

УДК 621.391.3

Торошанко Я. І., канд. техн. наук, с. н. с. (Тел.: +380 44 249 29 13. E-mail: toroshanko@ukr.net)
(Державний університет телекомунікацій, м. Київ)

Булаковська А. О., аспірантка (Тел.: +380 67 985 21 90. E-mail: ryhz@yandex.ua)
(Національний авіаційний університет, м. Київ)

Височиненко М. С., магістр (Тел.: +38067 139 45 11. E-mail: vysochinenko_m@ukr.net)

Шматко В. С., інженер (Тел.: +380 63 304 06 30. E-mail: kkz@ukr.net)
(Державний заклад «Київський коледж зв'язку»)

ЗАДАЧІ МОНІТОРИНГУ ТА АНАЛІЗУ ПАРАМЕТРІВ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ МЕРЕЖ

Торошанко Я. І., Булаковська А. О., Височиненко М. С., Шматко В. С. Задачі моніторингу та аналізу параметрів телекомунікаційних мереж. Окреслені задачі досліджень щодо оцінки ключових показників ефективності сучасних телекомунікаційних мереж. Визначено ряд причин, які призводять до зниження ефективності функціонування мереж при впровадженні нового обладнання, протоколів і технологій. Причинами неоптимального функціонування мереж є проблеми взаємодії апаратури, конфігурації, організації мережі і роботи користувачів, коли ліміт пропускної спроможності обладнання в значній мірі не вичерпаний. Визначені особливості задач моніторингу та оптимізації безпроводових мереж.

Ключові слова: телекомунікаційна мережа, моніторинг, аналіз параметрів, оптимізація ресурсів, безпроводова мережа, ключові показники

Торошанко Я. И., Булаковская А. А., Височиненко М. С., Шматко В. С. Задачи мониторинга и анализа параметров телекоммуникационных сетей. Очерчены задачи исследований относительно оценки ключевых показателей эффективности современных телекоммуникационных сетей. Определенно ряд причин, которые приводят к снижению эффективности функционирования сетей при внедрении нового оборудования, протоколов и технологий. Причинами неоптимального функционирования сетей являются проблемы взаимодействия аппаратуры, конфигурации, организации сети и работы пользователей, когда лимит пропускной способности оборудования в значительной степени не исчерпан. Определены особенности задач мониторинга и оптимизации беспроводных сетей.

Ключевые слова: телекоммуникационная сеть, мониторинг, анализ параметров, оптимизация ресурсов, беспроводная сеть, ключевые показатели

Toroshanko Ya. I., Bulakovs'ka A. O., Vysochinenko M. S., Shmatko V. S. Monitoring and analyse of telecommunication network parameters. The tasks of researches are outlined in relation to the estimation of efficiency key indexes of modern telecommunication networks. Certainly the reasons, which result in the efficiency lowering of functioning of networks at introduction of new equipment, protocols and technologies. Reasons of the unoptimum functioning of networks are problems of co-operation of apparatus, configuration, organization of network and work of users, when the limit of carrying capacity of equipment largely is not outspent. The features of tasks of monitoring and optimization of wireless network are certain.

Keywords: telecommunication, monitoring, analysis of parameters, optimization of resources, wireless network, key indexes

Постановка задачі. В даний час розвиток мережних технологій, вдосконалення мережного і термінального обладнання йде, по суті, методом проб і помилок. Нові рішення наявної задачі всіма силами просуваються для негайного впровадження паралельно з публічним обговоренням, апробацією і дослідною експлуатацією. Після виявлення недоліків і недоробок, як явних, так і прихованих, розробляються способи і пристрої їх подолання. Рішення обростає додатковими програмно-апаратними добавками, втрачається його ефективність, а часто і початковий задум.

Такий підхід обумовлений наступними причинами.

– Перш за все, виробник в умовах колосальної конкуренції на ринку інформаційно-телекомунікаційних послуг хоче щонайшвидше впровадити нове рішення, щоб одержати максимальний прибуток на піку його популярності.

– Часто інженери-розробники захоплюються нагромадженням нових технічних рішень в збиток вартості, простоті виробництва і експлуатації, що, кінець кінцем, призводить до зниження ефективності функціонування.

– Дослідження, розробки і виробництво високотехнологічного обладнання для мереж зосереджені в декількох найбільших компаніях, які ніколи не розкривають деталі нових технологій. Обладнання поставляється на ринок у форматі “як є” – користувач не має нагоди ремонту і, тим більше, модернізації. Вузли, що відмовили, і елементи замінюються виробником або його уповноваженими представниками.

З перерахованих і інших об'єктивних причин центр науково-технічних досліджень зміщується безпосередньо на підприємства виробника обладнання. Незалежні дослідники, вчені, зайняті теоретичними роботами в даному науковому напрямі, просто не встигають підвести якусь теоретичну основу під пропоновані рішення, проаналізувати їх потенційну ефективність і близькість до оптимуму. Та і самі виробники, страждаючи від недобросовісної конкуренції, в першу чергу, від зворотної інженерії і крадіжки інтелектуальної власності, прагнуть не розкривати конкретних технічних рішень. Користувачу за принципом “чорного ящика” надається, як правило, лише мінімальний набір вхідних і вихідних характеристик пропонованого продукту.

У ситуації, що склалася, теоретичні дослідження у області телекомунікаційних і обчислювальних мереж можна ефективно проводити тільки на системному рівні. Це оптимізація параметрів і структури мереж, ефективний розподіл потоків мережного трафіку і управління ресурсами мережі. Перспективним напрямом є підвищення продуктивності роботи мережі в цілому або окремих її сегментів.

В даний час використовується не більш 1% сумарної “міжнародної” смуги пропускання [1, 2]. В той же час регулярні втрати пакетів на внутрішніх і транзитних мережах досягають 30%. Втрата вже 10% пакетів помітно позначається на продуктивності мережі. При втраті 50% пакетів мережна служба стає фактично даремною [3]. Більш пізні дослідження продовжують свідчити про подібне зниження продуктивності [1]. Фізичною стороною цього є підвищення інтенсивності вхідного потоку трафіку із-за додавання пакетів, що раніше не були доставлені і зараз відсилаються повторно.

При достатньо великому запасі загальної пропускної спроможності мережі в порівнянні з поточною інтенсивністю вхідного потоку корисна, або реальна пропускна спроможність близька до теоретичної. При насиченні мережі до теоретичної межі доводиться обробляти все більше число повторно переданих пакетів. Мережа починає працювати практично “на себе”. Для запобігання такому явищу, звичайно, можна збільшувати мережною і, відповідно, енергетичний ресурси. Проте при швидко зростаючій ресурсоємності мережних додатків ці ресурси швидко виснажуються. Іншими словами, довготривалий ефект може дати лише оптимізація використання наявних ресурсів телекомунікаційних мереж.

Огляд задач оптимізації мережних ресурсів. По суті, сучасні мережі, і Інтернет зокрема, базуються на достатньо обмеженому списку ідей [4]:

- пакетний принцип передачі даних, сигнальної і управляючої інформації;
- адаптація довжини пакету до умов передачі і параметрів мережі (фрагментація/дефрагментація);
- інкапсуляція пакетів один в одного;
- динамічна маршрутизація.

З урахуванням цих можливостей можна розробляти методи оптимізації мережних ресурсів, оптимального розподілу навантаження на окремі (автономні) мережні сегменти, виключення зайвої надмірності кодів, зниження потужностей передавальних пристроїв.

Принципово важливою проблемою управління ресурсами є проблема зниження чутливості результатів до різномірності методів рішення задачі, до зміни апріорних статистичних характеристик збудовуючих дій, тобто змін параметрів і стану керованої системи.

Низька чутливість результатів рішення і, відповідно, їх загальна значущість, звичайно забезпечуються присутністю в задачі якогось “великого параметра” $N \gg 1$ [5]. Це може бути

відношення сигнал/(завади плюс шум), наприклад, для спеціалізованих безпроводових мереж або “міжпланетного Інтернету” – мереж, толерантних до затримок [6].

Для деяких мереж, наприклад, програмно-конфігурованих [7], у якості “великого параметру” може розглядатися число отриманих даних на інтервалі спостереження, за наслідками обробки яких визначається достатня статистика спостережуваного процесу.

Існуючі системи управління мережами, не дивлячись на їх функціональну надмірність, не мають в своєму складі розвинених засобів, що дозволяють якісно прогнозувати поведінку мережі. Більшість засобів управління насправді мережею не управляє, а всього лише пасивно здійснює її моніторинг. Насущною задачею є розробка *системи аналізу і прогнозування навантаження* як мережі в цілому, так і окремих маршрутів. Це допоможе наперед виявити можливі вузькі місця і вжити заходи по завчасній їх ліквідації.

Вважається, що в техніці інформаційно-обчислювальних мереж до 50% знань застарівають приблизно за 5 років [8]. Приведені цифри, звичайно, не є абсолютно точними і непорушними, але те, що базові технології, уявлення про їх перспективність і ефективність, методи рішення задач принципового характеру і навіть уявлення про те, які задачі носять принциповий характер – все це змінюється швидко і часто не передбачуване.

Але не слід забувати, що залишаються 50% знань про мережі, які складають фундамент знань мережного фахівця. Саме така фундаментальна підготовка дозволить мережному фахівцю освоювати нові технології, самостійно розбиратися в особливостях роботи нових зразків мережного і термінального обладнання. Більш того, маючи хорошу фундаментальну підготовку можна так оптимізувати роботу мережі, що вдасться добитися навіть вищого коефіцієнта корисної дії обладнання, ніж той, який гарантується паспортними даними.

Зміст цієї частини досліджень телекомунікаційних мереж складають, перш за все, математичні методи синтезу, розрахунку і проектування мереж. З часом вони набувають все більшого значення. З теорій, що допомагають в цих розрахунках, слід згадати в першу чергу теорію масового обслуговування, теорію оптимального і адаптивного управління, лінійної і нелінійної фільтрації, а також інші розділи математичної статистики, теорію графів, мереж, теорію інформації і ін.

В даний час спостерігається великий інтерес до методів аналізу і оптимізації телекомунікаційних, комп’ютерних і об’єднаних мереж, “інтелектуалізації”, “конвергенції”, створення так званих “мереж нових поколінь”, до впровадження мережних систем управління, які “приспосовуються”, “самоналагоджувальних”, “навчаються” і т.п. Гірше йде справа з систематизацією в цій області знань, з освітленням питання, яке місце математичний апарат теорії мереж займає в задачах побудови мереж, нарешті, з розробкою обґрунтованої термінології. Пропусками у вказаних відносинах страждають роботи навіть провідних фахівців в цій області.

Можна констатувати, що теоретична наука не встигає за технологічними розробками і спробами швидкого впровадження нових рішень де-факто.

Приведені міркування можуть служити основою для вибору перспективних напрямів досліджень науково-теоретичного і науково-прикладного характеру у області побудови і експлуатації телекомунікаційних і інформаційно-обчислювальних мереж.

По-перше, це розробка математичних моделей мережного трафіку, мережних і термінальних вузлів як елементів системи управління мережею, боротьби з переважаннями, несанкціонованими вторгненнями в роботу мережі.

По-друге, це дослідження загальних питань управління мережами як розподіленими системами із змінними параметрами і структурою, затримками корисної і службової (зокрема, управляючої) інформації.

По-третє, це питання декомпозиції загальної задачі управління мережею на часткові задачі управління якістю, надійністю, безпекою функціонування мережі і доставки інформації. Сюди ж можна віднести і задачі розділеного управління сегментами мережі. Це, у свою чергу, спричиняє за собою необхідність отримання асимптотичних оцінок –

наскільки далекі від оптимуму результати незалежного управління окремими сегментами в порівнянні з теоретичною ефективністю управління мережею в цілому.

Необхідна якість обслуговування в телекомунікаційних мережах не може бути забезпечена тільки методами оптимального розподілу мережного трафіку. Крім цього, потрібні ефективні методи і алгоритми управління класами, чергами і потоками в комутаційних вузлах. Для розробки методів управління і побудови стійких систем управління мережею необхідно враховувати динамічні характеристики комутаційних вузлів.

Особливості задач оптимізації безпроводових мереж. Стосовно безпроводових мереж *WLAN* протоколів *IEEE 802.11x* та *WiMAXIEEE 802.16x*, включаючи мережі доступу, проблеми ускладнюються наявністю завад та шумів у відкритих каналах радіозв'язку. Тому **додатковими завданнями досліджень** є розробка методів управління пропускнуою спроможністю безпроводових мереж, розподілом мережного трафіку та усуненням колізій за умов впливу завад та шумів.

В цей час вже не треба доводити, що розвиток і повсюдне впровадження інфокомунікацій є одним з магістральних напрямів підвищення технологічного рівня держави та суспільства, а в кінцевому рахунку – загального підвищення життєвого рівня людини. Комп'ютерні мережі посідають в цій області одне з чільних місць. Завдяки великому розмаїттю мережних технологій, методів передавання та обробки інформації з'являється можливість раціонального вибору фізичних каналів обміну, архітектур та мережних топологій.

Телекомунікаційних мережа – це велика система, до складу якої входить безліч компонентів: кабельна інфраструктура та/або радіоінтерфейси, активне обладнання, мережна операційна система тощо. Концепція аналізу, моніторингу, наскрізної діагностики мережі вимагає уміння ефективно оцінити, як працюють всі компоненти мережі з урахуванням їх взаємозв'язків і взаємовпливу. На основі результатів такого аналізу розробляються методи оптимального керування мережним навантаженням та програми регулярних модернізацій.

Однак основний недолік більшості програм модернізації мережі – спроби вирішити проблему “в лоб”, тобто проста заміна устаткування на більш продуктивне. При цьому не враховується, що значна частина проблем функціонування мережі криється зовсім не у вичерпанні ліміту пропускнуої спроможності, а в проблемах взаємодії апаратури, конфігурації, організації мережі і роботи користувачів.

Особливо гостро ця проблема стоїть у безпроводових мережах, де, окрім проблем оптимального керування мережею та мережним трафіком, мають місце проблеми функціонування за наявності різноманітних завад, як правило, досить потужних. Крім того, внаслідок необхідності врахування самоподібних властивостей мережного трафіку виникають проблеми модифікації відповідного математичного апарату для оцінювання ключових параметрів мережі. Тому задача удосконалення методів аналізу, моніторингу, контролю та діагностики і, в кінцевому рахунку, керування безпроводовою мережею на основі повнішого обліку інформації про стан мережі в цілому і окремих мережних вузлів є, безумовно, актуальною.

Загальна проблема моніторингу та аналізу телекомунікаційних мереж. Технологія моніторингу і аналізу закладається у процесі проектування телекомунікаційних мереж. Вона є невід'ємною частиною загальної проблеми забезпечення сталого функціонування мережі, зокрема, якості сервісу (*QualityofService, QoS*). Задача проектування мережі включає три етапи: вибір топології мережі, вибір технологій, на основі яких буде здійснюватися практична реалізація, і вибір обладнання. У реальних ситуаціях, наприклад, при створенні безпроводових мереж, вибір топології диктується специфікою використання радіоканалу. Найбільш прийнятними є топології “зірка” та комбінація топологій “кільце” та “загальна шина”. Вони, по суті, визначаються варіантами архітектури безпроводової мережі: незалежна конфігурація (*AdHoc*) та конфігурація з інфраструктурою (структурована мережа)[9].

Незважаючи на те, що відмінності між цими архітектурами незначні, вони помітно впливають на такі показники, як кількість користувачів, що можуть підключатися до мережі, радіус мережі, завадостійкість мережі тощо.

У свою чергу, при виборі технологій перевага, як правило, віддається одній з багатьох. Це цілком логічно, оскільки змішування різнорідних технологій у межах одного автономного сегмента мережі, безумовно, буде приводити до неузгодженості техніко-експлуатаційних характеристик, викликатиме необхідність підтримки великої кількості протоколів мережного обміну, розв'язання конфліктів між різнорідними протоколами та інтерфейсами тощо. Як наслідок, матиме місце нераціональне використання мережного ресурсу та зниження продуктивності мережі.

Таким чином, проблема вибору обладнання набуває вирішального значення. Від цього залежать ключові показники ефективності функціонування мережі, так звані *Key Performance Indicators, KPIs* [10,11].

Ключовими параметрами є затримка передачі, пропускна спроможність, втрати пакетів і рівень безпеки. Ці параметри роблять найбільший вплив на результуючу якість сервісу.

Ключові параметри *KPIs* можна розбити на такі групи, які мають відносно самостійне значення для оцінювання характеристик мережі [8]:

- механізми забезпечення продуктивності (довгострокової, короткочасної, миттєвої);
- засоби аналізу, моніторингу та загального керування мережами;
- засоби керування надійністю обладнання для забезпечення безвідмовної роботи мережі;
- ергономічні параметри (зручність керування, експлуатації, обслуговування та користування).

Технологія аналізу, моніторингу і діагностики представляє собою набір діагностичних засобів і методику їх використання, які дозволяють дати об'єктивну оцінку якості роботи апаратних засобів та прикладних програм в мережі і обґрунтувати рекомендації по поліпшенню їх роботи. Для досягнення поставленої мети необхідно вирішувати наступні часткові задачі:

- аналіз вимог до обладнання та прикладного програмного забезпечення (ПО) залежно від умов угоди про рівень обслуговування (*SLA, Service Level Agreement*) і об'єктивна оцінка швидкодії прикладних програм;
- поточний контроль швидкодії обладнання та прикладних програм в процесі їх експлуатації;
- контроль функціонування обладнання та прикладних програм в різних умовах експлуатації мережних компонентів.

Будь-який призначений для користувача апаратно-програмний засіб можна розглядати як деякий генератор транзакцій, яким є:

- реальне обладнання з набором характеристик, які повинні підтримуватися у межах допусків;
- призначений для користувача програмний додаток, написаний з підтримкою прикладного програмного інтерфейсу (*API, AppliedProgramInterface*);
- тестові програми, що циклічно виконують деяку дію, поточна продуктивність виконання якого дає інформацію про стан мережі.

Через *API* генератори транзакцій взаємодіють з так званими агентськими додатками, в задачу яких входить збір інформації про час проходження тієї або іншої транзакції.

Інформація про якість конкретної транзакції міститься в профайлі – текстовому файлі, що складеному за принципом *ini*-файлів *Windows* і містить набір умов, на підставі яких робиться висновок про стан мережі. Профайл створюється на основі результатів теоретичного аналізу і довготривалого тестування мережі, що працює в ідеальних умовах.

До показників, що вводяться в локальний файл або базу даних, додаються інші результати аналізу стану системи в цілому – інформація від управляючих протоколів, мережних аналізаторів і систем управління. Вони вводяться в єдину базу даних з

відображенням в єдиній тимчасовій шкалі. Незадовільний час проходження тієї або іншої транзакції може бути безпосередньо пов'язаний з якимсь вимірним параметром – завантаженням процесора на сервері або клієнті, скачками завантаження мережі і ін. Якщо проблема не така очевидна, буде потрібний аналіз різнорідних даних, для чого застосовується статистичний (кореляційний і регресійний) аналіз [12, 13].

Мережа – це велика система, до складу якої входить безліч компонентів: кабельна інфраструктура, активне устаткування, мережна операційна система і багато що інше. Концепція кризової діагностики мережі припускає уміння ефективно оцінити, як працюють всі компоненти мережі з урахуванням їх взаємозв'язків і взаємовпливу. Основний недолік більшості програм модернізації мережі – постійна заміна устаткування на більш продуктивне. При цьому значна частина проблем функціонування мережі криється зовсім не у вичерпанні ліміту пропускної спроможності, а в проблемах взаємодії апаратури, конфігурації, організації мережі і роботи користувачів.

Інший недолік – використання адміністраторами мережі однієї-двох часткових методик діагностики і моніторингу і, відповідно, необ'єктивне оцінювання стану мережі. Суть дослідження, що проводиться, полягає саме в реалізації системного підходу.

Методика безперервної діагностики мережі полягає в розбитті процесу на наступні взаємозв'язані етапи.

1. На першому етапі виробляється діагностика на фізичному рівні для виключення помилок і правильної інтерпретації результатів подальшого тестування.

2. На другому етапі доцільно проводити діагностику термінальних вузлів мережі шляхом стресового тестування мережі в двох режимах:

- режим калібрування з навантаженням тільки на мережу для виявлення помилок апаратної і програмної реалізації;
- режим з навантаженням тільки на мережу для виявлення проблем взаємодії станцій, вузьких місць на сервері і в каналах зв'язку.

3. Завершальний етап наскрізної діагностики мережі – діагностика прикладного мережного програмного забезпечення.

Ефективність використання мережі в значній мірі визначається якістю управління в умовах перевантаження. Поки мережа завантажена незначно, число пакетів, що приймаються і оброблюються, рівне числу тих, що прийшли на вхід комутаційного вузла. Проте, коли в мережу поступає дуже великий об'єм даних, може виникнути перевантаження, і робочі характеристики погіршуються. При надмірних завантаженнях пропускна спроможність каналу або мережі може стати нульовою [1]. Така ситуація приводить до колапсу мережі.

Перевантаження породжує лавинні процеси: переповнювання буфера приводить до втрати пакетів, які доведеться передавати повторно або навіть кілька разів. Процесор передавальної сторони одержує додаткове паразитне завантаження.

Одним з поширених методів боротьби з перевантаженнями є управління із зворотним зв'язком. Механізм управління із зворотним зв'язком може поліпшити продуктивність мережі, скорочуючи втрати пакетів, і запобігти розповсюдженню перевантаження. У принципі можна послати повідомлення про перевантаження відправнику, проте при цьому переобтяжена ділянка мережі навантажується ще більше. Тому задача управління розв'язується на транспортному рівні засобами протоколу *TCP* [6]. При виявленні перевантаження швидкість передачі знижується шляхом зменшення розміру ковзного вікна.

По суті, має місце управління із зворотним зв'язком з запізненням. При неправильному урахуванні характеристик запізнення система може втратити стійкість і перейти в незгасаючий коливальний режим, або коректування інтенсивності потоку здійснюватиметься надто пізно. Це приводить до погіршення продуктивності мережі, особливо для додатків реального часу. Компенсація затримки зворотного зв'язку може виконуватися методами прогнозу, наприклад, з використанням моделі авторегресії і ковзного

середнього (АРКС) або шляхом усереднювання параметрів вікна. Другий варіант простіший, але, природно, забезпечує значно нижчу якість сервісу.

Позитивного результату також можна досягти шляхом варіації значень тайм-аутів, зміни політики повторної передачі пакетів. В деяких випадках позитивний результат може бути одержаний зміною схеми буферизації.

Управління із зворотним зв'язком широко використовується в архітектурі інтегрованих служб (*Integrated Service Architecture– ISA*) для підтримки служб з різними рівнями якості сервісу (*Quality of Service– QoS*) в Інтернет і в часткових об'єднаних мережах.

Крім того, необхідно враховувати, що на даний момент актуальним є питання проходження різних видів трафіку по широкосмугових мережах, наприклад, регіональних мережах або мережах мегаполісу (MAN) [3, 6], у тому числі по безпроводових мережах. Кожен вид трафіку, що передається, має свої характеристики, які, як відомо, значно впливають на вимоги, що пред'являються до обладнання мережі. Тому дослідження статистичних характеристик трафіку є важливим для успішної роботи мережі.

Як показали дослідження останніх десятиліть, вхідний потік трафіку не завжди можна вважати простим [3, 14, 15]. Встановлено і експериментально підтверджено, що характер трафіку є фрактальним, або самоподібним. Також, в ході досліджень підтверджено, що самоподібність трафіку істотно впливає на характеристики мережі.

Оскільки по сучасних мережах передаються різні види трафіку, то для забезпечення необхідної якості обслуговування використовування дисципліни черг *FIFO (First in First Out* – першим прибув, першим обслужений) не завжди буде оптимальним. У таких випадках використовуються пріоритети. Пріоритети можуть призначатися залежно від типу трафіку. Важливим є випадок призначення пріоритету на основі середнього часу обслуговування. Часто запитам з меншим очікуваним часом обслуговування дається більший пріоритет, ніж запитам з великим очікуваним часом обслуговування. При такій схемі продуктивність високопріоритетного трафіку збільшується. Також вищі пріоритети можуть призначатися трафіку, чутливого до затримок, наприклад, голосовому або відеотрафіку.

Затримки викликають необхідність в збільшенні буферної пам'яті пристроїв комутації і маршрутизації, оскільки вони не справляються з потоком пакетів вже при коефіцієнті використовування мережі 50-60%. Велика кількість пакетів відкидається і передається повторно, що приводить до ще більшого перевантаження мережі. Тому необхідно розраховувати необхідні розміри буфера з урахуванням характеристик трафіку.

Слід зауважити, що засновані на марківських моделях і формулах Ерланга методи розрахунку вимог до мереж нових поколінь (пропускної спроможності каналів, місткості буферів і ін.) , які з успіхом використовувалися при проектуванні телефонних мереж, можуть давати невиправдано оптимістичні рішення і приводити до недооцінки навантаження.

Висновки. Проведений аналітичний огляд літератури показує, що багато питань оцінки ключових показників ефективності телекомунікаційних мереж є або відкритими, або недостатньо вивченими, а у ряді випадків, і не поставленими в явній формі, що приводить до необхідності інтенсивних досліджень в цій області.

Окреслені задачі досліджень щодо оцінки ключових показників ефективності сучасних телекомунікаційних мереж. Показано, що причинами неоптимального функціонування мереж є проблеми взаємодії апаратури, конфігурації, організації мережі і роботи користувачів, коли ліміт пропускної спроможності обладнання в значній мірі не вичерпаний. Визначені особливості задач моніторингу та оптимізації безпроводових мереж.

Питання застосування статистичних методів, зокрема, методів теорії масового обслуговування, припускають подальший розвиток у випадку неоднорідного трафіку та великих коливань мережного навантаження.

Література

1. Виноградов Н. А. Исследование характеристик полезной пропускной способности в условиях меняющейся нагрузки // Н. А. Виноградов, Н. Н. Лесная, А. С. Савченко, Е. В. Колесник – Проблемы информатизации та управління. – 2009. – Вип. 4. – С. 28-31.
2. Гольшко А. Appetit приходит во время еды? / А. Гольшко // Коннект! Мир связи (РФ). – 2004. – №11.
3. Stallings W. High-speed networks and internets: performance and quality of service / Stallings W. – New York, NY. – Prentice Hall, 2002. – 715 PP.
4. Семенов Ю. А. Сети передачи данных. Методы доступа. IP-протокол [Электронный ресурс] / Ю. А. Семенов // –Режим доступа :http://book.itep.ru/4/44/inter_44.htm
5. Стратонович Р. Л. Принципы адаптивного приема / Р. Л. Стратонович. – Москва: Советское радио, 1973. – 144 с.
6. Tanenbaum A. S. Computer Networks/ Andrew S. Tanenbaum, David J. Wetherall. – [5th Ed.] – Prentice Hall, Cloth, 2011. – 960 pp.
7. Cui Y. Data Centers as Software Defined Networks: Traffic Redundancy Elimination with Wireless Cards at Routers / Y. Cui, S. Xiao, C. Liao, I. Stojmenovic, M. Li // IEEE Journal on Selected Areas in Communications. – December 2013. – Vol. 31, NO. 12. – PP. 1-15.
8. Олифер В. Г. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы: учебник для вузов / В. Г. Олифер, Н. А. Олифер. – [4-е изд.]. – Санкт-Петербург: Питер, 2010. – 944 с.
9. Широкополосные беспроводные сети передачи информации / [В. М. Вишневикий, А. И. Ляхов, С. Л. Портной, И. В. Шахнович]. – Москва: Техносфера. – 2005. – 592 с.
10. Ye Ouyang. A Performance Analysis for UMTS Packet Switched Network Based on Multivariate KPIs/ Ye Ouyang, Hosein Fallah M. // International Journal of Next Generation Network (IJNGN). – March 2010. – Vol. 2, No. 1. – PP. 79-92.
11. Kreher R. UMTS Performance Measurement: A Practical Guide to KPIs for the UTRAN Environment. – John Wiley & Sons Ltd, The Atrium, Southern Gate, Chichester, 2006. – 227 PP.
12. Мирский Г. Я. Характеристики стохастической взаимосвязи и их измерения / Г. Я. Мирский. – Москва : Энергоиздат, 1982. – 320 с.
13. Бендат Дж. Применения корреляционного и спектрального анализа / Дж. Бендат, А. Пирсол ; пер. с англ. – Москва : Мир, 1983. – 312 с.
14. Erramilli A. Applications of Fractals in Engineering for Realistic Traffic Processes / A. Erramilli, J. Gordon, W. Williger // Proceedings, International Telecommunications Conference (ITC-14), Amsterdam: Elsevier, 1994.
15. Заборовский В. С. Методы и средства исследования процессов в высокоскоростных компьютерных сетях: Дисс. ... д-ра техн. наук: 05.13.01 – Управление в технических системах / Санкт-Петербург : ЦНИИРТК, 1999. – 268 с.

Дата надходження в редакцію: 22.08.2014 р.

Рецензент: д.т.н., проф. М. А. Виноградов