільш ефективною з точки зору підвищення завантаженості мережного обладнання є технологія адаптивного дискретно-аналогового управління. Однак ця технологія потребує удосконалення у двох напрямках: зменшення системних помилок недооцінки смуги пропускання портів вузлового обладнання $D^{(-)}$, що призводять до втрат пакетів, та модифікації алгоритмів згладжування трафіку для формування квазістаціонарних відрізків трендів.

2. Показано, що використання механізму прогнозування у контурі дискретно-адаптивного управління забезпечує можливість зменшення помилок недооцінки $D^{(-)}$. Так що технологія управління розподілом ресурсів пакетних мереж має використовувати дискретно-адаптивний принцип управління із уведенням у контур адаптивного управління механізму прогнозування пакетного трафіка.

3. В якості моделі пакетного трафіка в задачах адаптивного управління розподілом ресурсів пакетних мереж доцільно використовувати математичне представлення дискретних асимптотично самоподібних процесів, яке у даній роботі надано уперше. *Вперше показано*, що збільшення інтервалу усереднення трафіку приводить до збільшення ступеню його самоподоби (тобто, до збільшення значень параметру Херста), що сприяє прогнозуванню його тренду, але при цьому зростає час затримок та коефіцієнт втрат пакетів. В роботі розроблено *нову процедуру* визначення інтервалу усереднення пакетного трафіку, яка, з одного боку, забезпечує максимально можливу ступінь самоподібності усередненого трафіку, а з іншого, не допускає перевищення припустимого значення затримок пакетів.

4. Розроблено *нову технологію* формування пакетного трафіка. На відміну від звичайних ця технологія забезпечує можливість перетворення нестационарних потоків пакетів, що просуваються через порти вузлового обладнання, на квазістаціонарні відрізки з проміжками стаціонарності, які узгоджені з інтервалами кроків дискретного управління.

5. Для зменшення помилок адаптивного управління запропоновано у ланцюг управління включити засіб прогнозування пульсацій потоків пакетів. Для оцінювання якості прогнозування запропоновано використати два наступні показники: показник економії ширини смуг портів вузлового обладнання E_{Δ} , що відображає ступінь підвищення завантаженості ВО завдяки застосуванню блоку прогнозування в системі перерозподілу пропускну здатності ВО відносно рівня завантаженості в умовах відсутності прогнозування; параметр помилки прогнозу E_r , який відображає долю помилок, що виникають під час застосування того чи іншого алгоритму прогнозування. Уведені показники дозволили надати вичерпну характеристику якості прогнозування у разі використання адаптивного методу управління смугами портів ВО.

6. Розроблено *нову структуру та відповідну технологічну схему реалізації* механізму перерозподілу ширини смуг портів ВО в умовах пульсацій трафіку. Запропоновані засоби усереднення та формування дозволили отримати на вводах портів ВО квазістаціонарні, відповідним чином згладжені тренди потоків пакетів. Включення цих засобів в систему адаптивного управління дозволило підсилити можливості прогнозування і, тим самим, зменшити кількість системних помилок дискретно-адаптивного управління.

7. Здійснено експериментальні дослідження характеристик тренду пакетного трафіку на вузлі Інтернет ДНДІАСБ (м.Київ). Результати обробки отриманих вибірок даних на основі розроблених процедур класифікації тренду (зокрема, шляхом оцінювання параметру Херста) показали, що у більшості випадків реальний трафік сучасних пакетних мереж може адекватно представлятися дискретним самоподібним випадковим процесом.

8. На експериментально отриманих вибірках даних здійснено прогнозування за двома обчислювальними схемами: з використанням похідних та згідно методу експоненціального згладжування. Придатність схем прогнозування оцінювалась за показником економії смуг портів ВО та за параметром помилок прогнозування. Показано, що обидві схеми прогнозування придатні для використання у складі механізму адаптивного перерозподілу ресурсів ВО. Показник економії смуг оцінено у середньому на рівні $0,6 \div 0,7$ (ідеальний прогноз забезпечує значення цього показника на рівні 1,0), а параметр помилок - на рівні $6,0\% \div 12,0\%$, тобто у середньому виникає одна помилка на десять актів прогнозування.

9. Здійснено імітаційне комп'ютерне моделювання системи адаптивного управління смугами пропускання портів вузлового обладнання (САУП). Результати моделювання показали, що:

- з включенням у склад САУП блоків прогнозування підвищується якість роботи системи адаптивного перерозподілу смуг портів ВО, оскільки значення показника недооцінки смуги портів ВО на п'ятисекундних інтервалах при інтегруванні рівняння настроювання з кроком 0.0001 секунди за методом Ейлера зменшуються в середньому на $25 \div 35\%$.

- обчислювальна схема прогнозування за методом експоненціального згладжування дає щодо обраного показника недооцінки смуги портів ВО приблизно на 20% кращі результати у порівнянні із прогнозуванням з використанням похідних.

У цілому результати моделювання показали, що запропоновані удосконалення дозволяють знизити рівень системних помилок дискретно-адаптивного управління у порівнянні із звісною технологічною схемою реалізації САУП.

ПУБЛІКАЦІ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Alomar Saleh. Adaptive Method of Increase of Package Network Load / Alomar Saleh, Alomar Mhamad, Chuprin V.M. // International Journal of Engineering Science (IJES). Bethesda (USA), 2013. – Vol. 5. – p.p. 1006 -1011. (<http://www.scirp.org/journal/eng>)

<http://dx.doi.org/10.4236/eng.2013.512122>. - *Здобувачу належить: провідна наукова ідея та відповідна технологічна схема щодо удосконалення механізму перерозподілу ресурсів пакетного комутатору між його портами; математичне представлення дискретних асимптотично самоподібних процесів; результати дослідження механізму виникнення системних помилок адаптивного управління.* – Стаття верифікована в американській науково-метричній базі ORCID. Визначення індексу наукового цитування – ORCID iD: <http://orcid.org/0000-0001-9412-7413>.

2. Alomar Mhamad. Influence of traffic prognostic mechanism on quality of adaptive control of switchboard / Alomar Mhamad, Saleh Alomar, Atef Obeidat // International Journal of Engineering Science (IJES). Bethesda (USA), 2014. – Vol. 7, no. 33. – pp. 1763 - 1776. (<http://www.scirp.org/journal/eng>) <http://dx.doi.org/10.12988/ces.2014.4797>. – *Здобувачем запропоновано спосіб та відповідна технологічна схема підвищення якості адаптивного управління параметрами вузлового обладнання пакетних мереж в умовах пульсуючого трафіка за рахунок цілеспрямованого його формування та включення у контур управління засобу прогнозування.* – Стаття верифікована в американській науково-метричній базі ORCID. Визначення індексу наукового цитування – ORCID iD: <http://orcid.org/0000-0001-9412-7413>.

3. Альомар Мхамад. Прогнозування самоподібного трафіка у пакетних мережах / М. Альомар // Вісник КНУБА. Управління розвитком складних систем: збірник наукових праць. – К., 2014. – Вип. 20. – С. 102 – 109. – *Здобувачем обрано алгоритми та розроблено схеми прогнозування самоподібного трафіка у пакетних мережах.*

4. Мхамад Ібрагім Ахмад Альомар. Дослідження методу адаптивного управління портами пакетного комутатора [Текст] / Альомар Мхамад // Молодий вчений. м. Херсон, 2014. – №12. – С.17-22. – *Здобувачем визначено функціональний зв'язок між параметрами усереднення пакетного трафіка та його статистичними характеристиками.*

5. Мхамад Ібрагім Ахмад Альомар. Збільшення корисного завантаження вузлового обладнання комп'ютерних мереж / Альомар Мхамад // Вісник КНУБА. Управління розвитком складних систем: збірник наукових праць. – К., 2015. – Вип. 21. – С.112 - 116.

- *Здобувачем запропоновано спосіб збільшення корисного навантаження на вузлове обладнання за рахунок відповідного формування пакетного трафіка.*

6. Альомар Мхамад. Удосконалення технології управління розподілом ресурсів пакетних мереж / М. Альомар // Науково-технічна конференція «Проблеми розвитку глобальних систем зв'язку, навігації, спостереження та організації повітряного руху CNS/ATM», Київ, 28-30 листопада 2012 р. – С. 45. – *Здобувачем представлені основні результати виконаної дисертаційної роботи.*

7. Вишняков В.М. Аналіз системних помилок адаптивного управління розподілом ресурсів мереж з комутацією пакетів / В.М. Вишняков, М. Альомар // X Міжнародна науково-технічна конференція «Новітні комп'ютерні технології» (NOCOTE'2012), Севастополь, 11-14 вересня 2012 р. – С.145-146. *Здобувачем запропоновано спосіб та відповідна технологічна схема формування пакетного трафіка, що забезпечує перетворення нестационарного пульсуючого потоку пакетів у послідовність квазістационарних відрізків процесу із заданими обмеженнями на максимальну величину поточних значень їхньої інтенсивності.*

8. Вишняков В.М. Збільшення корисного завантаження вузлового обладнання комп'ютерних мереж / В.М. Вишняков, М. Альомар // XI Міжнародна науково-технічна конференція «Новітні комп'ютерні технології» (NOCOTE'2013), – Кривий Ріг: ДВНЗ «Криворізький національний університет», 11-14 вересня 2014 р. – С.159 - 160.

- *Здобувачем представлені основні результати виконаної дисертаційної роботи.*

АНОТАЦІЯ

Альомар Мхамад «Удосконалення технології управління розподілом ресурсів пакетних мереж». – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.05 – Комп'ютерні системи та компоненти. – Національний авіаційний університет, Київ, 2015.

Дисертаційна робота присвячена виявленню та використанню можливостей зменшення системних помилок адаптивного управління, а також знаходженню способів перетворення нестационарних потоків пакетів у квазістационарні відрізки з метою усунення перешкод на шляху використання адаптивного управління ресурсами вузлового обладнання (ВО).

Проведено аналіз шляхів удосконалення технологій управління розподілом ресурсів пакетних мереж. Показано, що ця технологія потребує удосконалення у двох напрямках: зменшення системних помилок недооцінки смуги пропускання портів вузлового обладнання D^c), що призводять до втрат пакетів, та модифікації алгоритмів згладжування трафіка для формування квазістационарних відрізків трендів. Розроблено технологію формування пакетного

трафіка, що забезпечує можливість перетворення нестационарних потоків пакетів на квазістационарні відрізки. Розроблено структуру та відповідну технологічну схему реалізації механізму перерозподілу ширини смуг портів ВО в умовах пульсацій трафіку. Включення цих засобів в систему адаптивного управління дозволило підсилити можливості прогнозування і, тим самим, зменшити кількість системних помилок дискретного-адаптивного управління.

Ключові слова: телекомунікаційна технологія, пакетні мережі, системні помилки адаптивного керування пакетним трафіком, моделі пакетного трафіка, прогнозування та згладжування пакетного трафіка.

АННОТАЦІЯ

Альомад Мхамад «Усовершенствование технологии управления распределением ресурсов пакетных сетей». – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.05 – Компьютерные системы и компоненты. – Национальный авиационный университет, Киев, 2015.

Диссертационная работа посвящена задачам выявления и использования возможностей уменьшения системных ошибок адаптивного управления пакетным трафиком (в частности, за счёт введения в контур управления средств прогнозирования трафика). Выполнен поиск способов преобразования нестационарных потоков пакетов в квазистационарные отрезки с целью устранения основных препятствий на пути использования способа адаптивного управления ресурсами узлового оборудования (УО) на практике.

Выполнен анализ возможных путей усовершенствования технологии управления распределением ресурсов пакетных сетей. Показано, что эта технология требует улучшения в двух направлениях: уменьшения системных ошибок недооценки полосы пропускания портов узлового оборудования $D^{(-)}$, приводящих к потерям пакетов, и модификации алгоритмов сглаживания трафика для формирования квазистационарных отрезков.

В качестве модели пакетного трафика в задачах адаптивного управления распределением ресурсов пакетных сетей использовано математическое представление дискретных самоподобных процессов, которое в данной работе предложено впервые. Впервые показано, что увеличение интервала усреднения трафика приводит к увеличению степени его самоподобия (то есть, к увеличению значений параметра Херста), что способствует прогнозированию его тренда, но при этом растут задержки и коэффициент потерь пакетов. В работе разработана новая процедура определения интервала усреднения пакетного трафика, которая, с одной стороны, обеспечивает максимально возможную степень самоподобия усреднённого трафика, а с другой стороны, не допускает превышения допустимого значения задержек пакетов.

Разработана новая технология формирования пакетного трафика. Эта технология обеспечивает возможность разбиения нестационарных потоков пакетов, проходящих через порты узлового оборудования, на квазистационарные отрезки, имеющие промежутки стационарности согласованные с интервалами шагов дискретного управления.

С целью уменьшения ошибок адаптивного управления предложено в контур управления включить средство прогнозирования пульсаций пакетов. Для оценивания качества прогнозирования использованы следующие два показателя: показатель экономии полосы пропускания портов узлового оборудования (УО) E_{Δ} , отображающий степень повышения загрузки УО за счёт использования блока прогнозирования относительно уровня загрузки в

случае отсутствия средства прогнозирования; показатель ошибок прогноза E_r , отображающий долю ошибок, возникающих при использовании средства прогнозирования. Введённые показатели позволяют дать исчерпывающую характеристику качеству прогнозирования в системе адаптивного дискретно-аналогового управления.

Разработана новая структура и соответствующая технологическая схема работы механизма перераспределения полосы пропускания портов УО в условиях пульсаций трафика. Предложены средства усреднения и формирования трафика, позволяющие получать на вводах портов УО квазистационарные участки сглаженных потоков пакетов. Включение этих средств в систему адаптивного управления позволило усилить возможности прогнозирования и, тем самым, уменьшить количество системных ошибок дискретно-адаптивного управления.

На основе экспериментально полученных выборок данных выполнено прогнозирование по двум вычислительным схемам: с использованием производных и в соответствии с методом экспоненциального сглаживания. Пригодность схем прогнозирования оценивалась по показателю «экономии» полосы портов узлового оборудования и по параметру ошибок прогнозирования. Показано, что обе схемы прогнозирования пригодны для использования в составе механизма адаптивного перераспределения ресурсов УО. Показатель «экономии» полосы оценен в среднем на уровне $0,6 \div 0,7$ (идеальный прогноз обеспечивает значение этого показателя на уровне 1,0), а параметр ошибок - на уровне $6,0\% \div 12,0\%$, то есть, в среднем, возникает одна ошибка на десять актов прогнозирования.

Ключевые слова: телекоммуникационная технология, пакетные сети, системные ошибки адаптивного управления пакетным трафиком, модели пакетного трафика, прогнозирование и сглаживание пакетного трафика.

ABSTRACT

Alomar Mhamad «Improving the technology management resource allocation packet networks».
– Manuscript.

Thesis for the degree of candidate of technical sciences, speciality 05.13.05 – Computer Systems and Components. – "National aviation university", Kyiv, 2015.

Dissertation work is sanctified to the exposure and use of possibilities of reduction of system errors of adaptive control, and also to being of methods of transformation of non-stationary streams of traffic in the quasistationary segments of trends of this traffic with the aim of removal of basic obstacles on the way of the use of method of adaptive control of node equipment (BO).

The analysis of possible ways of improvement of technologies of management allocation of resources of package networks is conducted. It is shown that this technology needs an improvement two directions: reduction of system errors of underestimation of stripe of key-in of ports of key equipment of D (-), that result in the losses of packages, and modification of algorithms of smoothing of traffic for forming of quasistationary segments of trends. With an aim realization of improvements is worked out technology and corresponding facilities of forming of package traffic, that provides possibility of transformation of non-stationary streams of packages on quasistationary segments. Offer facilities of averaging and forming allowed get the quasistationary, properly smoothed out trends of streams of packages on the inputs of ports of BO. Plugging of these facilities in the system of adaptive control allowed strengthen to possibility of prognostication and, the same, to decrease the amount of system errors of discrete-adaptive management.

Keywords: telecommunication technology, package networks, system errors of adaptive control, model of package traffic, prognostication and smoothing of package traffic, a package traffic.