

УДК 621.391

О.В. Лемешко, О.А. Дробот, Ю.М. Добришкін

*Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків*

## **ВАРІАНТИ РЕАЛІЗАЦІЇ АКТИВНИХ ТЕХНОЛОГІЙ НА ВУЗЛАХ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ МЕРЕЖ ВІЙСЬКОВОГО ПРИЗНАЧЕННЯ**

*Запропоновані основні варіанти реалізації активних технологій на вузлах телекомунікаційних мереж військового призначення при розподілі каналних ресурсів у рамках розв'язання задач щодо забезпечення гарантованої якості обслуговування*

*телекомунікаційні мережі військового призначення*

### **Вступ**

Постановка проблеми. Телекомунікаційні мережі військового призначення (ТКС ВП) у відповідності до вимог часу повинні будуватися як високонадійні системи, які здатні забезпечити задані показники якості зв'язку (Quality of Service, QoS) в умовах вогневої та радіоелектронної протидії засобів противника [1]. При цьому задоволення вимог щодо стійкості функціонування ТКС ВП напряду залежить від гнучкості та ефективності розподілу її мережних ресурсів – пропускну здатності трактів передачі (ТП), буферного простору мережних вузлів, характеристик трафіку.

Нажаль сучасні тенденції розвитку ТКС військового та загального призначення свідчать про використання парадигми «stupid network», в рамках якої всі «інтелектуальні» функції розподілу мережного ресурсу винесені на її периметр.

Подібну ситуацію наочно демонструє технологія багатопроTOCOLЬНОЇ комутації міток (Multiprotocol Label Switching, MPLS) [2], у рамках якої до функцій прикордонних вузлів LER (Label Edge Router), насамперед, відносяться класифікація, маркірування й призначення пріоритетів пакетам того або іншого трафіку; маршрутизація від джерела

з розрахунком таблиць і шляхів комутації міток (Label Switch Path, LSP) та ін. До функцій внутрішньомережних (транзитних) вузлів (Label Switch Router, LSR) входить лише розв'язання задач щодо просування пакетів уздовж попередньо розрахованих на прикордонних вузлах шляхів (LSP) на основі аналізу таблиць комутації міток, при цьому зміст переданих даних зазвичай ігнорується. Додати більшу гнучкість і адаптивність процесам розподілу мережних ресурсів у ТКМ ВП покликана технологія активних мереж (Active Network, AN) [3, 4], у рамках якої "інтелект" мережі рівномірно розподілено по всіх мережним вузлам – активним вузлам.

У свою чергу, функції транзитних вузлів значно розширюються за рахунок можливості розв'язання ними таких важливих мережних задач, як адаптивна зміна пріоритетів, фрагментації (дефрагментації), стиску й маршрутизації пакетів.

Таким чином, актуальною представляється проблема обґрунтування вибору варіантів реалізації активних технологій на мережних вузлах ТКМ ВП, що стосується не тільки технічного аспекту, але й теоретичних питань, пов'язаних з переглядом моделей та методів управління мережними ресурсами.

**Аналіз літератури.** Сучасні мережні вузли – це складні апаратно-програмні комплекси, які здатні забезпечити терабітні швидкості обробки пакетів [5]. Наприклад, маршрутизатор TSR-40 від компанії Avicis забезпечує швидкість до 5,6 Тбіт/с, а маршру-

тизуюча платформа Routing Core Platform 7770 компанії Alcatel забезпечує продуктивність близько 20 Тбіт/с. Це досягається, перш за все, за рахунок використання спеціалізованих інтегральних схем ASIC (Application-Specific Integrated Circuits), а також мікросхем надвеликого ступеня інтеграції VLSI (Very Large-Scale Integration), які є повністю програмувальними мережними процесорами. За рахунок застосування спеціальних мікросхем ASIC маршрутизатор у змозі обробляти на кожній лінійній карті мільйони нових потоків у секунду.

Нажаль, темпи підвищення продуктивності сучасних мережних вузлів суттєво випереджають розвиток їх програмного забезпечення, за допомогою якого і розв'язується основний перелік задач щодо управління мережними ресурсами та забезпечення QoS. Це пов'язано з тим, що в основу протоколів та механізмів управління каналним, буферним ресурсом та інформаційним трафіком покладено досить примітивні математичні моделі, евристичні схеми та алгоритми обробки пакетів [6]. Вони, як правило, орієнтовані на статичні рішення (рис. 1) щодо призначення пріоритету (IP Precedence, DSCP) (табл. 1), обслуговування черг (CBQ, WFQ) та розподілу пропускну здатності трактів передачі (CBWFQ, LLQ) та ін. (табл. 2). Лише протоколи маршрутизації роблять перші кроки в напрямку динамічного управління за рахунок періодичного (аперіодичного) оновлення маршрутичних таблиць [7].

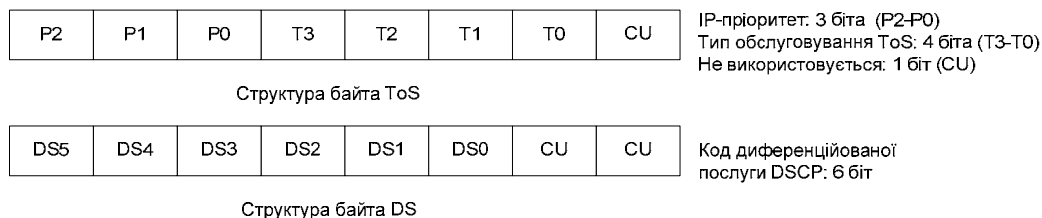


Рис. 1. Структура полів пріоритету в байті типу обслуговування (ToS) та диференційованої послуги (DS)

Таблиця 1

Значення й назви бітів IP-пріоритету й поля DSCP

ToS			DS	
Значення IP - пріоритету	Біти IP - пріоритету	Назва IP - пріоритету	Пріоритет	DSCP
0	000	Стандартний	1	001 000
1	001	Пріоритетний	2	010 000
2	010	Негайний	3	011 000
3	011	Терміновий	4	100 000
4	100	Надстроковий	5	101 000
5	101	Критичний	6	110 000
6	110	Міжмережне управління	7	111 000
7	111	Мережне управління	PHB EF	101 110

Приклади статичного розподілу каналних ресурсів в різних мережних технологіях

Технологія	ATM (на основі категорій послуг)					IP (WFQ /CBWFQ)			
	I	II	III	IV / V		Клас 0	Клас 1	Клас 2	Клас 3
Виделений об'єм ресурсів	max	40%	20%	10%	10%	15%	15%	30%	40%

Запровадження активних технологій на мережних вузлах ТКМ ВП дозволить підвищити гнучкість управління при забезпеченні заданих показників QoS – середньої затримки, джитеру, швидкості передачі, ймовірності правильної/своєчасної доставки пакетів. Це, перш за все, повинно торкнутися способів призначення та адаптивного перегляду пріоритетів пакетів від вузла до вузла, динамічного розподі-

лу пропускної здатності трактів передачі у відповідності до зміни стану ТКМ ВП – деградації або нарощування її структури, варіації завантаженості мережних елементів, коливання абонентського навантаження та змін вимог щодо якості обслуговування.

Основним елементом мережного вузла, що підтримує технологію AN (рис. 2), є активний процесор

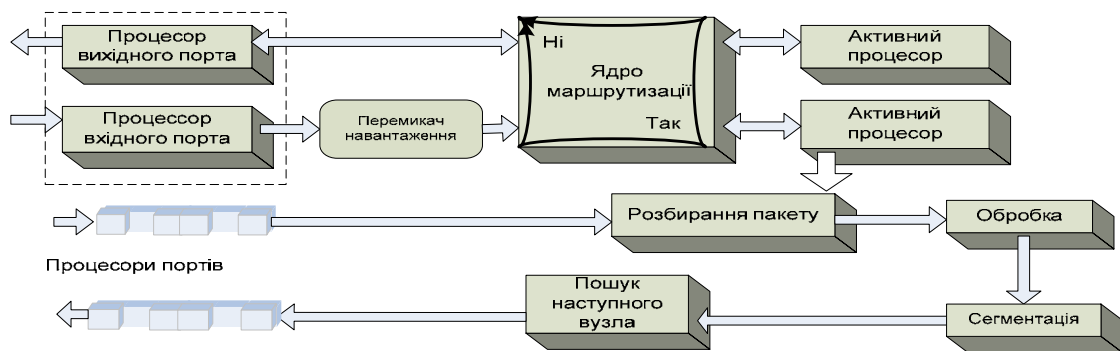


Рис. 2. Узагальнена схема активного вузла

у функції якого додатково входить аналіз керуючої інформації APCI (Active Processing Control Information) у заголовку кожного пакета, що містить ідентифікатор функції й дескриптор, для визначення особливостей його обробки саме на цьому вузлі.

**Метою статті** є обґрунтування вибору варіантів реалізації перспективних математичних моделей та методів розподілу мережних ресурсів в ТКМ ВП за допомогою активних технологій на мережних вузлах у рамках розв'язання задач щодо забезпечення гарантованої якості обслуговування.

**Математична модель управління мережними ресурсами.** Основною вимогою до перспективних моделей, методів, а в кінцевому випадку і протоколів (механізмів) розподілу мережних ресурсів є забезпечення заданих показників QoS на підставі погодженого розв'язання окремих мережних задач: маршрутизації, обслуговування черг, розподілу пропускної здатності трактів передачі та ін. Як показав проведений аналіз [8, 9] на роль базової може претендувати модель розподілу мережних ресурсів, яка представлена наступними рівняннями та нерівностями:

$$\gamma_{ij}^{(\theta)} = r_{ij}^{(\theta)} + \sum_{s \in M_i} \gamma_{sj}^{(\theta)} \phi_{ji}^{s(\theta)}, \quad \sum_{j \in M_i} \gamma_{ij}^{(\theta)} \phi_{js}^{i(\theta)} = \lambda_{is}^{(\theta)}, \quad (1)$$

$$\phi_{js}^{i(\theta)} = \begin{cases} 0, & \text{если } i = j; \\ \geq 0, & \text{если } i \neq j \end{cases} \text{ и } \sum_{s \in M_i} \phi_{js}^{i(\theta)} = 1, \quad (2)$$

де  $\Theta$  – множина класів трафіку, які підтримує ТКМ;  $\gamma_{ij}^{(\theta)}$  – інтенсивність потоку  $\theta$ -го класу в  $i$ -му вузлі;  $\phi_{js}^{i(\theta)}$  – маршрутна змінна, яка чисельно характеризує долю потоку  $\gamma_{ij}^{(\theta)}$ , що протікає з  $i$ -го вузла по тракту  $(i, s)$ ;  $r_{ij}^{(\theta)}$  – інтенсивність вхідного трафіку  $\theta$ -го класу, який поступає в ТКМ через  $i$ -й вузол та адресований  $j$ -му вузлу;  $\lambda_{ij}^{(\theta)}$  – інтенсивність трафіку  $\theta$ -го класу в тракту  $(i, j)$ .

Виконання умови збереження потоку для трафіку  $\theta$ -го класу (1) та обмежень на маршрутні змінні (2) дає можливість виконати вимогу щодо реалізації багатопляхової стратегії маршрутизації та забезпечення збалансованого завантаження ТКМ. Описати динамічний характер розподілу каналних ресурсів можна, доповнивши умови (1), (2) умовами відсутності перевантаження ТП:

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

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

$$\sum_{\theta=1}^{\Theta} \varphi_{ij}^{(\theta)} \leq \varphi_{ij} \quad \text{або} \quad \sum_{\theta=1}^{\Theta} \beta_{ij}^{(\theta)} \leq 1, \quad (5)$$

де  $\varphi_{ij}^{(\theta)}$ ,  $\beta_{ij}^{(\theta)}$  – відповідно загальний об’єм та доля виділеного каналного ресурсу для трафіка  $\theta$ -го класу в ТП  $(i, j)$ .

Базову модель варто доповнити умовами забезпечення гарантованої якості обслуговування, які отримані в аналітичному вигляді за допомогою тензорного аналізу мереж та наведені в роботі [9]. Для мінімізації обсягу використовуваних каналних ресурсів при забезпеченні QoS як критерій оптимальності одержуваних рішень доцільно використати вартісної критерій

$$D = \min_{\lambda, \varphi} \sum_{\theta=1}^{\Theta} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m \alpha_{ij}^{(\theta)} \varphi_{ij}^{(\theta)}, \quad (6)$$

де  $\alpha_{ij}^{(\theta)}$  – умовна вартість використання (резерву-

вання) одиниці каналного ресурсу для трафіку  $\theta$ -го класу в тракті  $(i, j)$ ,  $m$  – загальна чисельність мережних вузлів.

Таким чином, у рамках наведеної моделі визначення порядку розподілу мережних ресурсів (трафіку та пропускної здатності ТП) зводиться до розв’язання оптимізаційної задачі математичного програмування з критерієм (6) та обмеженнями (1) – (5).

Визначення варіантів реалізації технології AN на вузлах мережі. При реалізації моделі (1) – (6) в AN можна виділити три основні варіанти розподілу каналних ресурсів. Схема комбінованого використання статичного, квазідинамічного і динамічного варіантів розподілу ресурсів представлена на рис. 3.

Перший варіант припускає статичний розподіл каналних ресурсів (СРКР). Дана схема найбільше відповідає прийняттю у цей час на практиці рішенням і припускає виділення постійного за об’ємом каналного ресурсу відповідно до призначеного і незмінного від вузла до вузла пріоритетом трафіку того чи іншого класу.

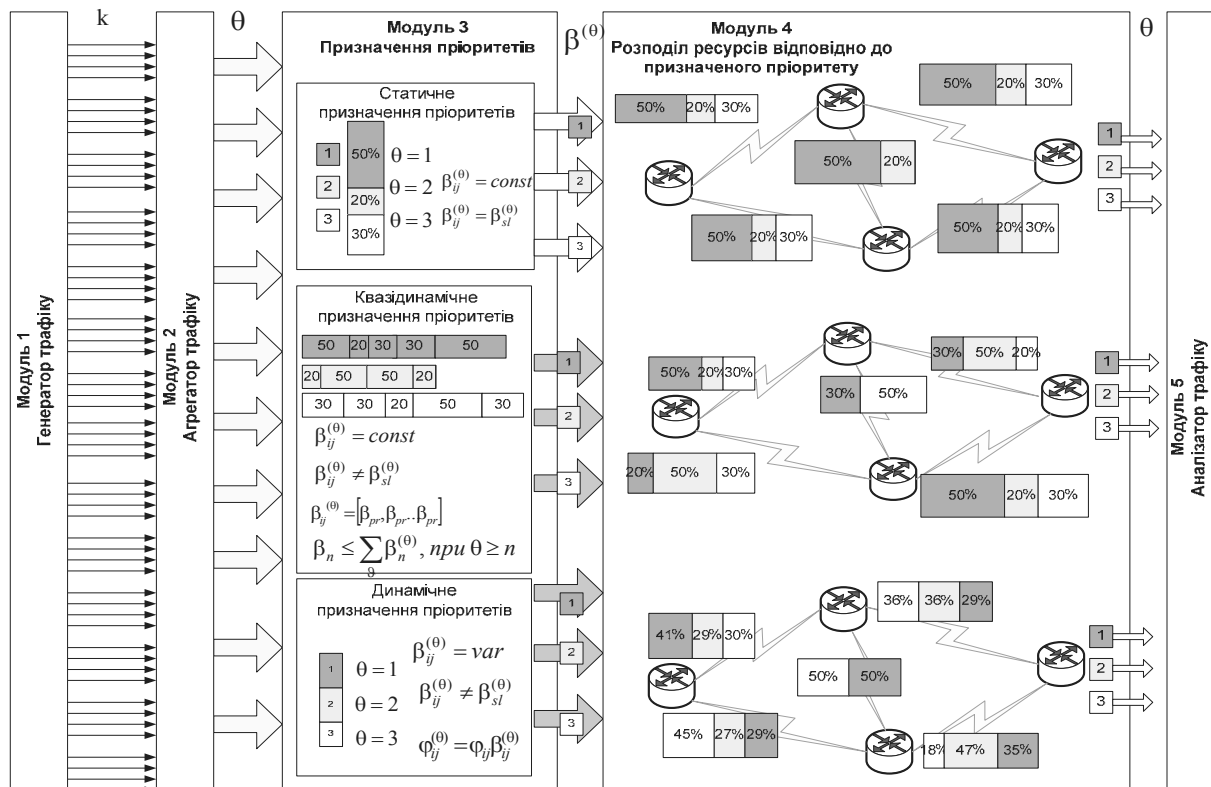


Рис. 3. Основні варіанти використання AN при розподілі каналних ресурсів

Як правило, кількість таких пріоритетів фіксована, причому їхнє призначення відбувається не адміністративно для кожного класу трафіків, як, наприклад, у технологіях ATM і IP, а автоматично – відповідно до зміни стану ТКМ. Виділення (розподіл) каналного ресурсу в цьому випадку може здійснюватися за допомогою абсолютного й ревалент-

ного механізмів QoS. Використання першого засноване на резервуванні ресурсів, а використання другого на агрегуванні інформаційних потоків із присвоєнням їм пріоритетів. Прикладом абсолютної схеми є технологія ATM, основна ідея якої полягає в поділі всіх додатків за класами QoS (табл. 2) з їх наступною пріоритезацією за категоріями послуг

CBR, rt-VBR, nrt-VBR, UBR, ABR [6]. Абсолютна схема в рамках моделі IP/IntServ реалізується за допомогою протоколу RSVP, що встановлює відповідно до запиту параметри QoS у класифікаторі пакетів ("офарблення" трафіку), а також у планувальнику пакетів, що визначає порядок проходження пакетів.

Класифіковані пакети у відповідності до архітектур DiffServ та IntServ на мережних вузлах (комутаторах/маршрутизаторах) утворюють черги, які регулюються механізмами обслуговування черг (WFQ, DWFQ та ін.). Крім того, за кожною чергою статично закріплена частка пропускної здатності вихідного тракту передачі. За своєю суттю ця частка і є значенням  $\beta_{\omega}^{(0)}$ , яка розраховується на кордоні мережі і є незмінною при обробці пакету на всіх транзитних вузлах. І якщо в раніше відомих рішеннях призначення пріоритету для трафіку здійснювалося на основі емпіричних даних, то в моделі (1) – (6) значення пріоритету розраховується виходячи із ситуації на мережі узгоджено з пошуком маршрутних змінних ( $\phi$ ). СРКР припускає виконання наступних умов-обмежень:

$$\beta_{\omega}^{(0)} \in \{\beta_{\omega}, \omega = \overline{1, Pr}\}; \quad \beta_{ij}^{(0)} = \beta_{sl}^{(0)} = \text{const}; \quad (7)$$

$Pr = \text{const}$ ,

де  $Pr$  – загальна кількість пріоритетів.

Таким чином, реалізація схеми СРКР полягає в наступному (рис. 3):

1. Після надходження трафіку до мережі (модуль 1) він агрегується відповідно схеми на класи (модуль 2).
2. Здійснюється призначення пріоритетів трафікам шляхом маркування пакетів відповідно до чисельних значень змінних  $\beta_{ij}^{(0)}$  (модуль 3), на підставі яких на мережних вузлах організується процес обслуговування черг.
3. Відбувається розподіл трафіку за ТП відповід-

но до політики обробки пакетів на вузлах і закріпленим за кожною чергою обсягом каналних ресурсів вихідних трактів передачі з урахуванням завантаження мережі, значень показників QoS і результатів розв'язання маршрутних задач.

Наведена схема найбільш проста й доступна для реалізації на сьогоднішній день у ТКМ ВП, однак використання її в рамках AN надає найменший вигравш у порівнянні з наступними варіантами розподілу мережних ресурсів.

Другий варіант припускає реалізацію квазідинамічного розподілу каналних ресурсів (КРКР). У ній, на відміну від першого варіанта, закладена можливість зміни пріоритету пакетів від вузла до вузла. У схемі КРКР змінні управління каналним ресурсом  $\beta_{ij}^{(0)}$  також спочатку визначаються на границі мережі індивідуально для кожного вузла. Аналітично представити КРКР можна в наступному виді:

$$\beta_{ij}^{(0)} = \{\beta_{\omega}, \omega = \overline{1, Pr}\}; \quad \beta_{ij}^{(0)} \neq \beta_{sl}^{(0)}; \quad \beta_{ij}^{(0)} = \text{Var};$$

$Pr = \text{const}$  . (8)

Реалізація даної схеми з використанням можливостей активних технологій може бути реалізована за рахунок відповідної модифікації змісту пакета даних, у заголовку якого в тім або іншому виді може міститися інформація АРСІ про пріоритет обслуговування на заданому вузлі активної мережі (рис. 4), що включає ідентифікатор функції й дескриптор. Ідентифікатор визначає викликувану функцію обробки, а дескриптор указує на параметри стану активного вузла, які повинні використовуватися в процесі обробки. У схемі КРКР змінна  $\beta_{ij}^{(0)}$ , яка міститься в пакеті-капсулі, спочатку визначається на границі індивідуально для кожного вузла. На підставі цієї ж інформації на кожному вузлі працює своя схема розподілу каналних ресурсів.

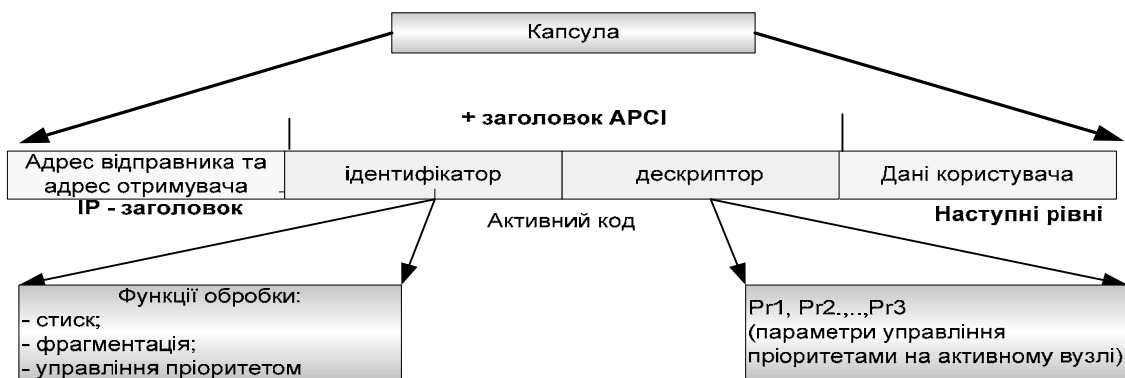


Рис. 4. Формат капсули с активним кодом

Більш виправданим є виділення "стандартної" позиції під АРСІ-записи настільки високо в ієрархії

протоколів, щоб її наявність несуттєво впливала на розміри заголовків, і в той же час досить низько,

щоб доступ до неї могли дістати засоби комутації. Так, у мережах АТМ поля АРСІ можна розташувати безпосередньо над заголовками адаптаційного рівня (AAL). Таке рішення гарантує співіснування активних і неактивних вузлів у єдиній мережній інфраструктурі. Пакети, що не містять керуючої інформації, обробляються активними вузлами відповідно до стандартних процедур маршрутизації. І навпаки, додатковий уміст заголовків АРСІ-пакетів не розпізнається звичайними вузлами, так що вони можуть комутуватися звичайним чином. Програмна реалізація схеми КРКР полягає у наступному: так само, як і в схемі СРКР, після надходження трафіку в мережу (модуль 1, рис. 3) він маркірується, інформація про клас і пріоритет записується в пакет-капсулу (інкапсулюється). Після маркірування інформація про капсулу (мітка) записується в заголовок пакета в поле АРСІ (рис. 4), а на підставі цієї інформації вже на кожному вузлі (рис. 3) працює активізована кодом схема перерозподілу каналних ресурсів.

Третій варіант припускає динамічний розподіл каналних ресурсів (ДРКР). Дана схема є найбільш гнучкою, тому що в ній на відміну від першого й другого варіантів кількість пріоритетів і їхніх значень чітко не задаються й можуть змінюватися від вузла до вузла залежно від поточного стану мережі. Відповідно кількість каналних ресурсів, які виділяються для кожного трафіку, може також адаптивно змінюватися.

Таким чином, у випадку ДРКР значення змінної  $\beta_{ij}^{(\theta)}$  може варіюватися від тракту до тракту й вибиратися не з раніше встановленої множини значень (варіант 2), а відповідно до зміни стану ТКМ. Значення змінних управління каналним ресурсом  $\beta_{ij}^{(\theta)}$  ( $i, j = \overline{1, m}, i \neq j$ ) можуть перераховуватися й обновлятися разом з маршрутними таблицями. Динамічну схему розподілу каналних ресурсів можна записати у вигляді

$$\beta_{\sigma}^{(\theta)} = \text{var}, \text{Pr} = \text{Var}. \quad (9)$$

Що стосується реалізації на практиці схеми динамічного розподілу каналних ресурсів, то вона полягає в можливості забезпечення завантаження в мережні вузли АН спеціального програмного забезпечення з можливістю його оперативної модифікації або перенастроювання. У перспективних технологіях дані про управління мережними ресурсами повинні зберігатися в комплексних таблицях, що включають у себе набори маршрутних змінних  $\Phi_{js}^{i(\theta)}$  (маршрутні таблиці) та множину змінних управління каналними ресурсами  $\beta_{ij}^{(\theta)}$  (таблиці розподілу каналних ресурсів).

### Висновки

Таким чином, при побудові територіально-

розподілених ТКМ ВП, в яких необхідно організувати більш ефективне управління мережними ресурсами, доцільно використовувати активні технології. Реалізація принципів АН дозволяє забезпечити більшу гнучкість при управлінні пріоритетами, чергами та пропускну здатністю трактів передачі на підставі розміщення та адаптивного оновлення змісту поля АРСІ в заголовках пакетів. За основу рішень в області АН можна взяти математичну модель (1) – (6), в рамках якої забезпечується погоджене розв'язання таких важливих мережних задач як багатопляхова маршрутизація та динамічний розподіл каналних ресурсів. Залежно від особливостей розрахунку змінних управління каналним ресурсом (7) – (9) можна реалізувати три основні стратегії розподілу – статичну, квазідинамічну та динамічну, що накладає додаткові обмеження на зміст моделі (1) – (6). Запропонований підхід повністю відповідає вимогам сучасних і перспективних технологій Active Network, Traffic Engineering, MultiPath Routing, QoS-Based Routing и Constraint-Based Routing. Розвиток запропонованого підходу вбачається в переході до динамічних та стохастичних математичних моделей управління мережними ресурсами, які більш повно враховують зміну стану ТКМ, обумовлену випадковим характером структури ТКМ ВП та характеристик абонентського трафіку.

### Список літератури

1. Баушев С.В., Передерий А.В. Разработка перспективных систем связи вооруженных сил США и объединенных вооруженных сил НАТО // Успехи современной радиоэлектроники. – 2000. – №7. – С. 3-20.
2. Гольдштейн А.Б., Гольдштейн Б.С. Технология и протоколы MPLS. – М.: Эко-Трендз, 2005. – 304 с.
3. Tennenhouse D. L., Smith J. M., Sincoskie W. D., Wetherall D. J., Minden G. J. A Survey of Active Network Research // IEEE Communications Magazine. 1997. – Vol. 35, №1. – P. 80-86.
4. Psounis K. Active networks: applications, security, safety, and architectures // Proc. IEEE Communications Surveys. – 1999. – Vol.1. – P. 2-16.
5. Гринфилд Д. Терабитные маршрутизаторы: почетельная путаница // Журнал сетевых решений – LAN. – 2000. – №4. – С. 21-23.
6. Вегеня Ш. Качество обслуживания в сетях IP / Пер. с англ.. - М.: Издательский дом «Вильямс», 2003. – 386 с.
7. Остерлох Х. Маршрутизация в IP-сетях. Принципы, протоколы, настройка. – С.Пб.: BHV-С.Пб., 2002. – 512 с.
8. Математичні основи теорії телекомунікаційних систем / За заг. ред. В.В. Поповського. – Х.: ТОВ «Компанія СМІТ», 2006. – 564 с.
9. Дробот О.А. Комплексная модель обеспечения гарантированного качества обслуживания с реализацией динамических стратегий распределения сетевых ресурсов // Радиотехника: Всеукр. межвед. науч.-техн. сб. – 2007. – № 148. – С.43-54.

Надійшла до редколегії 17.09.2007

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