

*Олександр Юрійович Пермяков* (доктор технічних наук, професор)<sup>1</sup>

*Наталія Олександрівна Королюк* (кандидат технічних наук, доцент)<sup>2</sup>

*Дмитро Юрійович Голубничий* (кандидат технічних наук, доцент)<sup>3</sup>

*Петро Васильович Скоропанюк*<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Національний університет оборони України імені Івана Черняхівського, Київ, Україна

<sup>2</sup> Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків, Україна

<sup>3</sup> Харківський національний економічний університет імені Семена Кузнеця, Харків, Україна

## АЛГОРИТМ МУЛЬТИФРАКТАЛЬНОГО БАЛАНСУВАННЯ НАВАНТАЖЕННЯ ІНФОРМАЦІЙНО-ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ МЕРЕЖ СПЕЦІАЛЬНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

У статті встановлено, що основою інформаційної інфраструктури ефективної системи управління є сучасні мультисервісні телекомунікаційні мережі, ефективність функціонування яких з урахуванням досвіду операції Об'єднаних сил залежить від ступеня автоматизації та інтелектуалізації. Спостерігається стрімке зростання обсягу трафіку даних і потреб у розмірах інформаційних потоків в процесі надання видів послуг. Існуючі телекомунікаційні мережі виявилися неспроможними по обслуговуванню абонентів з заданими показниками якості, вирішенню задач по управлінню трафіком. Існуючі засоби оцінки, управління, формування трафіка, розподілу, маршрутизації і обмеження інтенсивності носять розподільчий характер. Евристичні моделі оцінки, управління трафіком, пошуку найкоротшого шляху в мережі не здатні враховувати зміну поточного навантаження мережного вузла, характеристики трафіків користувачів. Визначені вимоги до системи зв'язку, які необхідні для забезпечення якісного управління частинами та підрозділами Повітряних Сил. Проаналізовані основні фактори, що впливають на оцінку пропускної спроможності та сформовані рекомендації щодо балансування навантаженням в інформаційно-телекомунікаційній мережі Повітряних Сил. На підставі аналізу мультифрактальних властивостей вхідного трафіку запропоновано динамічний алгоритм балансування трафіку. Обґрунтована доцільність використання єдиного підходу щодо оцінки пропускної спроможності в інформаційно-телекомунікаційних мережах Повітряних Сил. Визначені шляхи щодо досягнення необхідного рівня пропускної спроможності системи зв'язку, що дозволяють в складних умовах обстановки забезпечити якість пропускної спроможності не нижчі вимагаємої. Для досягнення високих показників продуктивності, пропускної спроможності, доцільно зменшення часу відгуку в розподілених системах шляхом балансування навантаженням мережі. Це забезпечує управління трафіком і максимального використання всіх серверів в кластері. Запропонований підхід щодо балансування навантаженням повинен забезпечувати статистично рівномірний розподіл навантаження на серверах, високі показники продуктивності, пропускної спроможності, відмовостійкості, низький час відгуку. Алгоритм балансування повинен розподіляти запити по серверам так, щоб відхилення завантаженості серверів від середнього значення було мінімальним.

**Ключові слова:** оцінка пропускної спроможності мережі; інформаційно-телекомунікаційна мережа; балансування навантаженням.

### Вступ

**Постановка проблеми.** Досвід збройних конфліктів останніх десятиліть, в тому числі на території Донецької та Луганської областей України, свідчить про зростання складності та динамічності обстановки в ході підготовки та ведення бойових дій. Це обумовлює підвищення значення боротьби у повітряному просторі для досягнення успіху не лише в окремих операціях збройних сил, але й у війні в цілому [1, 2]. Досягти цього можливо тільки шляхом створення ефективної системи управління, що функціонує в

єдиному інфокомунікаційному просторі, здатної в реальному масштабі часу обробляти інформацію, виробляти управляючі дії (доводити оперативну інформацію, накази і команди до бойових платформ). Основою інформаційної інфраструктури є сучасні мультисервісні телекомунікаційні мережі, ефективність функціонування яких з урахуванням досвіду ООС та АТО залежить від ступеня автоматизації та інтелектуалізації, що забезпечує максимально можливу ефективність системи телекомунікації за рахунок раціонального (оптимального)

використання мережних ресурсів.

Створення сучасної інформаційно-телекомунікаційної мережі (ІТКМ) Повітряних Сил (ПС) Збройних Сил здійснюється в рамках концепції NGN (Next Generation Network), що дозволяє переносити різномірну за складом інформацію з наданням широкого спектру послуг із заданими значеннями обраних показників якості обслуговування. Пропускна спроможність ІТМ Повітряних Сил, побудованих за принципами NGN, багато в чому залежить від ефективності реалізації функцій системи управління мережними ресурсами, до числа яких, відносяться засоби управління, оцінки трафіка.

На сьогоднішній час спостерігається стрімке зростання обсягу трафіку даних і значне зростання потреб у розмірах інформаційних потоків в процесі надання видів послуг. Це призводить до того, що існуючі телекомунікаційні мережі виявилися неспроможними або підійшли до межі своїх можливостей по обслуговуванню абонентів з заданими показниками якості обслуговування, вирішення задач управління трафіком практично не узгоджені. Існуючі засоби оцінки, управління трафіком, що відповідають за його формування, розподіл (маршрутизацію) і обмеження інтенсивності, носять розподільчий характер. Евристичні моделі оцінки, управління трафіком (пошуку найкоротшого шляху в мережі, корзини маркерів і дірявого відра) не здатні врахувати зміну поточного навантаження мережного вузла, характеристики трафіків користувачів.

В зв'язку з цим виникає актуальна задача по розробці підходу щодо оцінки пропускної спроможності ІТКМ Повітряних Сил та формування рекомендацій щодо балансування навантаженням під час передачі інформації.

### Аналіз останніх досліджень і публікацій.

В роботі [3] запропоновані основні концептуальні підходи щодо побудови системи управління мережами зв'язку військового призначення. Визначені поняття предметної області, цілі функціонування системи управління, обґрунтовані принципи її побудови, структура та функції, показники та критерії ефективності. В монографії [4] розкриті системні проблеми та способи їх вирішення при організації управління сучасними телекомунікаційними мережами. Розглянуті основні положення по організації автоматизованого управління зв'язком, приводиться її архітектура та основні задачі мережевого управління. Представлені моделі мереж зв'язку, приведені поняття, які визначають ефективність управління мережами та способи їх оцінки, методи та алгоритми рішення задач управління комутаційним обладнанням та телекомунікаційними мережами. В роботі [5] розглядаються найбільш відомі системи моніторингу, оцінки пропускної спроможності телекомунікаційних мереж, представляється їх порівняльний аналіз, формулюються загальні вимоги та синтезується загальна архітектура

подібних систем. Запропоновані рішення не здатні прогнозувати стан, оцінювати пропускну спроможність ІТКМ Повітряних Сил, тому в такі системи необхідно включати додаткові модулі обробки статистичної інформації.

Таким чином проведений аналіз основних публікацій показав, що єдиного підходу щодо оцінки пропускної спроможності в ІТКМ Повітряних Сил не існує.

**Мета статті.** Обґрунтування єдиного підходу щодо оцінки пропускної спроможності в ІТКМ Повітряних Сил та формування рекомендацій щодо балансування навантаженням мережі під час передачі інформації.

### Виклад основного матеріалу дослідження

Аналіз показав, що існує багато програм, які здійснюють моніторинг та контроль мережевого трафіку: VMExtreme, BWMeter, Bandwidth Monitor Pro, Wireshark, CommTraffic та багато інших. Важливою задачею при моніторингу трафіку є визначення пропускної спроможності мережі, яка показує максимальний об'єм інформації переданий за одиницю часу. Фактично, пропускна спроможність показує швидкість виконання внутрішніх мережевих операцій (передача пакетів з даними через всі комунікаційні вузли). Критерії, що оцінюють пропускну здатність мережі, добре відображають якість виконання мережею основних функцій та відрізняються обраною одиницею виміру кількості переданої інформації, характером даних, кількістю точок вимірювання переданого трафіку, способом усереднення результатів.

Пропускна спроможність можна вимірювати між двома вузлами, точками мережі, наприклад, між клієнтським комп'ютером і сервером, між вхідними та вихідними портами маршрутизатора. Для аналізу і налаштування мережі корисно знати дані про пропускну спроможність окремих елементів мережі. В мережах, де дані до вузла призначення зазвичай проходять через кілька транзитних проміжних етапів обробки, доцільно в якості критерію ефективності розглядати пропускну спроможність окремого проміжного елемента мережі.

Знання загальної пропускної спроможності між двома вузлами не може дати повної інформації про можливі шляхи її підвищення, так із загальної цифри не можна зрозуміти який з проміжних етапів обробки пакетів в найбільшою мірою гальмує роботу мережі. Дані про пропускну спроможність окремих елементів мережі можуть бути корисні для прийняття рішення про способи її оптимізації. Тоді має сенс визначити загальну пропускну спроможність мережі як середню кількість інформації, переданої між усіма вузлами мережі в одиницю часу. Для підвищення пропускної спроможності складеного шляху необхідно звернути увагу на самі повільні елементи – в більшості випадків таким елементом,

швидше за все, буде маршрутизатор. Слід підкреслити, якщо переданий по складеному шляху трафік буде мати середню інтенсивність, яка перевищує середню пропускну спроможність самого повільного елемента шляху, то черга пакетів до цього елемента буде рости теоретично до нескінченності, а практично – до тих пір, поки не заповниться його буферна пам'ять, а потім пакети просто почнуть відкидатися і втрачатися.

До основних факторів, що приводять до підвищення ролі оцінки пропускну спроможності та формування рекомендацій щодо балансування навантаженням в ІТКМ Повітряних Сил, відносяться:

- ускладнення мереж зв'язку та технологічна несумісність окремих підмереж ІТКМ, обумовлена їхньою неоднорідністю за рахунок мультиінтеграції та гібридизації сучасних телекомунікаційних технологій: ATM (Asynchronous Transfer Mode), IP (Internet Protocol), FrameRelay, X.25, SDH (Synchronous Digital Hierarchy), PDH (Plesiochronous Digital Hierarchy);

- необхідність підтримки неоднорідного, як правило, апаратно та протокольно несумісного телекомунікаційного середовища на базі обладнання зв'язку різних фірм-виробників – Multivendorenvironment (Lucent, Avaya, Nortel, Ericsson, Siemens, Alcatel, Tellabs, Memotec, ECI, RAD, Cisco, Newbridge тощо), що безпосередньо диктується новими економічними умовами, в основі яких – конкуренція та відкритість;

- мультисервісна підтримка та підвищення вимог користувачів до кількості, змісту, а головне – якості пропонованих послуг;

- можливість деградації структури системи через низьку експлуатаційну надійність мережних елементів або наявності антагоністичного зовнішнього впливу;

- непередбачувана, як правило стрибкоподібна, зміна абонентського навантаження на вузлі транспортної мережі ІТКМ від мереж доступу;

- «несанкціонована» зміна параметрів продуктивності мережних вузлів і пропускну здатності трактів передачі, обумовлена збоями мережного програмного та апаратного забезпечення.

Урахування вищенаведених факторів призводить до необхідності перегляду принципів і підходів щодо оцінки пропускну спроможності ІТКМ Повітряних Сил.

Існують декілька альтернатив виявлення/уникнення перевантаження: контроль наповненості та середнього часу зайнятості вхідних буферів, найбільш прийнятний при розділених вхідних чергах; контроль використання вихідних ліній; аналіз кругових затримок пакетів; постійне відстежування стану мережі, використовуючи певну схему дослідження. В даному випадку пропускну спроможність ІТКМ Повітряних Сил дозволяє оцінити можливість мережі справлятися з піковими навантаженнями,

характерними для особливих періодів роботи мережі.

В даний час активно впроваджуються технології IP-мереж, що використовують пакетну передачу даних, яка забезпечує ефективне завантаження каналів зв'язку, однак при управлінні вимагають використання складних протоколів, на обробку яких потрібно процесорний час комутаційного обладнання. Комутаційне обладнання характеризується двома показниками пропускну спроможності: швидкість інтерфейсів в бітах на секунду і продуктивність обладнання – в пакетах в секунду ("Mpps").

Результати аналізу продуктивності комутаційного обладнання спрямовані на користувача, не враховують можливість роботи обладнання протягом довгого часу. Наприклад, виробники мережевого обладнання Cisco, Juniper та HP в характеристиках приводять продуктивність в Mpps, але вимірювання продуктивності виконано тільки для одного розміру пакета (найчастіше 64 байт) і без використання мережевого функціоналу (Static routing, ACL, NAT). Для первинної оцінки максимальної продуктивності використовується формула (1), але вона не враховує логіки обробки пакетів.

$$S = \frac{B}{8 \cdot b}, \quad (1)$$

де S – продуктивність, Мп/с;

B – трафік, Мбіт/с;

b – середня довжина пакетів, байт.

При обробці кожного IP-пакета необхідно вирішити наступні завдання: розбір IP-заголовка з визначенням IP-адреси одержувача і відправника, протоколів IV рівня і номерів портів; перевірка в списках доступу адреси відправника і одержувача, протоколів і номерів портів; перевірка адрес в NAT-таблиці для прийняття рішення про трансляцію адрес і портів; перевірка адреси призначення по таблиці маршрутизації для прийняття рішення про шляхи доставки; перетворення адрес III рівня в адреси II рівня в мережах загального доступу; заміна IP-адрес, внесення в NAT-таблицю, запуск таймерів на кожен запис; перепакування IP-пакетів, формування кадрів каналних технологій; аналіз отриманих та встановлення своїх міток QoS, постановка в пріоритет черг. Ці специфічні завдання для обробки кадрів не враховують загальносистемних завдань: ведення журналу кількості прийнятих і переданих даних на кожному інтерфейсі, управління трафіком, розв'язка колізій. При цьому, як правило, заявлена виробником пропускну спроможність значно перевищує справжню.

Тому виникає необхідність розрахунку мережі (завантаження ліній, комутаційних вузлів) для подальшого застосування результатів в обчисленнях продуктивності обладнання, де аргументами є: середній розмір пакетів; метод

аналізу заголовка пакетів (протокол); розміри адресної таблиці, списків доступу, таблиці трансляції адрес. Для дослідження продуктивності обладнання, пропускної спроможності запропонована модель (рис. 1). Генератор пакетів формує трафік, який надходить на один з портів комутаційного пристрою, з іншого порту трафік фіксується аналізатором. Після чого вхідний (трафік А) і вихідний (трафік Б) трафіки порівнюються. Для детального аналізу продуктивності ставиться експеримент з різною довжиною пакетів та виконується на різному устаткуванні, виявляється залежність

продуктивності, яка буде основою для розрахунку.

Розрахунок необхідної пропускної спроможності в пакетних мережах досить складний і навряд чи дозволить отримати точні результати. Це пов'язано з величезною кількістю чинників (особливо властивих сучасним мультисервісним мереж), які досить складно передбачити. У IP-мережах загальна інфраструктура, як правило, використовується безліччю додатків, кожне з яких може використовувати власну, відмінну від інших модель трафіку.

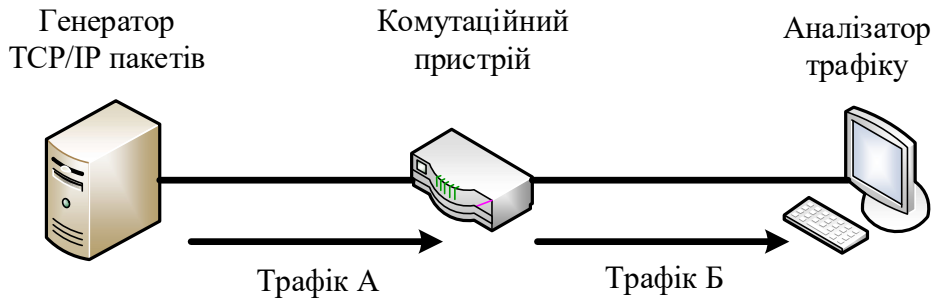


Рисунок 1. Модель мережі для дослідження продуктивності мережевого обладнання

Причому в рамках одного сеансу трафік, що передається в прямому напрямку, може відрізнитися від трафіку, що проходить в зворотному напрямку. Для досягнення високих показників продуктивності, пропускної спроможності, доцільно зменшити час відгуку в розподілених системах шляхом балансування навантаження мережі. Це забезпечує управління трафіком для розподілу навантаження і/або максимального використання всіх серверів в кластері. Механізм збору інформації про завантаженість системи визначає джерело інформації, час збору даних про завантаженість, місце зберігання інформації.

Існує кілька класів механізмів збору інформації. По-перше, збір даних за потребою. В даному класі використовуються розподілені алгоритми, які збирають інформацію про завантаженість, коли вузол потребує балансування навантаженням. По-друге, періодичний збір даних. Алгоритми даного класу можуть бути як централізованими, так і розподіленими. Залежно від зібраних даних, алгоритм ініціює балансування навантаженням. По-третє, збір даних щодо зміни стану. У системах, що реалізують алгоритми даного класу, вузли самі поширюють інформацію про зміну завантаженості при зміні внутрішнього стану.

Ефективність алгоритмів балансування навантаженням визначається декількома показниками:

пропускна спроможність використовується для оцінки загальної кількості завдань, які успішно завершені. Висока пропускна спроможність необхідна для загальної продуктивності системи;

час міграції визначається як загальний час переходу завдання від одного вузла або ресурсу до іншого. Воно повинно бути зведене до мінімуму;

час відгуку вимірюється як інтервал часу між відправленням запиту й одержанням відповіді. Воно повинно бути зведене до мінімуму, щоб підвищити загальну продуктивність;

відмовостійкість вимірює здатність алгоритму рівномірно виконувати балансування навантаженням в разі будь-якого збою. Хороший алгоритм балансування навантаженням повинен, бути нечутливим до несправностей;

витрати пов'язані з роботою будь-якого алгоритму балансування навантаженням і вказують на вартість процесів, що беруть участь у вирішенні задачі, перерозподілі процесів. Вони повинні бути якомога менше;

використання ресурсів використовується для забезпечення належного використання всіх ресурсів, які включені в систему. Даний показник повинен бути оптимізований для ефективності алгоритму балансування навантаженням;

масштабованість – здатність алгоритму виконувати рівномірну балансування навантаженням в системі відповідно до вимог при збільшенні числа вузлів. Кращим є алгоритм з високою масштабованістю;

продуктивність може бути визначена як ефективність системи. Даний показник повинен, бути поліпшений при розумних витратах, наприклад, зменшуючи час відгуку зберігаючи допустимі затримки.

Система балансування навантаженням складається з групи серверів і балансувальника навантаження (рис. 2). У кожен момент на

балансувальник надходить трафік інтенсивністю, що відноситься до класу обслуговування, який необхідно доставити на сервер для обробки, не перевищуючи заданих максимально допустимих значень затримки максимально допустимого відсотка втрат в залежності від їх поточного завантаження і реальної пропускної спроможності в конкретний момент часу. Балансувальник навантаження і сервера з'єднані між собою двосторонніми мережевими зв'язками з максимальною пропускною здатністю, які мають доступну пропускну спроможність момент часу.

Моніторинг стану серверів і вільної пропускної спроможності можна здійснити трьома способами: після кожного запиту, що поступив; в фіксовані проміжки часу, які визначаються статичним алгоритмом; в нефіксовані проміжки часу, які визначаються динамічним алгоритмом. На підставі аналізу мультифрактальних властивостей вхідного трафіку запропоновано динамічний алгоритм балансування трафіку, який має наступні етапи роботи.

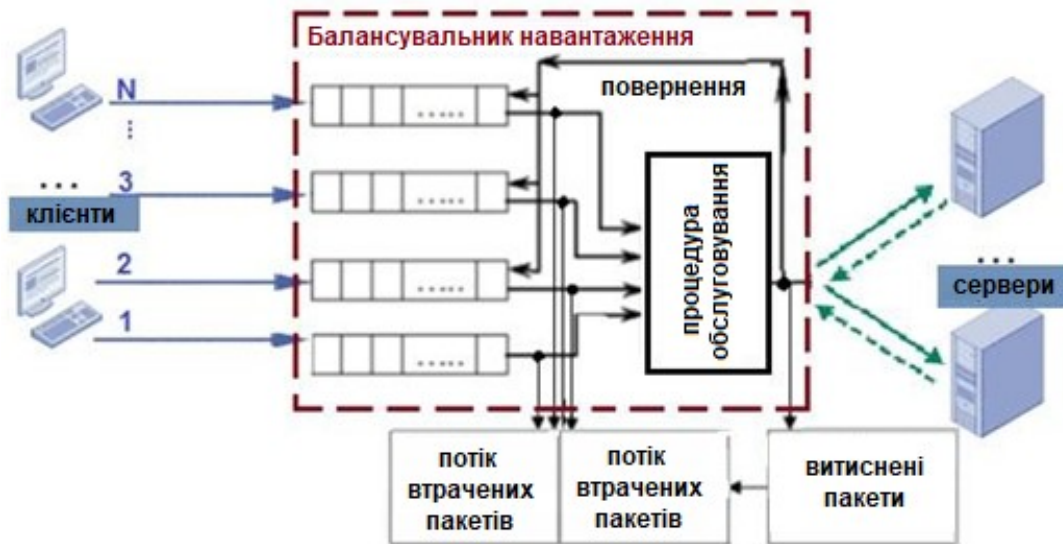


Рисунок 2. Система балансування навантаженням ІТКМ

1. У трафіку, що надходить на вхід комутатора, виділяється вікно фіксованої довжини, в якому визначаються основні фрактальні та статистичні характеристики вхідних потоків.

2. Проводиться збір і аналіз статистичної інформації доступної пропускної здатності  $NET_i(t)$ , стану серверів:  $CPU_i(t)$  – обсяг вільного ЦПП і  $RAM_i(t)$  – обсяг вільної оперативної пам'яті і-го сервера в момент часу  $t$  відповідно.

3. На основі мультифрактальних властивостей та інтенсивностей потоків обчислюється необхідна кількість ресурсів для кожного  $q$ -го класу обслуговування трафіку.

4. Проводиться розрахунок розподілу потоків по вузлах мережі з урахуванням класифікації трафіку і завантаженості серверів і каналів зв'язку. На основі отриманих даних розраховується завантаженість серверів на наступному кроці.

5. Розподіляється трафік по серверам в межах кожного класу потоку.

6. Проводиться розподіл недооцінки розрахованого кількості ресурсів  $NET_i(t)$ ,  $CPU_i(t)$ ,  $RAM_i(t)$ .

7. Проводиться збір даних про завантаженість серверів і передачу їх в систему балансування навантаженням для розрахунку нового розподілу потоків.

8. Пересувається вікно вперед на задану

величину зсуву і здійснюється аналіз трафіку і прогноз наступного значення завантаженості серверів. Запропонований підхід балансування навантаженням повинен забезпечувати статистично рівномірний розподіл навантаження на серверах, високі показники продуктивності, пропускної спроможності, відмовостійкості (автоматично виявляючи збої вузлів і перерозподіляючи потік даних серед решти) і низький час відгуку, кількість службової інформації, кількість втрачених даних. Алгоритм балансування повинен розподіляти запити по серверам так, щоб відхилення завантаженості серверів від середнього значення було мінімальним.

### Висновки й перспективи подальших досліджень

Таким чином, досвід проведення АТО та ООС на Сході країни показав необхідність розвитку і удосконалювання систем управління та зв'язку до рівня країн-членів НАТО. Розвиток і застосування інформаційних і телекомунікаційних технологій в довгостроковій перспективі докорінно змінять структуру і принципи побудови системи зв'язку, організаційних структур військових частин і підрозділів зв'язку. Це обґрунтовує доцільність використання єдиного підходу щодо оцінки пропускної спроможності в ІТКМ Повітряних Сил

та формування рекомендацій щодо балансування навантаження мережі під час передачі інформації.

Визначено, що пропускна спроможність системи зв'язку повинна бути такою, щоб в самих складних умовах обстановки конкретне значення показника якості пропускної спроможності було не нижчі вимагаемого. Необхідний рівень пропускної спроможності досягається: організацією необхідної кількості ліній зв'язку між вузлами та їх ефективним використанням;

### Література

**1. Мажара І.П.** Інформаційна модель допуску осіб групи керівництва польотами до управління повітряним рухом / І.П. Мажара, О.І. Тимочко, В.Г. Чернов // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. – 2018. – № 1(30). – С. 24-29. **2. Скрынникова Н.С.** Зарубежный опыт борьбы с терроризмом: механизмы противодействия / Н. С. Скрынникова // Научный вестник Ужгородського національного університету. – 2014. – Вип. 28. – Т. 3. – С. 37-40. **3. Бовда Е.М.** Концептуальні основи синтезу автоматизованої системи управління зв'язком військового призначення / Е.М. Бовда, Ю.А. Плуговий, В.А. Романюк // Збірник наукових праць ВІПТ. – 2016. – № 1 – С. 6 – 18. **4. Буренин А.Н.** Теоретические основы управления современными телекоммуникационными сетями: / А.Н. Буренин, В.И. Курносое // Наука. - 2011. – С. 18 – 20. **5. Высочина О.С.** Анализ систем мониторинга телекоммуникационных сетей / О.С. Высочина, С.И. Шматов, Салман Амер Мухсин // ЗНТУ. Научный журнал. Радиоэлектроника, информатика, управление. - 2010. – № 2 – С. 139 – 142. **6. Романюк В.А.** Мережі MANET. Основа створення перспективної системи зв'язку тактичної ланки управління / В.А. Романюк, О.Я. Сова // Комунікації і мережі телекомунікацій. – К.: МО, 2016. – 52 с. **7. Sahandi R.,** (2010) “Wireless technology in the evolution of patient monitoring on general hospital wards” Journal of medical engineering & technology, №34, pp. 51–63. **8. Beyer B.** (2016), “Site Reliability Engineering: How Google Runs Production Systems”, O'Reilly Media, Inc.– 44 p. **9. Stefanov, K.,** (2015), “Dynamically Reconfigurable Distributed Modular Monitoring System for Supercomputers (DiMMon)”, Procedia Computer Science, №66, pp. 625–634. **10. Bronk, C.** (2013), “The cyber attack on Saudi Aramco”, Survival, №55 (2), pp. 81–96. **11. Кноровá, М.,** (2014), “The Third World War? In The Cyberspace. Cyber Warfare in the Middle East”, Acta Informatica Pragensia, №3 (1), pp. 23–32. **12. Пермяков О.Ю.** Інформаційно – телекомунікаційні технології і сучасна збройна боротьба / О.Ю. Пермяков, Н.О. Королюк // Науково-технічна

високою оперативністю розподілу каналів зв'язку та групових трактів; застосуванням на пунктах управління засобів автоматизації передачі інформації; введенням пріоритету на представлення зв'язку; чіткою організацією оперативно-технічної служби та постійним контролем за проходженням інформації на вузлі зв'язку.

Оцінювання ефективності запропонованих підходів планується у подальших дослідженнях.

конференція молодих учених «Актуальні проблеми інформаційних технологій» (20-21 листопада 2018 року). - Київ: НУОУ, 2018. - С. 5-6. **13. Korolyuk, N.** (2017), An approach to prediction of the telecommunication network quality parameters under the conditions of non-stochastic uncertainty Telecommunications and Radio Engineering, issue 11, pp. 1027-1032. **14. Korolyuk, N.** (2014) , “Hybrid model of knowledge for situation recognition in airspace”, Automatic Control and Computer Sciences, Vol. 49, pp.16-25. **15. Alimpiev, A.** (2017), “Selecting a model of unmanned aerial vehicle to accept it for military purposes with regard to expert data” P. Berdnik, N. Korolyuk, O. Korshets, M. Pavlenko, Eastern-European Journal of Enterprise Technologies ISSN 1729-3774. - №1/9 (85 pp 53-60. **16. Alimpiev, A., Vatan, M.** (2016). The result of analyses of great classes unmanned aircraft for evaluation the opportunity of joint employment with army aviation. [on line]. Weapons systems and military equipment, vol. 1, p. 61. **17. Saaty, T.** (2009). Structures in decision making: On the subjective geometry of hierarchies and networks [on line]. European Journal of Operational Research, vol. 199, is. 3, p. 867–872. **18. Permyakov O.Yu.** and Korolyuk, N.O. (2018), The role and place of information technology in the system of state operational military management from the point of view of modern ideas. Third international scientific and practical conference on the use of space and geoinformation systems in the interests of national security and defense April 5, 2018], NUOU, Kyiv, pp. 81-84. **19. Permyakov O. Yu.** and Korolyuk, N.O. (2018), Information and Telecommunication Technologies and Modern Armed Forces Scientific and Technical Conference of Young Learners “Actual Problems of Information Technologies”, November 20-21, 2018], NUOU, Kyiv, 88 p. **20. Korolyuk N.O.,** Korolov, R.V. and Korshecz, O.A. (2017), The procedure for formalizing data used to describe the process of controlling the movement of air objects, Communication, radio engineering, acoustics and navigation, No. 4(53), pp. 103-106.

## АЛГОРИТМ МУЛЬТИФРАКТАЛЬНОГО БАЛАНСИРОВАНИЯ НАГРУЗКИ ИНФОРМАЦИОННО-ТЕЛЕКОМУНИКАЦИОННЫХ СЕТЕЙ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

*Александр Юрьевич Пермяков (доктор технических наук, профессор)<sup>1</sup>*

*Наталья Александровна Королюк (кандидат технических наук, доцент)<sup>2</sup>*

*Дмитрий Юрьевич Голубничий (кандидат технических наук, доцент)<sup>3</sup>*

*Петр Васильевич Скоропанюк<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> *Национальный университет обороны Украины имени Ивана Черняховского, Киев*

<sup>2</sup> *Харьковский национальный университет Воздушных Сил имени Ивана Кожедуба, Харьков*

<sup>3</sup> *Харьковский национальный экономический университет имени Симона Кузнеця, Харьков*

В статье установлено, что основой информационной инфраструктуры эффективной системы управления являются современные мультисервисные телекоммуникационные сети, эффективность функционирования которых с учетом опыта операции Объединенных сил зависит от степени автоматизации и интеллектуализации. Наблюдается стремительный рост объема трафика данных и потребностей в размерах информационных потоков в процессе предоставления видов услуг. Существующие телекоммуникационные сети оказались несостоятельными по обслуживанию абонентов с заданными показателями качества, решению задач по управлению трафиком. Существующие средства оценки, управления, формирования трафика, распределения, маршрутизации и ограничения интенсивности носят распределительный характер. Эвристические модели оценки, управления трафиком, поиска кратчайшего пути в сети не способны учитывать изменение текущей нагрузки сетевого узла, характеристики трафиков пользователей. Определены требования к системе связи, которые необходимы для обеспечения качественного управления частями и подразделениями Воздушных Сил. Проанализированы основные факторы, влияющие на оценку пропускной способности и сформированы рекомендации по балансировки нагрузкой в информационно-телекоммуникационной сети Воздушных Сил. На основании анализа мультифрактальных свойств входящего трафика предложено динамический алгоритм балансировки трафика. Обоснованность целесообразность использования единого подхода в оценке пропускной способности в информационно-телекоммуникационных сетях Воздушных Сил. Определены пути по достижению необходимого уровня пропускной способности системы связи, позволяющие в сложных условиях обстановки обеспечить качество пропускной способности не ниже, вимагаемой. Для достижения высоких показателей производительности, пропускной способности, целесообразно уменьшение времени отклика в распределенных системах путем балансирования нагрузкой сети. Это обеспечивает управление трафиком и максимального использования всех серверов в кластере. Предложенный подход к балансировки нагрузкой должен обеспечивать статистически равномерное распределение нагрузки на серверах, высокие показатели производительности, пропускной способности, отказоустойчивости, низкое время отклика. Алгоритм балансировки должен распределять запросы по серверам так, чтобы отклонение загруженности серверов среднего значения было минимальным.

**Ключевые слова:** оценка пропускной способности сети; информационно-телекоммуникационная сеть; балансировки нагрузкой.

## ALGORITHM OF MULTIFRACTAL LOADING BALANCE OF SPECIAL PURPOSE INFORMATION TELECOMMUNICATIONS NETWORKS

*Oleksandr Permiakov (Doctor of Technical Sciences, Professor)<sup>1</sup>*

*Natalia Korolyuk (Candidate of Technical Sciences, Associate Professor)<sup>2</sup>*

*Dmitro Golubnychiy (Candidate of Technical Sciences, Associate Professor)<sup>3</sup>*

*Petro Skoropaniuk<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> *National Defence University of Ukraine named after Ivan Cherniakhovskiy, Kyiv, Ukraine*

<sup>2</sup> *Kharkiv national Air Forces University named after I. Kozhedub, Kharkiv, Ukraine*

<sup>3</sup> *Kharkiv National University of Economics named after Simon Kuznets, Kharkiv, Ukraine*

The article establishes that the basis of the information infrastructure of an effective control system is modern multiservice telecommunication networks, the effectiveness of which, taking into account the experience of the operation of the Joint Forces, depends on the degree of automation and intellectualization. There is a rapid growth in the volume of data traffic and the demand for the size of information flows in the process of providing types of services. The existing telecommunication networks turned out to be insolvent in servicing subscribers with the specified quality indicators, solving traffic management problems. The existing tools for assessing, managing, shaping traffic, distribution, routing and rate limiting are distributional in nature. Heuristic models of assessment, traffic management, and finding the shortest path in the network are not able to take into account changes in the current load of a network node, characteristics of user traffic. The requirements for the communication system, which are necessary to ensure high-quality control of units and subdivisions of the Air Force, have been determined. The main factors influencing the assessment of the throughput are analyzed and recommendations for balancing the load in the information and telecommunications network of the Air Force are formulated. Based on the analysis of multifractal properties of incoming traffic, a dynamic traffic balancing algorithm is proposed. Substantiated expediency of using a unified approach in assessing the capacity in the information and telecommunication networks of the Air Force. The ways to achieve the required level of communication system throughput have been determined, allowing in difficult conditions to ensure the quality of the throughput not lower than that of the communication system. To achieve high performance, throughput, it is advisable to reduce the response time in distributed systems by balancing the network load. This ensures traffic management and maximum utilization of all servers in the cluster. The proposed approach to load balancing



should provide statistically even distribution of the load on the servers, high performance, throughput, fault tolerance, and low response time. The balancing algorithm should distribute requests among servers so that the deviation of the average server load is minimal.

**Keywords:** network bandwidth assessment; information and telecommunications network; load balancing

### References

1. **Mazhara, I.P.**, Timochko, O.I. and Chernov, V.G. (2018), "Informacijna model dopusku osib grupi kerivnictva pol'otami do upravlinnya povitryanim ruhom", [Information model of the admission of persons of group of the management of flights to air traffic control] Science and technology of the Air Forces of the Combat Forces of Ukraine, No. 1(30), pp. 24-29.
2. **Skrynnikova, N. S.** (2014), "Zarubezhnyj opyt bor'by s terrorizmom: mekhanizmy protivodejstviya", [Foreign Experience in Combating Terrorism: Mechanisms of Resistance], Scientific Bulletin of Uzhgorod National University, No. 28 (3), pp. 37-40.
3. **Bovda, Y.M.** Plugovoy, Y.A., Romanyuk, V.A. (2016), "Kontseptual'nyye osnovy sinteza avtomatizirovannoy sistemy upravleniya svyaz'yu voyennogo naznacheniya", [Conceptual bases for synthesis of an automated military communications control system], Collection of scientific works of VITI, № 1, pp. 6 - 18.
4. **Burenin, A.N.**, Kurnosov, V.I. (2011), "Teoreticheskiye osnovy upravleniya sovremennymi telekommunikatsionnymi setyami" [Theoretical foundations of the management of modern telecommunication networks], Nauka, pp.18 – 20.
5. **Vysochyna, O.S.**, Shmatkov, S.Y., Salman, A. M. (2010), "Analyze system monitorynha telekommunikatsionnykh setey" [Analysis of monitoring systems for telecommunication networks], ZNTU. Scientific journal. Radio electronics, computer science, management, № 2, pp.139 – 142.
6. **Romanyuk, V.A.**, Sova, O.Y. (2016), "Merezhi MANET. Osnova stvorenniya perspektivnoyi systemy zv'yazku taktychnoyi lanky upravlinnya" [MANET Networks. The basis for the creation of a promising tactical link communication system], Ministry of Defence, Kiev, 52 p.
7. **Sahandi R.**, (2010) "Wireless technology in the evolution of patient monitoring on general hospital wards" Journal of medical engineering & technology, №34, pp. 51–63.
8. **Beyer B.** (2016), "Site Reliability Engineering: How Google Runs Production Systems", O'Reilly Media, Inc.– 44 p.
9. **Stefanov, K.**, (2015), "Dynamically Reconfigurable Distributed Modular Monitoring System for Supercomputers (DiMMon)", Procedia Computer Science, №66, pp. 625–634.
10. **Bronk, C.** (2013), "The cyber attack on Saudi Aramco", Survival, №55 (2), pp. 81–96.
11. **Knopová, M.**, (2014), "The Third World War? In The Cyberspace. Cyber Warfare in the Middle East", Acta Informatica Pragensia, №3 (1), pp. 23–32.
12. **Permyakov, O.**, Korolyuk, N. (2018), "Informatsiyno – telekomunikatsiyni tekhnolohiyi i suchasna zbroyna borot'ba", Scientific and technical conference of young scientists "Actual problems of information technologies", Kiev, MD, pp. 5-6.
13. **Korolyuk, N.** (2017), An approach to prediction of the telecommunication network quality parameters under the conditions of non-stochastic uncertainty, Telecommunications and Radio Engineering, issue 11, pp. 1027-1032.
14. **Korolyuk, N.** (2014) , "Hybrid model of knowledge for situation recognition in airspace", Automatic Control and Computer Sciences, Vol. 49, pp.16-25.
15. **Alimpiev, A.** (2017), "Selecting a model of unmanned aerial vehicle to accept it for military purposes with regard to expert data" P.Berdnik, N.Korolyuk, O.Korshets, M.Pavlenko, Eastern-European Journal of Enterprise Technologies ISSN 1729-3774. - №1/9 (85 pp 53-60.
16. **Alimpiev, A.**, Vatan, M. (2016). The result of analyses of great classes unmanned aircraft for evaluation the opportunity of joint employment with army aviation. [on line]. Weapons systems and military equipment, vol. 1, p. 61.
17. **Saatya, T.** (2009). Structures in decision making: On the subjective geometry of hierarchies and networks [on line]. European Journal of Operational Research, vol. 199, is. 3, p. 867–872.
18. **Permyakov, O.Yu.** and Korolyuk, N.O. (2018), "Rol i misce informacijnyx texnologij v systemi derzhavno-operativnogo vijskovogo upravlinnya z tochky zoru suchasnyx uyavlen. Tretya mizhnarodna naukovo-praktychna konferenciya zastosuvannya kosmichnyx ta geoinformacijnyx system v interesax nacionalnoyi bezpeky ta oborony 5 kvitnya 2018 roku", NUOU, Kyiv, pp. 81-84.
19. **Permyakov, O.Yu.** and Korolyuk, N.O. (2018), "Informacijno – telekomunikacijni texnologiyi i suchasna zbrojna borotba Naukovo-texnichna konferenciya molodyx uchenyx "Aktualni problemy informacijnyx texnologij" 20-21 lystopada 2018 roku", NUOU, Kyiv, 88 p.
20. **Korolyuk, N.O.**, Korolov, R.V. and Korshecz, O.A. (2017), "Procedura formalizaciyi danyx, yaki vykorystovuyutsya pry opysi procesu upravlinnya ruxom povitryanyx obyektiv", Communication, radio engineering, acoustics and navigation, No. 4(53), pp. 103-106.