

Едуард Миколайович Бовда (канд. техн. наук)

Олександр Миколайович Гук

Оксана Григорівна Гаврилюк

Військовий інститут телекомунікацій та інформатизації, Київ, Україна

МЕТОДИКА ОЦІНКИ ЕФЕКТИВНОСТІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИМИ МЕРЕЖАМИ

В статті проведено аналіз існуючих підходів та методів оцінки ефективності телекомунікаційної мережі та її системи управління. Розглянуто поняття ефективності, класифікація та існуючі підходи по її оцінці. Наведено ряд показників ефективності телекомунікаційної мережі, які характеризують цільову, технічну (технологічну), економічну ефективність телекомунікаційної мережі. Розглянуто показники ефективності системи управління телекомунікаційною мережею. Представлена методика оцінки ефективності методів маршрутизації, як підсистеми управління маршрутизацією системи управління телекомунікаційної мережі, яка складається з семи етапів. Показники ефективності методів маршрутизації при цьому розглядаються як три групи показників, що поділяються на глобальні, локальні та експлуатаційно-фінансові. Наведено ефективність методів маршрутизації (за параметрами продуктивності, часу затримки передачі пакетів) при зміні топології та різних методах маршрутизації при фіксованих значеннях вхідного навантаження та розмірності мережі. Показано, що ефективність системи управління визначається ефективністю телекомунікаційної мережі.

Ключові слова: *ефективність, система управління, телекомунікаційна мережа, показник ефективності.*

Вступ

При роботі органів військового управління різного рівня виникає потреба в оцінці ефективності системи управління. До її складу входить система управління телекомунікаційними мережами, яка має в собі автоматизовану систему управління зв'язком. Задачі управління, які опрацьовує система управління телекомунікаційними мережами, вирішуються поетапно, відповідно з етапами управління, що складаються з планування, розгортання та оперативного управління.

Важлива роль тут належить етапу оперативного управління, де за прийнятими показниками та критеріями ефективності постійно оцінюється стан мереж, і приймаються міри (відповідно до плану та реальної обстановки) по втриманню показників ефективності функціонування в заданих межах або здійснюється їх системна (користувальницька) оптимізація.

Особливістю даного етапу є те, що задачі оперативного управління (на відмінність задач планування) вирішуються змішаним способом (централізовано/децентралізовано) у режимі реального часу, а за змістом багаторазово їх повторюють.

Постановка проблеми. На сьогоднішній момент існують різні підходи до отримання необхідних кінцевих результатів в оцінці ефективності. Один з підходів характеризує оцінку ефективності елементів-підсистем зв'язку телекомунікаційної мережі. Другий – характеризує окремі показники ефективності (наприклад, час затримки пакетів), за якими визначають

ефективність в цілому системи. Існує також підхід, в якому враховано два попередні підходи тощо.

Таким чином, проблема полягає в обґрунтованості оцінки ефективності системи управління телекомунікаційними мережами, що здатна об'єктивно оцінити внесок системи управління до загальної ефективності роботи всієї мережі зв'язку військового призначення та її системи управління.

Аналіз остатніх досліджень і публікацій.

Для оцінки ефективності системи управління телекомунікаційними мережами існує підхід, який дозволяє розв'язати це завдання за двома складовими: оцінка функціональної або структурної живучості. За показник живучості можливо прийняти показник стійкості системи. Проведення такої оцінки є важливим для вирішення комплексної задачі оцінки системи управління телекомунікаційними мережами в сучасних умовах ведення збройної боротьби.

В роботі [1] розглянуто різні підходи до вибору показників, які використовуються для оцінки ефективності мереж зв'язку. Обґрунтовано використання для оцінки ефективності мережі зв'язку узагальненого показника. Дано визначення оптимальної робочої точки по навантажувальним характеристикам для елемента мережі зв'язку, що описується системою масового обслуговування.

В статті [2] проведена класифікація методів маршрутизації, запропонованих для застосування в мобільних радіомережах та дана їх коротка характеристика. Проведена декомпозиція проблеми маршрутизації в мобільних радіомережах на завдання. Запропоновано

проводити розробку нових методів маршрутизації по класах, кожен з яких задовольняє типу трафіку, наявного обладнання в вузлах і умов функціонування мобільних радіомереж. Розглянуто схеми системного аналізу та синтезу методів маршрутизації і методика оцінки їх ефективності.

В роботі [3] пропонується метод управління маршрутизацією в безпроводових сенсорних мережах з динамічною топологією в умовах нестабільності зв'язків між їх вузлами. Ідея методу полягає у динамічному виборі цільової функції управління маршрутами з урахуванням типу маршрутизації і нестабільності зв'язків між вузлами безпроводової сенсорної мережі. Запропоновано адаптивний метод управління маршрутизацією для бездротових сенсорних мереж, що передбачає: функціонування в мережі множини методів маршрутизації; динамічне формування метрик вибору маршруту з урахуванням нестабільності зв'язків між вузлами бездротової сенсорної мережі; управління топологією мережі як складовою частиною маршрутизації; інтелектуалізацію процесів прийняття рішення по маршрутизації. Адаптивне управління маршрутизацією дозволяє здійснювати мережну і призначену для користувача оптимізацію за рахунок адаптації до поточної ситуації на мережі, типу переданої інформації і підвищення рівня обґрунтованості прийнятих маршрутних рішень.

В роботі [4] проведено аналіз і запропоновано інтегральну класифікацію існуючих методів адаптивного розподілу інформаційних потоків в корпоративних обчислювальних мережах. Розроблено адаптивну методіку комплексної оцінки ефективності функціонування корпоративних обчислювальних мереж на основі призначених для користувача критеріїв результативності та своєчасності доставки абонентських повідомлень, що враховує такі характеристики інформаційного обміну між абонентами мережі: різномірний пріоритетний трафік; обсяги переданих повідомлень; часи передачі кожного повідомлення; функціонування мережі в стаціонарних і перехідних станах.

В роботі [5] показано шляхи підвищення ефективності функціонування автоматизованих мереж радіозв'язку на основі застосування нових методів маршрутизації інформаційних потоків в мережах з динамічною топологією. Розроблено методіку оцінки ефективності методів маршрутизації в автоматизованих мережах радіозв'язку та проведено дослідження ефективності функціонування різних методів маршрутизації.

У статті [6] описана методика проведення порівняльної оцінки ефективності систем супутникового зв'язку з штучними супутниками (ШСЗ) на різних типах орбіт. Методика розроблена з використанням методу, заснованого на застосуванні умовних критеріїв переваги з

введенням узагальненого показника якості. Наводиться приклад порівняльної оцінки ефективності систем супутникового зв'язку з ШСЗ на *GEO*, *MEO* і *LEO* орбітах.

В роботі [7] запропонований показник ефективності мереж зв'язку та їх елементів, що забезпечує можливість їх об'єктивного порівняння на етапах створення, вдосконалення та експлуатації, а також встановлення обґрунтованих тарифів. Описана сукупність значень показників якості функціонування визначає стану елементів мережі та мережі в цілому та характеризує їх здатність до навантаження. Розглянуто поняття стратифікації мережі зв'язку як складної системи, зі специфікаціями реалізованих протоколів передачі та обробки і з використанням відомих аналітичних моделей на базі систем масового обслуговування або імітаційного моделювання. Викладено метод визначення показника ефективності і оптимальної робочої точки функціонування мережі зв'язку та її елементів.

Таким чином, проведений аналіз дозволяє зробити висновок про те, що розглянуті підходи в оцінці ефективності в не повній мірі відповідають вимогам, що накладаються на сучасні системи управління телекомунікаційними мережами.

Метою статті є створення методики оцінки ефективності системи управління телекомунікаційними мережами.

Виклад основного матеріалу дослідження.

Поняття ефективності можна застосовувати як до системи управління телекомунікаційною мережею, так до телекомунікаційної мережі. Розглянемо спочатку основні поняття ефективності в цілому.

Ефективність системи управління телекомунікаційними мережами – це створення сприятливих умов для досягнення посадовими особами поставлених цілей в найкоротший термін при найвищих якісних і кількісних показниках та найменших витратах ресурсів. Оскільки завданням управління є цілеспрямований вплив на керований об'єкт для забезпечення досягнення поставлених цілей, ефективність управління може бути оцінена за ступенем досягнення цих цілей: за кінцевими результатами діяльності (забезпечення зв'язку з потрібною якістю), за якістю планування (відпрацювання плануючих документів), за продуктивністю роботи системи управління (затримки при обробці даних, кількість інформації, що передана в одиницю часу), за надійністю роботи системи управління (інтенсивність відмов, коефіцієнт готовності, зручність обслуговування) тощо.

На практиці при оцінці ефективності системи управління застосовуються кілька підходів.

Цільовий підхід – оцінка за ступенем реалізації поставлених цілей – виконання тієї чи іншої програми в залежності від вирішення конкретних завдань, досягнення намічених технологічних

показників, прогнозованих станів.

Ресурсний підхід – оцінка ефективності управління в залежності від ступеня використання ресурсів, як пов'язаних з самим управлінням, так і всіх ресурсів, які залучені при забезпеченні зв'язку. Для цього необхідно отриманий результат порівняти з тими витратами, за допомогою яких він отриманий, зіставити одну абсолютну величину – ефект, з іншою абсолютною величиною – витратами, що дає відносну ж величину – ефективність: $E_{\phi} = E/V$. Тобто, ефективність – отримання необхідного максимального результату з найменшими витратами.

Оцінка досягнутого стану військ зв'язку, його місця в системі управління – оцінка динаміки основних показників за порівнянний період часу, зіставлення їх з нормативними величинами.

Комплексний підхід – поєднує в собі всі попередні.

Ефективність системи управління – специфічна категорія, що відображає рівень і динаміку розвитку управління, якісну та кількісну сторону цього процесу.

За змістом можна виділити військову і економічну ефективність управління, ефективність на етапах управління (планування, розгортання, оперативного управління), ефективність на тактичному (підрозділ), оперативно-тактичному, стратегічному рівнях управління, за методом розрахунку ефективності – абсолютна (по конкретній системі управління) і відносна (у порівнянні з іншими аналогічними системами управління) і т.д.

Виділяють наступні види оцінки ефективності управління:

1. За метою оцінки: визначення стану і напрямків розвитку системи управління; визначення результативності та ефективності системи управління та шляхів їх подальшого підвищення.

2. За характером оцінки: військовий, методологічний, функціональний, економічний, соціальний, організаційний, технологічний, правовий аспекти.

3. По взаємозв'язку системи управління і керованого об'єкта: з позиції всієї системи та з позицій системи управління як частини цілого.

4. По об'єкту оцінки: комплексна оцінка всієї системи управління і складових її компонентів.

5. За спрямованістю оцінки: динамічні (процеси) і статичні (структурні) характеристики системи управління.

6. За критеріями оцінки: кількісна та якісна.

7. За методами оцінки: експертний, бальний, коефіцієнтний, екстраполяційний, евристичний, порівняльний, системний тощо.

Для вираження ефективності управління застосовується ряд часткових понять:

1. Ефективність роботи посадової особи системи управління.

2. Ефективність управлінської діяльності системи управління або окремих його органів і підрозділів.

3. Ефективність процесу управління (при виробленні та реалізації конкретного управлінського рішення).

4. Ефективність системи управління (з урахуванням ієрархії управління).

5. Ефективність механізму управління (методів, важелів, стимулів).

6. Ефективність вдосконалення управління.

Загалом, розглядають ефективність управління як сукупність трьох складових:

1. Ефективність діяльності посадових осіб системи управління.

2. Ефективність діяльності підрозділів (органів, пунктів) управління.

3. Ефективність системи управління в цілому.

Показники ефективності управління впливають з вимог, що пред'являються до системи управління. Це вимоги: економічності (здатності впливати на керований об'єкт з найменшими витратами), оперативності (своєчасності отримання і переробки інформації, підготовки, прийняття та виконання рішень), надійності системи управління, щоб уникнути втрати інформації, різних помилок, раціональності (якісний аспект, що характеризує організованість системи управління), результативності (кількісний аспект).

На сьогодні не існує сталих підходів у визначеності ефективності. Тому є така особливість, яка полягає в проблемі визначення, кількісного виміру ефективності управління.

Система управління телекомунікаційними мережами (рис. 1) складається з певної кількості підсистем управління, які входять до складу підсистеми підтримки прийняття рішень. Це підсистеми, які визначають зміст роботи системи управління: управління маршрутизацією (методи управління маршрутизацією), управління топологією, управління навантаженням, управління якістю обслуговування, управління ресурсами тощо.

Показники ефективності системи управління телекомунікаційними мережами.

Провести оцінку ефективності системи управління телекомунікаційними мережами, як окремої людино-машинної системи, можна умовно за наступними ознаками:

- достатності її структурних елементів – відповідності кількості та розміщення елементів інформаційно-телекомунікаційних вузлів (ІТВ) по рівням та зонам відповідальності;

- повноти та своєчасності отриманої інформації, яка достатня для виконання завдань за призначенням.

Показником повноти структури системи управління може бути коефіцієнт повноти оснащення пунктів управління сучасними засобами автоматизації і зв'язку:

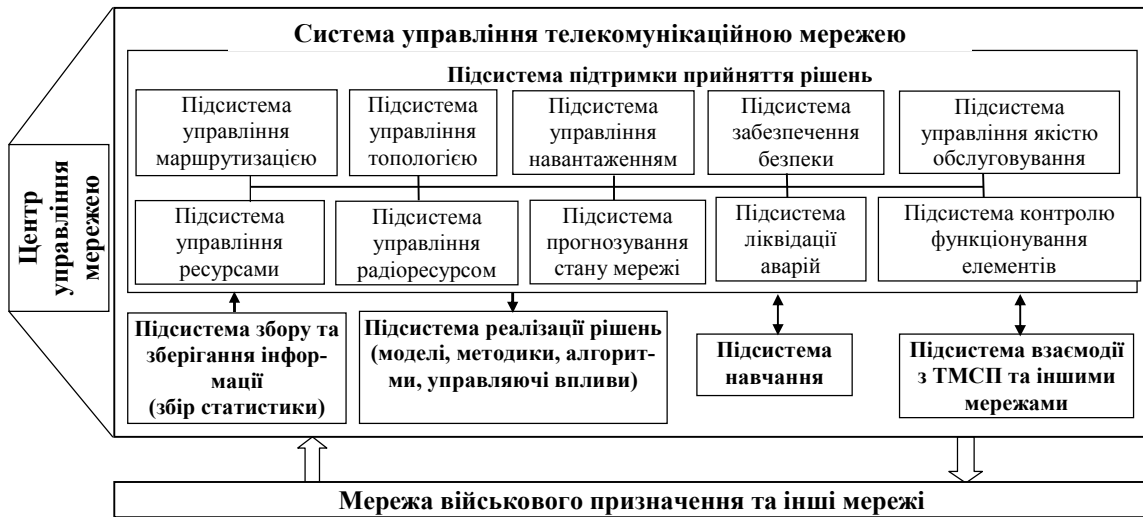


Рисунок 1. Функціональна структура системи оперативного управління телекомунікаційними мережами

$$C = \frac{N_{\text{авт}}}{N_{\Sigma}}, \quad (1)$$

де $N_{\text{авт}}$ – кількість пунктів управління, що оснащенні сучасними засобами автоматизації та зв’язку; N_{Σ} – загальна кількість пунктів управління в системі управління.

Показники ефективності телекомунікаційної мережі.

З позицій системного підходу, система управління телекомунікаційної мережі є елементом мережі та безпосередньо впливає на характеристики мережі. Тому ефективність системи управління в першу чергу потрібно оцінювати з позицій оцінки характеристик всій мережі при даній системі управління. З другого боку, можна оцінювати функціонування систем управління між собою (синтез нової системи управління) при умові отримання однотипних рішень з урахуванням різних розрахунків ресурсів при отриманні даного рішення, або отримання одного рішення при різних ресурсах. Показник ефективності телекомунікаційної мережі визначається процесом її функціонування та він є функціоналом від цього процесу.

$$E = f(t, L_{\text{п}}, L_{\text{тп}}, L_{\text{А}}, L_{\text{Д}}, L_{\text{У}}) \rightarrow \text{opt}, \quad (2)$$

де E – множина показників ефективності мережі; t – час; $L_{\text{п}}, L_{\text{тп}}, L_{\text{А}}, L_{\text{Д}}, L_{\text{У}}$ – множини параметрів відповідно вхідних потоків запитів на обслуговування користувачів ($L_{\text{п}}$), технічних і програмних засобів мережі ($L_{\text{тп}}$), алгоритмів обробки і передачі інформації в мережі ($L_{\text{А}}$), діяльності користувачів ($L_{\text{Д}}$), умов функціонування мережі ($L_{\text{У}}$).

Відповідно до конкретизації поняття ефективності показники множини W можна розділити на три групи:

$$E = \{E_{\text{Ц}}, E_{\text{T}}, E_{\text{Е}}\}, \quad (3)$$

де $E_{\text{Ц}}$ – показники цільової ефективності телекомунікаційної мережі, або ефективності використання (цільового застосування) телекомунікаційної мережі, це кількісна міра відповідності мережі своєму призначенню; E_{T} – показники технічної (технологічної) ефективності телекомунікаційної мережі, це кількісна міра, яка відображає технічну досконалість мережі; $E_{\text{Е}}$ – показники економічної ефективності телекомунікаційної мережі, це кількісна міра економічної доцільності мережі.

Вибір показників цільової ефективності системи управління визначається її призначенням, в зв’язку, з чим має місце велика різноманітність показників цієї групи. За допомогою цих показників оцінюється ефект (цільової результат), одержуваний за рахунок вирішення тих чи інших завдань за допомогою системи управління. Для кількісної оцінки цього ефекту можуть застосовуватися найрізноманітніші показники цільової ефективності.

Цілями системи управління (Z^U) можуть бути екстремум або підтримка (виступають як обмеження) заданих параметрів функціонування всієї мережі або її елементів (зона, напрямок, маршрут, вузол, канал), що можна представити в вигляді [8, 9]:

$$Z^U = f(C, P^e, P^{зв}, F, Y^{CY}, O, R) \rightarrow \text{opt}, \quad (4)$$

при обмеженнях $R \leq R_{\text{доп}}, O \leq O_{\text{доп}}, \{T_{\text{Ц}} \leq T^{\text{доп}}\} \rightarrow \min.$

де C – структура системи управління; P^e – множина параметри елементів системи управління; $P^{зв}$ – множина параметрів зв’язків між елементами системи управління; F – сукупність функцій, що реалізуються системою управління телекомунікаційної мережі; Y^{CY} – умови функціонування системи управління; O – обмеження на значення характеристик властивостей

системи управління, що створюється; R – обмеження на ресурси, за допомогою яких буде синтезуватися система управління; $T_{ц}$ – час циклу оперативного управління мережею; $T^{доп}$ – час, що відведений на управління мережею або її етапи, який визначається директивними документами.

Разом з тим, у системі управління мережею існує ієрархія цілей Z^U . Загальна ціль поділяється на підцілі: планування та оперативного управління. Оперативне управління в свою чергу поділяється на управління якістю обслуговування, конфігурацією, несправностями, ресурсами тощо. В загальному випадку Z^U можна представити у вигляді списків підцілей, які пов'язані визначеними відношеннями [8, 9]:

$$Z^U = \{Z_0 \Theta_{01} \{Z_{11}, Z_{12}, \dots, Z_{1n}\} \Theta_{12} \{Z_{21}, Z_{22}, \dots, Z_{2n}\} \dots \Theta_{ij} \{Z_{k1}, Z_{k2}, \dots, Z_{kn}\}\} \quad (5)$$

де Z^U – ієрархія цілей системи управління; Z_0 – глобальна ціль; Z_{ij} – i -а підціль j -го рівня ієрархії цілей, $i = \overline{1, I}; j = \overline{1, J}$; Θ – множина відношень на підцілі ієрархії цілей.

Наприклад, до мережевих (зонових) цілей управління можна віднести оптимум наступних параметрів $Z = \{Z_1, Z_2, \dots, Z_n\}$: Z_1 – продуктивність всієї мережі, мережі певного рівня або її зони, напряму, маршруту, каналу; Z_2 – потужність радіопередачів мережі чи її зони; Z_3 – ступінь покриття території (абонентів) мережею (аероплатформами); Z_4 – структурна надійність (зв'язність) мережі, її зони; Z_5 – кількість апаратних ресурсів (аероплатформ, базових станцій, серверів тощо); Z_6 – час функціонування мережі її зони, напряму, маршруту; Z_7 – обсяг службового трафіку; Z_8 – час планування, розгортання, відновлення мережі чи її зони, напряму; Z_9 – параметри безпеки й т. д.

Показники технічної ефективності телекомунікаційної мережі. За допомогою цих показників оцінюється ефективність телекомунікаційної мережі як складної апаратно-програмно-інформаційної кібернетичної системи "людина-машина" при роботі її в різних режимах. При цьому не береться до уваги ефект, одержуваний за рахунок реалізації результатів рішення задач (задоволення запитів) користувачів інформаційної мережі. Показники цієї групи можуть використовуватися для кількісної оцінки ефективності всієї мережі, її окремих систем і підсистем, ланок і вузлів мережі.

Для оцінки технічної ефективності мережі доцільно використовувати такі показники – час реакції; пропускна здатність; затримка передачі і варіація затримки передачі, об'єм службового трафіку, час циклу управління.

Мінімальний об'єм службового трафіку
 $V_{СТ \rightarrow \min}$ – залежить від прийнятого в СУ мережею способу, об'єму, періоду розсилання службової інформації (маршрутні повідомлення, квитанції,

hello-повідомлення, виміри трафіку), складності прийнятих алгоритмів управління, розмірністю мережі, тощо.

Мінімальний час циклу управління:

$$T_{цУ} = t_{zi} + t_{ан} + t_{пр} + t_{дов}, T_{цУ} \leq t_i^{доп} \rightarrow \min, \quad (6)$$

де – $T_{цУ}$ – час циклу оперативного управління мережею – проміжок часу, протягом якого здійснюється послідовне рішення задач управління до повного її виконання в масштабі даної системи управління; t_{zi} – час на збір інформації про стан мережі; $t_{ан}$ – час на оцінку характеристик мережі та ідентифікацію стану мережі; $t_{пр}$ – час, який необхідний на вироблення управлінських рішень; $t_{дов}$ – час доведення управлінських впливів до об'єктів управління; $t_i^{доп}$ – час, що відведений на оперативне управління мережею, який визначається директивними документами.

Час реакції мережі є інтегральною характеристикою продуктивності мережі з точки зору користувача. Знання складових часу реакції дає можливість оцінити продуктивність окремих елементів мережі, виявити вузькі місця і в разі необхідності виконати модернізацію мережі для підвищення її загальної продуктивності.

Мета управління продуктивністю полягає в тому, щоб вимірювати і надавати інформацію про різні показники продуктивності мережі, що дозволило б підтримувати продуктивність об'єднаних мереж на прийнятному рівні. До таких показників продуктивності відносяться наступні: пропускна здатність мережі, час відгуку користувача і ступінь завантаженості каналу.

Продуктивність мережі оцінюється за допомогою *показників пропускної здатності*, які відображають кількість інформації, переданої мережею в одиницю часу. Пропускна здатність характеризує, з одного боку, потреба користувача в інтенсивності обміну інформацією, а з іншого боку, – можливість обладнання забезпечити необхідну інтенсивність. З урахуванням вищевказаної подвійності доцільно показники пропускної здатності класифікувати виходячи з двох критеріїв:

- за ступенем корисності інформації (з урахуванням або без урахування службової інформації, необхідної для передачі корисної інформації);

- за тривалістю періоду інтеграції (інтервалу усереднення) показників пропускної здатності.

Залежно від ступеня корисності інформації, що передається розрізняють технічну і інформаційну швидкість передачі даних. Швидкість технічна (R_t) – кількість фізичних бітів, які можуть бути передані за одиницю часу. Швидкість інформаційна (R_i) – кількість корисної інформації, передане за одиницю часу (без службової інформації). Виходячи з того, що пропускна здатність є максимально можливою швидкістю передачі даних, кожному виду швидкості (технічної та інформаційної) відповідає певний вид пропускної здатності. Пропускна здатність визначається і багатьма іншими факторами:

використовуваними методами доступу в передавальну середу, завантаженням каналу, способами управління мережею, якістю і можливостями мережевої операційної системи та інше. Всі ці чинники обумовлюють потоки даних, що передаються і фактичну швидкість їх передачі, тобто фактичну (а не фізичну) пропускну здатність каналу.

Максимум (завдане значення) пропускну здатності ρ мережі, яка визначає сумарну пропускну здатність всіх напрямків передачі можна оцінити:

$$\rho_M = \sum_{i=1}^I \rho_{H_i}. \quad (7)$$

Для оцінки ефективності окремих ланок телекомунікаційної мережі (вузлів обробки інформації, вузлів зв'язку, центрів комутації пакетів і т.д.), які обслуговують запити користувачів мережі, зручними виявляються такі показники.

1. Інтегральна пропускну здатність ланки мережі на відрізьку часу $[0, t]$:

$$\rho_i = \frac{n_0(0, t)}{n_{II}(0, t)}, \quad (8)$$

де $n_0(0, t)$, $n_{II}(0, t)$ – число запитів, відповідно обслугованих ланкою мережі на відрізьку часу $[0, t]$ та що надійшли на цьому ж відрізьку. Вона показує, як в середньому ланка мережі справляється з обслуговуванням вхідного потоку запитів від моменту початку відліку роботи до певного моменту t

2. Динамічна пропускну здатність:

$$\rho_D(\Delta t, t) = \frac{n_0(\Delta t, t)}{n_{II}(\Delta t, t)}, \quad (9)$$

Вона являє собою відношення числа запитів $n_0(\Delta t, t)$, що обслуговані ланкою мережі на інтервалі Δt до моменту часу t до числа запитів $n_{II}(\Delta t, t)$, що поступили в ланку на тому ж інтервалі Δt й до того ж моменту часу t . Динамічна пропускну здатність дозволяє судити про те, як ланка мережі справляється з обслуговуванням вхідного потоку запитів на будь-якому заданому (найбільш характерному) відрізьку часу до будь-якого поточного моменту. Вона дає можливість відстежувати роботу ланки мережі в динаміці і виробляти рекомендації щодо забезпечення ритмічності його функціонування.

Пропускну здатність можна вимірювати між будь-якими двома вузлами або точками мережі, наприклад, між клієнтським комп'ютером і сервером, між вхідними та вихідними портами маршрутизатора. Для аналізу і настройки мережі дуже корисно знати дані про пропускну здатність окремих елементів мережі.

Іноді корисно оперувати загальною пропускну здатністю мережі, яка визначається як середня кількість інформації, переданої між всіма вузлами мережі в одиницю часу. Цей показник характеризує якість мережі в цілому, не диференціюючи його по окремих сегментах або пристроях. Характер зміни пропускну здатності мережі в залежності від

ступеня виконання системою управління свого завдання показано на рис. 2а. Ступінь відмінності кривої 2 від кривої 1 показує ефективність роботи системи управління телекомунікаційною мережею. Тобто, чим краща система управління, тим ближче реалізована пропускну спроможність ρ_p до потенційної ρ_n .

Зазвичай при визначенні пропускну здатності сегмента або пристрою в даних, що передаються не виділяються пакети якогось певного користувача, додатки або комп'ютера - підраховується загальний обсяг переданої інформації. Проте для більш точної оцінки якості обслуговування така деталізація бажана, і останнім часом системи управління мережами все частіше дозволяють її виконувати.

Для реальних мереж більш інформативний такий показник продуктивності, як показник використання мережі (*network utilization*), який представляє собою частку в процентах від сумарної пропускну здатності (не поділена між окремими абонентами), який враховує колізії та інші чинники:

$$K_u = \frac{V_i}{V_t} \times 100\% \quad (10)$$

де V_i – швидкість передачі корисної інформації; V_t – максимальна швидкість передачі інформації.

Управління продуктивністю можна розділити на три основних етапи. На початку проводиться збір даних про продуктивність. Вони відображаються у вигляді параметрів, що цікавлять мережевих адміністраторів. Потім ці дані аналізуються і визначаються нормальні (еталонні) значення параметрів. Нарешті, для кожної змінної визначаються граничні значення продуктивності, перевищення яких сигналізує про проблеми в мережі, що вимагає втручання. Керуючі елементи постійно стежать за параметрами продуктивності. При перевищенні граничного значення продуктивності в систему мережевого управління відправляється попередження.

Кожна з описаних операцій є частиною процесу настройки реактивної системи. Якщо продуктивність стає неприйнятною, оскільки перевищується певний користувачем граничне значення, система реагує на цей факт відправкою повідомлення. Управління продуктивністю також передбачає профілактичні заходи. Наприклад, для того щоб передбачити вплив зростання мережі на метрики продуктивності, можна скористатися засобами моделювання мережі. Таке моделювання попередить адміністраторів про майбутні проблеми і дозволить вчасно вжити контрзаходи.

Затримка передачі визначається як затримка між моментом надходження пакету на вхід якого-небудь мережевого пристрою або частини мережі і моментом появи його на виході цього пристрою. Цей параметр продуктивності за змістом близький до часу реакції мережі, але відрізняється тим, що завжди характеризує тільки мережеві етапи обробки даних, без затримок обробки вузлами мережі. Зазвичай якість мережі характеризують величинами

максимальної-мінімальної (завданої) затримки передачі і варіацією затримки (рис. 2б).

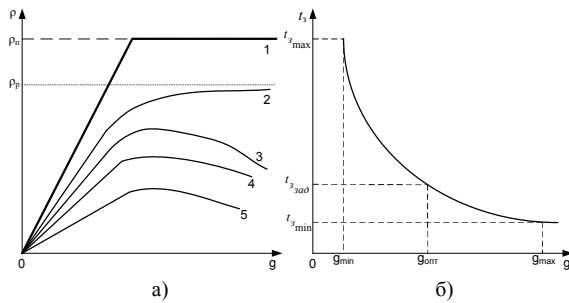


Рисунок 2. Залежність пропускної здатності (продуктивності мережі) від навантаження а) та часу затримки від навантаження б)

Мінімальний час затримки пакетів можна оцінити (завдане значення) t_3 :

$$\min t_3 (t_3 \leq t_{3\text{зад}}). \quad (11)$$

Якщо розглядати підсистеми управління (див. рис. 1), то оцінка ефективності системи управління телекомунікаційними мережами зводиться до оцінки методів управління, що працюють в кожній з підсистем системи управління. Розглянемо оцінку ефективності на прикладі методів маршрутизації, які використовуються в підсистемі управління маршрутизацією системи управління телекомунікаційною мережею.

Для вирішення цього пропонується наступна методика.

Методика оцінки ефективності методів маршрутизації системи управління телекомунікаційною мережею.

Постановка задачі. Задані: мережа SDN, множина методів маршрутизації $\{U_p\}$, $p=1 \dots P$, вимоги до методів маршрутизації $\{TR_q\}$, $q=1 \dots Q$. Необхідно: оцінити ефективність методів маршрутизації і дати рекомендації щодо їх застосування.

Етапи методики.

1. Аналіз функціонування мережі SDN та завдання вихідних даних:

Параметри мережі SDN:

- розмірність мережі (число вузлів мережі, її діаметр і площа);
- параметри вузлів мережі, що описані на різних рівнях: фізичному (частота, вид модуляції, і т.д.), каналному (методи доступу), мережевому (досліджуваний метод маршрутизації U_p , метод управління навантаженням і ін.), транспортному, апаратному (обсяг буферів, продуктивність процесора тощо);
- параметри каналів: швидкість передачі, часові затримки каналів тощо;
- параметри топології: вихідна топологія, тип місцевості, середня ступінь зв'язності вузла мережі, величина топологічних змін мережі v , сценарії її поведінки та ін.
- параметри інформаційного обміну в мережі:

вимоги до якості інформаційного обміну; $\Gamma = \|g_{ij}^\xi(t)\|$ – значення вхідного навантаження між i -м і j -м абонентами повідомленнями ξ -го типу.

Параметри досліджуваної множини методів маршрутизації:

$$\{U_p\} = \{U_p^3, U_p^{3b}, U_p^{ob}, U_p^p, U_p^A\},$$

$p=1 \dots P$, де U_p^3 – збір і розсилка маршрутною інформації; U_p^{3b} – зберігання маршрутною інформації; U_p^{ob} – обчислення маршрутів; U_p^p – ретрансляція (передача) пакета; U_p^A – додаткові алгоритми управління мережею.

2. Вибір показників ефективності функціонування методів маршрутизації.

Показники ефективності методів маршрутизації доцільно розбити на три групи: глобальні, локальні і експлуатаційно-фінансові [2, 5].

Глобальні показники. Маршрутизація виступає в ролі підсистеми системи управління мережі SDN і тому необхідно оцінювати її ефективність за показниками функціонування самої мережі, таких як:

– пропускна здатність – $\rho = V_{\text{дип}}/V_{\text{зип}} (S = N_{\text{дип}}/N_{\text{зип}})$, де $V_{\text{дип}}$ – обсяг (кількість) доставлених адресатам із заданою якістю $N_{\text{дип}}$ інформаційних повідомлень, $V_{\text{зип}} (N_{\text{зип}})$ – обсяг (кількість) згенерованих відправниками інформаційних повідомлень;

– середній час затримки передачі повідомлень – $\bar{t}_3 = \sum_{i=1}^{N_{\text{дип}}} t_{\text{дип}i} / N_{\text{дип}}$, де $t_{\text{дип}i}$ – час доставки i -го інформаційного повідомлення;

– ефективність використання службових повідомлень $\delta = V_{\text{сп}}/V_{\text{дип}} (\delta = N_{\text{сп}}/N_{\text{дип}})$, де $V_{\text{сп}} (N_{\text{сп}})$ – обсяг (кількість) службових повідомлень, переданих в мережі. Зауважимо, що до службової інформації відноситься не тільки службові пакети (маршрутні повідомлення, зонди, квитанції, hello-повідомлення), а також інформація в заголовках пакетів;

– оптимальність маршруту $m_0 = \sum_{N_{\text{дип}}} (l_{\text{дип}} - l_{\text{кр}}) / N_{\text{дип}}$, де $l_{\text{дип}}$ – довжина маршруту для доставляння адресату $N_{\text{дип}}$ інформаційних повідомлень, $l_{\text{кр}}$ – найкоротший маршрут, отриманий за допомогою алгоритму Дійкстра.

Локальні показники. Методи маршрутизації вимагають додаткових витрат часу і ресурсів мережі для передачі службової інформації, а також ресурсів зберігання вираховувати маршрути. Тому для порівняння методів маршрутизації можна використовувати такі локальні показники:

– R_1 – час, необхідний для побудови маршруту (тимчасова складність методу) – даний параметр особливо важливий для зондових методів маршру-

тизації.

– R_2 – кількість (обсяг) сервісних повідомлень, які використовуються для побудови маршруту (зв'язкова складність методу);

– R_3 – розміри маршрутних таблиць і алгоритм обчислення маршрутів (обчислювальна складність методу).

До третьої групи слід віднести економічні та експлуатаційні показники. Вони характеризують фінансові витрати на розробку програмного забезпечення маршрутизаторів, їх розгортання і експлуатацію.

3. Перевірка вихідної множини методів маршрутизації $\{U_\rho\}$, $\rho=1\dots P$ на задоволення вимог $\{TR_q\}$, $q=1\dots Q$ та формування допустимої множини $\{U_\rho\}_{\text{доп}}$.

4. Оцінка локальних показників ефективності методів маршрутизації (тимчасова, зв'язкова і обчислювальна складність методу) множини $\{U_\rho\}_{\text{доп}}$ і вибір ефективного методу в своєму класі.

Модель мережі: мережа представляється ненаправленим графом $G = (N, L)$, де N – число вузлів, L – число каналів, d – її діаметр. Допущення: ідентичність маршрутних рішень кожного методу після топологічного зміни в мережі, передача службових повідомлень без помилок, коригування маршрутних таблиць відбувається "синхронно":

– обчислення (доказ) значень локальних показників ρ -го методу маршрутизації при топологічній зміні в мережі – $R_\rho^j = O(y_\rho^j(x))$, де $y(x)$ – многочлен та $x = (N, L, d)$.

– порівняння методів маршрутизації щодо переваги: $R^2 \succ R^1 \succ R^3$ (критерієм ефективності є наступне співвідношення: якщо $R_l^j < R_k^j$ при однакових маршрутних рішеннях, то l -й метод ефективніше k -го по j -му показнику) і визначення множини переваги $\{U_\rho\}_{\text{пер}} \subseteq \{U_\rho\}_{\text{доп}}$.

5. Побудова імітаційних моделей: моделі функціонування мережі SDN, моделей функціонування методів маршрутизації $\{U_\rho\}_{\text{пер}}$ (рис. 3).

6. Планування експериментів і реалізація плану експериментів (отримання залежностей глобальних показників ефективності ρ, t_3, δ, m_0 при різних умовах функціонування мережі – N, v, g, \bar{c}).

7. Аналіз та інтерпретація результатів моделювання. Вибір найбільш ефективного (оптимального) методу маршрутизації здійснюється за наступними критеріями: $\max \rho, \min t_3, \min V_{\text{сп}}/V_{\text{дп}}, \min m_0$ на різних інтервалах зміни умов функціонування мережі.

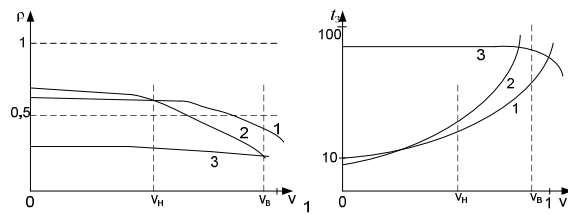
Існують також показники економічної ефективності управління з використанням засобів обчислювальної техніки.

До цієї групи можна віднести такі показники як:

а) річний економічний ефект;

б) ефект економічної ефективності капітальних вкладень;

в) термін окупності капітальних вкладень.



1 – зондовий метод маршрутизації; 2 – таблицно-орієнтований метод маршрутизації; 3 – волновий метод маршрутизації

Рисунок 3. Ефективність методів маршрутизації (продуктивність ρ , час затримки передачі пакетів t_3) при зміні топології v та різних методи маршрутизації U_ρ при фіксованих значеннях вхідного навантаження g та розмірності мережі N .

Величина річного економічного ефекту визначається як різниці приведених витрат. Наведені витрати являють собою суму поточних витрат і капіталовкладень, приведених до єдиного розміру за допомогою нормативного коефіцієнта економічної ефективності і визначаються за формулою:

$$Z_{\text{п}} = C + E_{\text{н}} \times K, \quad (12)$$

де C – поточні витрати; $E_{\text{н}}$ – нормативний коефіцієнт економічної ефективності; K – капіталовкладення.

Величина річного економічного ефекту ($E_{\text{р}}$) визначається за формулою:

$$E_{\text{р}} = Z_{\text{п}_1} - Z_{\text{п}_2} = (C_1 + E_{\text{н}}K_1) - (C_2 + E_{\text{н}}K_2) + (C_1 - C_2) - E_{\text{н}}(K_2 - K_1), \quad (13)$$

де базовий елемент відзначений цифрою 1, а розглянутий – 2.

Коефіцієнт економічної ефективності ($E_{\text{е}}$) визначається за формулою:

$$E_{\text{е}} = \frac{C_1 - C_2}{K_1 - K_2}. \quad (14)$$

Термін окупності визначається за формулою:

$$T_{\text{ок}} = \frac{1}{E_{\text{е}}}. \quad (15)$$

Висновки й перспективи подальших досліджень

Ефективність роботи системи управління визначається ефективністю роботи телекомунікаційної мережі. Система управління досить ефективна, якщо вона забезпечує заданий приріст показника її ефективності.

Оцінка ефективності будь-якої системи служить завданням винайдення найбільш раціональної структури системи управління та приймання конкретних рішень щодо організації управління телекомунікаційною мережею.

За отриманими результатами розрахунку ефективності по кожному показнику, які були обрані, посадова особа, що приймає рішення, досліджує можливість виконання завдань системою управління з необхідним рівнем якості.

При оцінці ефективності системи управління телекомунікаційними мережами необхідно спочатку визначити головний показник ефективності, а потім відібрати часткові для отримання більш чіткої картини стану телекомунікаційної мережі. Введення будь-якого інтегрального показника ефективності тільки обмежить сприйняття реальної ситуації в телекомунікаційній мережі та її системи управління. Розрахунок загального інтегрального показника ефективності системи зв'язку недоцільний, оскільки якісне функціонування системи зв'язку характеризується нижньою межею кожного з часткових показників, нижче якого уся система в цілому перестав функціонувати з потрібною якістю або стає функціонально непридатною. Ряд авторів [1, 7] пропонують використовувати просторову оцінку ефективності телекомунікаційної мережі, але це тільки змінює уявлення про оцінку ефективності, а суть залишається такою ж.

Таким чином, показник ефективності телекомунікаційної мережі W , який складається з набору окремих показників – $W_{Ц}$ – показників цільової ефективності телекомунікаційної мережі, $W_{Т}$ – показників технічної (технологічної) ефективності телекомунікаційної мережі, $W_{Е}$ – показників економічної ефективності телекомунікаційної мережі, буде характеризувати ефективність системи управління телекомунікаційною мережею по частковим показникам ефективності телекомунікаційної мережі: часу реакції; пропускної здатності; затримки передачі та варіації затримки передачі, об'єму службового трафіку, часу циклу управління. На його основі можна проводити порівняльну оцінку різних мереж зв'язку.

Показник ефективності телекомунікаційної мережі W може бути застосований для оцінки окремих елементів мереж зв'язку, а також засобів реалізації служб і послуг зв'язку, функціональних модулів адаптації, маршрутизації і комутації, передавання інформації на всіх рівнях телекомунікаційної мережі, а також автоматизованих систем управління мережами зв'язку, систем технічної експлуатації і т.д.

Література

1. **Цыбизов А.А.** Оценка эффективности сетей связи / А.А. Цыбизов. – Рязань: Вестник РГРТУ. – 2009. – № 3 (выпуск 29). 2. **Миночкин А.И.** Маршрутизация в мобильных радиосетях – проблема и пути решения / А.И. Миночкин, В.А. Романюк. – Київ: Зв'язок. – 2006. – № 7. – С. 49 – 55. 3. **Новіков В. І.** Метод адаптивного управління маршрутизацією в умовах нестабільності зв'язків між вузлами безпроводової сенсорної мережі / В. І. Новіков. – Київ: Вісник АМУ серія «Техніка». – 2015. – Випуск 2 (10). – С. 137 – 144. 4. **Денисов Е.А.** Комплексная оценка эффективности методов иерархической распределенной адаптивной маршрутизации в корпоративных вычислительных сетях: дис. канд. тех. наук: 05.13.13/ Денисов Егор Алексеевич. – Москва, 2002. – 174 с. 5. **Романюк В.А.** Методы и алгоритмы маршрутизации информационных потоков в автоматизированных сетях радиосвязи с динамической топологией: дис. доктора. тех. наук: 20.02.12/ Романюк Валерий Антонович. – Киев, 2003. – 354 с. 6. **Сидоренко И.А.** Оценка эффективности

систем спутниковой связи на *GEO, MEO* и *LEO* орбитах/ И.А. Сидоренко, М.А. Евтушенко. Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: экономика. Информатика. – 2015. – № 19 (216). – Випуск 36/1. – С. 160 – 169. 7. **Карганов В.В.** Показатель оценки эффективности систем связи и их элементов/ В.В. Карганов, А.Г. Расчесова, Кудряшов В.А. Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. Информатика. Телекоммуникации. Управление. – 2016. – № 1 (236). – С. 7 – 13. 8. **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 ВІПІ. – 2016. № 1. – С. 6 – 18. 9. **Бовда Е.М.** Методологія синтезу автоматизованої системи управління телекомунікаційними системами військового призначення/ Е.М. Бовда, О.В. Жук, В.А. Романюк // Збірник наукових праць ВІПІ. – 2017. № 1. – С. 14 – 27.

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫМИ СЕТЯМИ

Эдуард Николаевич Бовда (канд. техн. наук)
Оксана Григорьевна Гаврилюк
Олександр Миколайович Гук

Военный институт телекоммуникаций и информатизации, Киев, Украина

В статье проведен анализ существующих подходов и методов оценки эффективности телекоммуникационной сети и ее системы управления. Рассмотрены понятие эффективности, классификация и существующие подходы по ее оценке. Приведен ряд показателей эффективности телекоммуникационной сети, которые характеризуют целевую, техническую (технологическую), экономическую эффективность телекоммуникационной сети. Рассмотрены показатели эффективности системы управления телекоммуникационной сетью. Представленная методика оценки эффективности методов маршрутизации, как подсистемы управления маршрутизацией системы управления телекоммуникационной сети, которая состоит из семи этапов. Показатели

эффективности методов маршрутизации при этом рассматриваются как три группы показателей, которые делятся на глобальные, локальные и эксплуатационно-финансовые. Приведена эффективность методов маршрутизации (по параметрам производительности, времени задержки передачи пакетов) при изменении топологии и различных методах маршрутизации при фиксированных значениях входной нагрузки и размерности сети. Показано, что эффективность системы управления определяется эффективностью телекоммуникационной сети.

Ключевые слова: эффективность, система управления, телекоммуникационная сеть, показатель эффективности.

METHOD OF EVALUATION OF THE EFFICIENCY OF TELECOMMUNICATION NETWORK MANAGEMENT SYSTEM

Eduard N. Bovda (Candidate of Technical Sciences)

Oksana G. Gavriliuk

Oleksandr M. Guk

Military Institute of Telecommunications and Informatization, Kyiv, Ukraine

The article analyzes existing approaches and methods for assessing the efficiency of a telecommunication network and its management system. The concept of efficiency, classification and existing approaches to its evaluation are considered. A number of indicators of telecommunication network efficiency characterizing the target, technical (technological), economic efficiency of the telecommunication network are given. The indicators of efficiency of the telecommunication network management system are considered. The method of estimation of efficiency of routing methods as a subsystem of routing management of a telecommunication network management system, which consists of seven stages, is presented. Indicators of the effectiveness of routing methods are considered as three groups of indicators, which are divided into global, local and operational financial. The efficiency of routing methods (by parameters of productivity, packet delay time) is given when changing the topology and different routing methods for fixed input load and network dimension. It is shown that the efficiency of the control system is determined by the efficiency of the telecommunication network.

Key words: efficiency, management system, telecommunication network, efficiency indicator.

References

- 1. Сыбызов А.А.** Оценка эффективности сетей связи [Evaluation of the efficiency of communication networks]/ А.А. Сыбызов. – Рязань: Vestnyk RGHRTU. – 2009. – # 3 (выпуск 29).
- 2. Мыночкын А.У.** Маршрутизация в мобильных радиосетях – проблема и пути решения [Routing in mobile radio networks is a problem and solutions]/ А.У. Мыночкын, В.А. Романчук. – Киев: Zv'jazok. – 2006. – # 7. – С. 49 – 55.
- 3. Новиков В. И.** Метод адаптивного управления маршрутизацией в условиях нестабильности зв'язки мизх вузлами безпроводової сенсорної мережі [Method of adaptive routing management in conditions of instability of connections between nodes of wireless sensor network]/ В. И. Новиков. – Киев: Visnyk AMU serija «Tekhnika». – 2015. – Выпуск 2 (10). – С. 137 – 144.
- 4. Денисов Е.А.** Комплексная оценка эффективности методов иерархической распределенной адаптивной маршрутизации в корпоративных вычислительных сетях: дис. канд. техн. наук: 05.13.13 [Comprehensive evaluation of hierarchical distributed adaptive routing methods in enterprise computing networks]/ Денисов Егор Алексеевич. – Москва, 2002. – 174 с.
- 5. Романчук В.А.** Методы и алгоритмы маршрутизации информационных потоков в автоматизированных сетях радиосвязи с динамической топологией: дис. доктора. техн. наук: 20.02.12 [Methods and algorithms for routing information flows in automated radio networks with dynamic topology]/ Романчук Валерий Антонович. – Киев, 2003. – 354 с.
- 6. Сидоренко Я.А.** Оценка эффективности систем спутниковой связи на GEO, MEO и LEO орбитах [Estimation of the efficiency of satellite communication systems in GEO, MEO and LEO orbits]/ Я.А. Сидоренко, М.А. Евтushenko. Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: экономика. Информатика. – 2015. – # 19 (216). – Выпуск 36/1. – С. 160 – 169.
- 7. Карганов В.В.** Показатель оценки эффективности систем связи и их элементов [Indicator of the evaluation of the effectiveness of communication systems and their elements]/ В.В. Карганов, А.Г. Расчесова, Кудряшов В.А. Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного технического университета. Информатика. Телекоммуникации. Управление. – 2016. – # 1 (236). – С. 7 – 13.
- 8. Bovda E.M.** Концептуальні основи синтезу автоматизованої системи управління зв'язком військовогоро призначення [Conceptual bases of the synthesis of the automated military management system for military purposes]/ E.M. Bovda, Ju.A. Plughovij, V.A. Romanjuk // Zbirnyk naukovykh prac VITI. – 2016. # 1. – С. 6 – 18.
- 9. Bovda E.M.** Методологія синтезу автоматизованої системи управління телекомунікаційними системами військовогоро призначення [Methodology of the synthesis of the automated control system of military telecommunication systems]/ E.M. Bovda, O.V. Zhuk, V.A. Romanjuk // Zbirnyk naukovykh prac VITI. – 2017. # 1. – С. 14 – 27.