

УДК 621.391

О.А. Дробот

Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба

## МЕТОД ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ГАРАНТОВАНОЇ ЯКОСТІ ОБСЛУГОВУВАННЯ ІНФОРМАЦІЙНОГО ТРАФІКА ДЛЯ ІНФОКОМУНІКАЦІЙНОЇ МЕРЕЖІ ВІЙСЬКОВОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

У статті запропоновано один з напрямків модернізації військових засобів інфокомунікацій який полягає в удосконаленні алгоритмів, які закладені в сучасні засоби маршрутизації, розподілу каналних і буферних мережних ресурсів. Пропонується застосування методу забезпечення гарантованої якості обслуговування інформаційного трафіку (ІТ) для військової інфокомунікаційної мережі (ВІМ) що сприяє підвищенню масштабованості рішень, зниженню об'ємів створюваного службового трафіку, розмірності і обчислювальній складності реалізації завдань забезпечення гарантованої якості обслуговування для подальшого підвищення продуктивності роботи ВІМ в мирний час.

**Ключові слова:** інфокомунікаційна мережа, маршрутизація, розподіл ресурсів, гарантована якість обслуговування, мережа зв'язку.

### Вступ

#### Постановка проблеми й аналіз літератури.

З проведеного аналізу сучасного світового досвіду розвиток військових інфокомунікаційних мереж (ВІМ), обумовлює постійну необхідність збільшення мережних ресурсів в інтересах існуючих користувачів мереж зв'язку [1 – 3]. Так, з'являється необхідність об'єднання локальних обчислювальних мереж штабів в єдину мережу, для організації відкритого і "закритого" документообігу, створення систем відеонагляду і відеозв'язку.

Існуюча на теперішній час в Україні ВІМ за такими основними характеристиками, як пропускна здатність (ПЗ), надійність, та швидкість передачі інформації, вже не задовольняє потреб управління Повітряних Сил (ПС) Збройних Сил (ЗС) України у повному обсязі і має ряд суттєвих вад, які стримують не тільки її подальший розвиток, а й можуть у майбутньому призвести до порушення управління. Такий стан системи зв'язку, АСУ та РТЗ ПС ЗС України вимагає вжиття певних заходів щодо її вдосконалення для подальшого забезпечення зростаючих потреб управління військами [1].

Підходи до вирішення задачі створення перспективної ВІМ у розробників з різних країн світу в основному співпадають. Відповідними основними принципами які в них покладені є:

1. Будуються на основі концепції відкритих систем, які дозволяють в подальшому включати в них технології майбутнього (Traffic Engineering, MultiPath Routing, QoS-based Routing и Load-Balanced Routing).

2. Новітні технології повинні бути сумісними з системами, які використовуються в теперішній час.

3. Створюються на основі загальних стандартів, щоб в умовах багатонаціонального середовища або

при взаємодії різноманітних видів ЗС вони забезпечували повну сумісність обладнання для досягнення узгодженості дій учасників операцій.

4. Створення та втілення в війська новітніх систем повинно бути здійснено з мінімальними фінансовими затратами.

Для світового технічного прогресу одним з характерних напрямків модернізації засобів інфокомунікацій є удосконалення принципів, методів та алгоритмів які закладені в сучасні засоби маршрутизації, розподілу каналних і буферних мережних ресурсів. При цьому треба враховувати що перспективні моделі і методи повинні носити системний характер, гарантувати необхідний рівень обслуговування (Quality of Service, QoS), враховувати характеристики обслуговуваних інформаційних трафіків (ІТ), можливу зміну стану ВІМ, а також необхідність розширення переліку структурно-функціональних параметрів і характеристик, по яких здійснюється адаптація до змін умов функціонування мережі. Існуючі рішення, базуються переважно на евристичних схемах і спрощених математичних моделях (ММ), визначаючи в тому або іншому виді зміст і ефективність відповідного протоколу управління [4 – 6].

Як показав проведений аналіз [4-7], одним з досить конструктивних являється підхід заснований на забезпеченні узгодженого рішення завдань маршрутизації і розподілу каналних ресурсів (КР) у рамках поточних ММ. Використання поточних ММ дозволять забезпечити цілісний математичний опис ВІМ, як складної організаційно - технічної системи, з реалізацією широкого переліку вимог відносно гарантованого QoS ІТ, і висунених раніше принципів.

**Постановка задачі.** Пропонується застосування методу забезпечення гарантованої якості обслу-

говування ІТ для ВІМ з метою підвищення масштабованості рішень, що сприятиме зниженню об'ємів створюваного службового трафіку, розмірності і обчислювальній складності реалізації завдань забезпечення гарантованого QoS ІТ для подальшого підвищення продуктивності роботи ВІМ в мирний час.

### Основна частина

Запропонований метод ґрунтується на адаптивному виборі структури оверлейних мереж (Overlay Network, ON) і комплексному рішенні завдань багатопроцесорної маршрутизації (БШМ) і динамічного розподілу каналних ресурсів (ДРКР) [7].

У рамках цього методу для узгодженого вирішення завдань БШМ і ДРКР пропонується використовувати комплексну модель управління трафіком із забезпеченням гарантованого QoS [4]. У рамках цієї ММ реалізується вимога мультисервісності, мінімізується вартість використання КР і забезпечується узгоджене рішення завдань БШМ, ДРКР і гарантованого QoS за часовими, швидкісними показниками і показниками надійності.

Основу моделі складають ряд умів. Передусім, це умова збереження потоку для трафіків  $\theta$ -ої служби:

$$\gamma_{ij}^{(\theta)} = r_{ij}^{(\theta)} + \sum_{s \in M_i} \gamma_{sj}^{(\theta)} \phi_{ji}^{s(\theta)}$$

при

$$\sum_{j \in M_i} \gamma_{ij}^{(\theta)} \phi_{js}^{i(\theta)} = \lambda_{is}^{(\theta)} \quad (\theta = \overline{1, \Theta}), \quad (1)$$

$$\phi_{js}^{i(\theta)} = \begin{cases} 0, & \text{якщо } i = j; \\ \geq 0, & \text{якщо } i \neq j \end{cases}$$

і

$$\sum_{s \in M_i} \phi_{js}^{i(\theta)} = 1, \quad (2)$$

де  $\Theta$  – множина підтримуваних мережею служб;

$\gamma_{ij}^{(\theta)}$  – інтенсивність потоку  $\theta$ -ої служби в  $i$ -ту вузлі, визначається як доданок вхідного потоку і потоку, що поступає на  $i$ -й вузол від суміжних вузлів для  $j$ -го вузла;

$\phi_{js}^{i(\theta)}$  – маршрутна змінна, що чисельно характеризує долю потоку  $\gamma_{ij}^{(\theta)}$ , що протікає з  $i$ -го вузла по тракту  $l_{is}$ ;

$r_{ij}^{(\theta)}$  – інтенсивність вхідного трафіку  $\theta$ -ої служби, що поступає в мережу через  $i$ -й вузол і адресованого  $j$ -му вузлу;

$\lambda_{ij}^{(\theta)}$  – інтенсивність трафіку  $\theta$ -ої служби в тракті  $l_{ij}$ .

Виконання умови збереження потоку для трафіків  $\theta$ -ої служби (1) з одночасним обмеженням на маршрутні змінні (2) дає можливість реалізувати вимогу, пов'язану з реалізацією БШМ і забезпеченням збалансованого завантаження ВІМ. Описати динамічний характер розподілу КР можна, доповнивши умови відсутності перевантаження трактів передачі (ТП) обмеженням на кількість використовуваних КР:

$$0 \leq \lambda_{is}^{(\theta)} \leq \phi_{ij}^{(\theta)}; \quad (3)$$

$$\phi_{ij} \beta_{ij}^{(\theta)} = \phi_{ij}^{(\theta)} \quad (0 \leq \beta_{ij}^{(\theta)} \leq 1); \quad (4)$$

$$\sum_{\theta=1}^{\Theta} \phi_{ij}^{(\theta)} \leq \phi_{ij} \quad \text{чи} \quad \sum_{\theta=1}^{\Theta} \beta_{ij}^{(\theta)} \leq 1 \quad (5)$$

$$\beta_{\sigma}^{(\theta)} = \text{var}, \quad \text{Pr} = \text{Var}. \quad (6)$$

де  $\beta_{ij}^{(\theta)}$  – доля виділеного каналного ресурсу для трафіку  $\theta$ -ої служби в тракті  $l_{ij}$ , яка може переобчислюватися та оновлюватися разом з маршрутними таблицями;

$\phi_{ij}^{(\theta)}$  – виділена кількість для трафіків  $\theta$ -ої служби в тракті  $l_{ij}$ ;

$\text{Pr}$  – загальна кількість пріоритетів.

Додаткова група обмежень, пов'язана з формулюванням достатніх умов забезпечення QoS, в загальному випадку має вигляд:

$$\tau^{(\theta)} \leq \tau_{\text{ддд}}^{(\theta)}; \quad \sigma^{(\theta)2} \leq \left[ \sigma_{\text{ддд}}^{(\theta)} \right]^2; \quad P_{\text{ддд}}^{(\theta)} \leq p, \quad (7)$$

де  $r_{(z)\text{ддд}}^{(\theta)}$ ,  $\tau_{(z)\text{ддд}}^{(\theta)}$ ,  $\sigma_{(z)\text{ддд}}^{(\theta)}$ ,  $P_{(z)\text{ддд}}^{(\theta)}$  – необхідні значення вибраних показників QoS відповідно до швидкості передачі, середньої затримки, джиттера і вірогідності своєчасної доставки пакетів трафіків  $\theta$ -ої служби, між  $i$ -ою парою вузлів мережі.

У роботі [4] за допомогою тензорного аналізу мереж ці загальні умови (7) представлені аналітичними виразами, тобто у вигляді залежності чисельних значень того або іншого показника QoS від структурних і функціональних параметрів ВІМ в умовах реалізації БШМ.

Для мінімізації об'єму використовуваних КР при забезпеченні QoS, як критерій оптимальності отримуваних рішень, використаний вартісний критерій:

$$D = \min_{\lambda, \phi} \sum_{\theta=1}^{\Theta} \sum_{i=1}^m \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^m \alpha_{ij}^{(\theta)} \phi_{ij}^{(\theta)}, \quad (8)$$

де  $\alpha_{ij}^{(\theta)}$  – умовна вартість використання (резервування) одиниці каналного ресурсу для трафіків  $\theta$ -ої служби в тракті  $l_{ij}$ .

Варто врахувати, що при розрахунку потоків і розподілі ПЗ у рамках ММ (1) – (8) забезпечувався роз-

рахунок шляхів, уздовж яких забезпечується гарантії QoS одночасно за декількома показниками (7). При цьому, як відмічено в роботі [4], використання лінійної цільової функції в ході управління трафіком дозволяє реалізувати БШМ з послідовним включенням шляхів, яка з практичної точки зору є економічнішою при технологічній реалізації, чим маршрутизація по всім доступним маршрутам. Причому кожен наступний маршрут "включався", коли вже використані шляхи не забезпечують заданий рівень QoS. Всі розраховані маршрути є орієнтованим графом рішень.

З урахуванням використання ММ (1) – (8) узагальнена структура методу є ієрархічною структурою, що складається з етапів відповідно до вирішуваних завдань.

Етап 1. Аналіз початкових даних для вирішення завдання:

- аналіз структури ВІМ (числа вузлів, каналів зв'язку, зв'язності мережі);
- аналіз кількості і змісту підтримуваних  $\Theta$  ;
- аналіз вимог до QoS для трафіку  $\theta$ -ої служби відповідно до договору на обслуговування (SLA).

Етап 2. Адаптивний вибір структури ON для кожної пари вузлів "відправник-одержувач" [7] (рис. 1).

Після аналізу початкових даних здійснюється вибір ON, по якій надалі здійснюються усі розрахунки. Для визначення структури ON пропонується використовувати алгоритми розрахунку мультипутей. Їх застосування засноване на переході від формалізації завдань знаходження найкоротшого шляху в мережі до опису завдань пошуку шляхів - мультипутей (multipath). У результаті розрахунків визначається мультипуті, оптимальний у рамках вибраної метрики, який і приймається як структура оверлейної мережі.

Можливі декілька варіантів рішення задачі вибору ON від рівня QoS -требований і завантаженості мережі. На основі аналізу завантаженості ВІМ ( $\rho$ ) приймається рішення про використання того або іншого алгоритму для вибору структури ON для кожної пари вузлів. Встановлено, що у разі, якщо  $\rho \leq (0,65...0,7)$ , вибір структури ON краще здійснювати за допомогою графокомбінаторних алгоритмів пошуку найкоротшого мультипути: (ROAM (Routing On-Demand Acyclic Multipath); MDVA (multipathdistance vector algorithm); MPATH (Multipath Routing Algorithm) та інш.) [6,8]. У разі, якщо  $\rho > (0,65...0,7)$ , або при  $\rho \leq (0,65...0,7)$  та високих QoS -требований вибір структури ON здійснюється за допомогою алгоритмів пошуку k -кратчайших шляхів [8].

Етап 3. На вибраній структурі здійснюється розрахунок маршрутних змінних і змінних управління КР у рамках описаної ММ (1) – (8). Етап 4. Отримані рішення аналізуються на предмет виконання умов забезпечення гарантованого QoS (7). У разі невиконання умов необхідно переглянути вибір структури ON [6].

Якщо після вибору нової структури ON і рішення комплексної задачі вимоги не виконуються, необхідно переглянути початкові дані (етап 1) у бік послаблення QoS – вимог, якщо це можливо. Інакше деякі трафіки, як правило менш пріоритетні, дістають відмову в обслуговуванні. Для дослідження ефективності запропонованого методу в умовах розподіленого управління мережевими ресурсами розглядалися можливі варіанти підструктури магістральної мережі між підрозділами штабів оперативно-тактичного рівню (підмережі А, Б) (рис. 1) мережі Укртелеком.



Рис. 1. Варіант загальної схеми державної цифрової мережі зв'язку України та виділені мережі між штабами (варіант мереж: А – зв'язок Київ-Одеса; Б – зв'язок Київ-Львів)

Враховуючи значний потенціал розвитку ринку послуг передачі даних та реагуючи на вже існуючий попит, Укртелеком створює відповідні мережі зв'язку, на базі яких і планується побудова військової мережі.

Для наочності розглядався одиноподуктовий випадок, а полюсами виступали вузли 1 (Київ) і 10 (Львів). Аналізувався випадок коли мережа завантажена максимально.

У результаті розрахунків від вузла 1 до вузла 10 буде встановлено чотири шляхи:

$P_{1,10}^1$  : вузли 1 - 2 - 4 - 6 - 10;

$P_{1,10}^2$  : вузли 1 - 3 - 5 - 7 - 10;

$P_{1,10}^3$  : вузли 1 - 3 - 8 - 9 - 10;

$P_{1,10}^4$  : вузли 1 - 3 - 8 - 7 - 10.

Результати рішення представлені в таблиці 1. Як бачимо з таблиці затримка вздовж кожного маршруту складатиме 0,9 с (таблиця 1), що задовольняє вимогам (7).

Таблиця 1

Результати рішення задачі QoS

Необхідні значення показників QoS	$(\Gamma_{\text{дод}}^{(\theta)}) 1000$ (ед.); $(\tau_{\text{дод}}^{(\theta)}) \leq 0.9$ (с) $p=0.97$											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Номер тракту передачі	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
ПЗ тракту ( $\phi$ ) (Мбіт/с)	200	800	200	800	200	800	800	200	800	800	200	800
Інтенсивність трафіку в ТП	194	776	194	428	194	347	347	79	349	426	194	349
Доля виділеного КР в трактах	0.9700	0.9700	0.9700	0.5359	0.9700	0.4341	0.4341	0.3974	0.4365	0.5335	0.9700	0.4365
Середня затримка ( $\tau$ ) в ТП	0.1667	0.1667	0.0417	0.0027	0.1667	0.0022	0.0022	0.0083	0.0022	0.0027	0.1667	0.0022

Окрім рішення основної задачі по розподілу КР і забезпеченню QoS вимог здійснювалась оцінка масштабованості різних варіантів реалізацій методу (рис 2).

Як вже було раніше відмічено основним завданням алгоритмів вибору структури ON являється їх ідентичність до графа рішень, який має бути отриманий на початковій структурі ВІМ в ході рішення оптимізаційної задачі забезпечення QoS у рамках комплексної моделі (1)-(8).

Масштабованість в роботі оцінювалась по коефіцієнту ідентичності, для розрахунку якого був використаний наступний математичний вираз:

$$k_{\text{д}} = n_{*} / n_{\text{о}} , \tag{9}$$

де  $n_{*}$  – число ТП в оверлейній мережі;  $n_{\text{о}}$  – число ТП в ВІМ, які представлені одночасно і в оверлейній мережі, і в графі рішень.

Як показали результати аналізу (рис. 2, а), із

зростанням завантаженості ВІМ практично для усіх варіантів використання запропонованого методу коефіцієнт ідентичності зростає. При цьому

- в зоні де  $r_0 = 0.1, \dots, 0.3$   $k_{\text{д}} \approx 0.3, \dots, 0.5$  ;
- в зоні  $r_0 = 0.3, \dots, 0.6$   $k_{\text{д}} \approx 0.6, \dots, 0.75$  ;
- в зоні  $r_0 = 0.6, \dots, 0.9$   $k_{\text{д}} \approx 0.7, \dots, 0.9$  ;
- в зоні критичного навантаження  $r_0 = 0.9, \dots, 1$ ,  $k_{\text{д}} \approx 0.85, \dots, 0.95$  .

Значення  $k_{\text{д}}$  (рис. 2) зрештою позначалося на сумарній вартості використання мережевих ресурсів при рішенні завдань забезпечення QoS (рис. 2, б). Чим вище за значення  $k_{\text{д}}$ , тим менше має бути розбіжність у вартості використання каналних ресурсів (8) при рішенні завдань забезпечення QoS, ґрунтуючись на початковій структурі ВІМ або тільки на структурі оверлейної мережі.

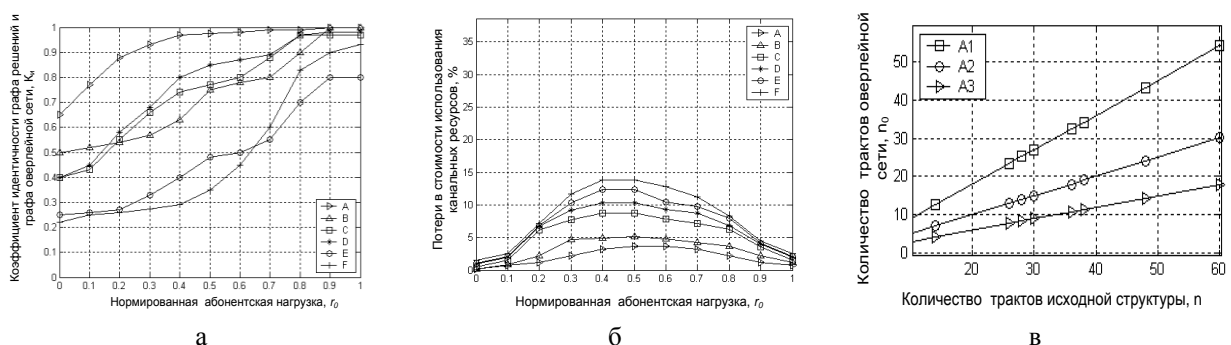


Рис. 2. Результати аналізу якості роботи методу

Це особливо характерно для зони високого і критичного навантаження (рис. 2, б), де розбіжність у вартості в середньому складала 5-7%. Проте при досить високих значеннях  $k_{\text{д}}$  в зоні низьких навантажень спостерігалася переважно ситуація, коли

ON не повторювала граф рішень, але практично містила його як свою підмережу, що також не сприяло зайвому зростанню вартості використання каналних ресурсів. Розбіжності в структурі ON і графа рішень в області середнього навантаження

призводило до підвищення загальної вартості використання мережевих ресурсів в середньому до 11-15% (рис. 2. б). Використання у рамках методу алгоритмів розрахунку ON дозволяє підвищити масштабованість отриманих рішень шляхом скорочення числа трактів передачі, що аналізуються на 2-3 етапі запропонованого методу, в середньому на 30-55% (рис. 2 в). При цьому використання алгоритму пошуку k-кратчайших шляхів (A1) дозволило скоротити число трактів в ON в порівнянні із структурою початкової ВІМ в середньому на 25-55%; використання алгоритму MPATH - в середньому на 40-60% (A2); використання алгоритму MDVA - в середньому на 40-75% (A3)[8].

Результати моделювання дозволили зробити висновок, що використовувати алгоритми вибору структури ON на першому рівні аналізованого методу доцільно при кількості трактів в початковій структурі ВІМ від 15-20 і більшому.

### Висновки

По отриманих результатах можна зробити висновок, що використання методу забезпечення гарантованого QoS знижує складність завдань при однаковій кількості служб в середньому в три-пять разів, оскільки при виборі оверлейної структури знижується не лише число аналізованих трактів передачі, але і число мережевих вузлів.

Розмірність вирішуваних завдань у рамках того або іншого варіанту реалізації методу безпосередньо впливає на годину рішення задачі, яку в цілому визначає період перерахунку, наприклад, маршрутних таблиць і інших дій, що управляють. Загальний час рішення задачі забезпечення гарантованого QoS у рамках практично усіх варіантів реалізації запропонованого методу цілком відповідає значенням таймерів (від 30 до 90 с) використовуваних на практиці протоколів.

### МЕТОД ОБЕСПЕЧЕННЯ ГАРАНТИРОВАННОГО КАЧЕСТВА ОБСЛУЖИВАНИЯ ИНФОРМАЦИОННОГО ТРАФИКА ДЛЯ ИНФОКОМУНИКАЦИОННОЙ СЕТИ ВОЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ

О.А. Дробот

*В статье предложено одно из направлений модернизации военных средств инфокоммуникаций заключающееся в усовершенствовании алгоритмов, которые заложены в современные средства маршрутизации, распределения канальных и буферных сетевых ресурсов. Предлагается применение метода обеспечения гарантированного качества обслуживания информационного трафика (ИТ) для военной инфокоммуникационной сети (ВИМ), что способствует повышению масштабируемости решений, снижению объемов создаваемого служебного трафика, размерности и вычислительной сложности реализации задач обеспечения гарантированного качества обслуживания для дальнейшего повышения производительности работы ВИМ в мирное время.*

**Ключевые слова:** инфокоммуникационная сеть, маршрутизация, распределение ресурсов, гарантированное качество обслуживания, сеть связи.

### A METHOD OF PROVIDING OF THE ASSURED QUALITY OF SERVICE TRAFFIC MAINTENANCE FOR A MILITARY-ORIENTED INFORMATION AND COMMUNICATION NETWORK

O.A. Drobot

*It is offered in the article that one of directions of military infocommunication means modernization which is of improvement of algorithms that are basis of modern route means and means of ported and buffered network resources allocation. Application of the providing assured quality maintenance informative traffic method is offered for a military-oriented information and communication network (MIN), that is useful for increasing of quality of service, reduce of auxiliary traffic, dimension and calculate complication of task realization for the further MIN productivity increasing in a peace-time.*

**Keywords:** infocommunication network, routing, resources allocation, assured quality of service.

### Список літератури

1. Мішин М. Війська зв'язку: «Цифра» як еволюція розвитку [Електронний ресурс] / М. Мішин. – Режим доступу до сайту: <http://mil.in.ua/statti>.
2. Сучасні проблеми інформаційного забезпечення автоматизованих систем управління тактичної ланки Збройних Сил України / М.В. Мальярчук, С.П. Колачов, Ю.П. Недайдіда, А.В. Драглюк // Збірник наукових праць ВІПІ НТУУ «КПІ». – 2009. – №3. – С.40-45
3. Закарян С. Оружие России. Системы радиосвязи шестого поколения для армии [Електронний ресурс] / С. Закарян]. – Режим доступу: <http://www.arms-expo.ru>.
4. Дробот О.А. Комплексная модель обеспечения гарантированного качества обслуживания с реализацией динамических стратегий распределения сетевых ресурсов / О.А. Дробот // Радиотехника: Всеукр. межвед. науч.-техн. сб. – 2007. – № 148. – С. 43 – 54.
5. Обзор и сравнительный анализ основных моделей и алгоритмов многопутевой маршрутизации в мульти-сервисных телекоммуникационных сетях / В.В. Поповский, А.В. Лемешко, Л.И. Мельникова, Д.В. Андрушко // Прикладная радиоэлектроника. – 2005. – Т.4, вып. 4. – С. 72 – 82.
6. Лемешко А.В., Дробот О.А., Добрышкин Ю.Н. Повышение масштабируемости управления трафиком и обеспечения качества обслуживания с использованием оверлейных сетей // Проблемы телекоммуникаций. – 2011. – № 1 (3). – С. 11 – 27. – Режим доступа к журн.: <http://pt.journal.kh>.
7. Лемешко А.В. Методика выбора независимых путей с определением их количества при решении задач многопутевой маршрутизации / А.В. Лемешко, О.Ю. Евсеева, О.А. Дробот // Праці УНДІРТ. – 2006. – № 4(48). – С. 69 – 74.
8. Vutukury S. MPATH: a loop-free multipath routing algorithm / S. Vutukury, J.J. Garcia-Luna-Aceves // Elsevier Journal of Microprocessors and Microsystems. – 2001. – № 24 (6). – P. 319 – 327.
9. Вишневецкий В.М. Теоретические основы проектирования компьютерных систем / В.М.Вишневецкий. – М.: Техносфера, 2003. – 512 с.

Надійшла до редколегії 19.03.2012

**Рецензент:** д-р техн. наук проф. О.В. Лемешко, Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків.