

УДК 621.396

О.О. Лаврут

Академія сухопутних військ імені гетьмана Петра Сагайдачного, Львів

ДОСЛІДЖЕННЯ ЯКОСТІ УПРАВЛІННЯ ПОТОКАМИ ІНФОРМАЦІЇ У ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНІЙ МЕРЕЖІ КРИТИЧНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

В статті проводиться вибір критерію оцінювання якості управління потоками інформації у телекомунікаційній мережі критичного призначення. Показано, що використання запропонованого критерію та сформульованих в тензорному виді обмежень дозволить вирішити проблему забезпечення мінімального часу доставки повідомлення (команди) між заданими вузлами мережі з контролем показників якості QoS. Наведено приклад розв'язання задачі багатошляхової маршрутизації з використанням запропонованого критерію.

Ключові слова: телекомунікаційна мережа критичного призначення, критерій, інформаційні потоки.

Вступ

В сучасних телекомунікаційних системах цивільного призначення в питаннях забезпечення відповідних показників якості обслуговування (Quality of Service, QoS) – швидкості передачі, середньої затримки, джитера та числа загублених пакетів, – провідну роль відіграє маршрутизація. Сучасні цивільні телекомунікаційні системи та мережі порівняно з мережами критичного призначення зробили великий крок уперед. Тому, подальший розвиток ТКС критичного призначення повинен відбуватися на основі наукових та практичних розробок для ТКС цивільного призначення з обов'язковим урахуванням стану та перспектив розвитку ТКС критичного призначення провідних країн світу.

Концепції розвитку систем управління збройними силами провідних країн світу однією з головних задач визначають гарантоване управління військами (силами) та зброєю в єдиному інформаційному просторі. Необхідність створення єдиного інформаційного простору Збройних сил України зумовлена появою нових форм і засобів ведення збройної боротьби, впровадженням мережецентричного управління військами та зброєю, використанням в процесах управління сучасних інформаційних та телекомунікаційних технологій.

Сьогодні в умовах розвитку інформаційно-комунікаційного простору у збройних конфліктах та локальних війнах нового століття виграє той, хто зможе швидше зібрати багатопланові та різноманітні дані при підготовці до бою, в ході бою та під час його ведення, проаналізувати їх, зробити правильні висновки, прийняти вірне рішення і швидко довести його до підлеглих. Процеси інформатизації і створення єдиного інформаційного простору показують, що одним із основних перспективних пріоритетів є створення нових і модернізація існуючих автоматизованих інформаційних систем управління та зв'язку для Збройних Сил України (систем критичного призначення). Система управління військами спільно з су-

часними комплексами розвідки і зв'язку становить технічну основу системи управління збройними силами і в значній мірі є елементом, що найбільш динамічно розвивається в сучасних арміях провідних країн світу [1 – 3]. Транспортною основою вищезгаданої системи буде автоматизована мережа радіозв'язку загального користування, яка має забезпечити обмін інформацією в інтересах всіх військ, що діють в оперативно-тактичній зоні, незалежно від їх підпорядкування і задач, які виконуються [1 – 5].

Важливою умовою ефективного функціонування телекомунікаційної мережі критичного призначення (військової телекомунікаційної мережі) є максимальна погодженість у вирішенні задач мережного рівня – маршрутизації, управлінні інтенсивністю трафіка тощо.

Аналіз літератури. На сьогодні різноманітність моделей маршрутизації і доступу, які використовуються, ускладнює координацію мережних процесів і отримання погоджених рішень задач мережного рівня. А це, в свою чергу, є джерелом виникнення в мережі явищ перенавантаження як локального, так і глобального характеру.

В сучасних мережах критичного призначення (військових телекомунікаційних), які є мультисервісними, достатньо гостро існує проблема надання гарантій та контролю якості зв'язку QoS (Quality of Service) одночасно за декількома швидкісними і ймовірно-часовими показниками. Застосування багатошляхової маршрутизації є шляхом задоволення суперечливих вимог щодо забезпечення гарантованого QoS та збалансованого навантаження ресурсів будь-якої телекомунікаційної мережі [6].

Однак на сьогодні, під час вирішення маршрутних задач коректно математично описати процеси динаміки стану, забезпечення мультисервісу та гарантованої якості зв'язку більш ніж за двома показниками класичним методом практично неможливо. Складним залишається і питання оцінки якості управління різнорідними потоками інформації в мультисервісних мережах [6 – 9].

При моделюванні таких систем та рішенні основних мережних задач знайшли своє застосування цілий ряд підходів, в яких найчастіше задачі структурного і функціонального синтезу розв'язуються незалежно, у кращому випадку, визначаючи один для одного вихідні дані, прийняті як допущення й обмеження [5 – 9].

Рішення задачі маршрутизації та абонентського доступу може бути досягнуте лише за умови цілісного подання мережі, що забезпечить формалізацію процесів управління як мережними ресурсами, так і доступу до мережі [6 – 10]. Тобто актуальним є питання розробки моделі комплексного вирішення задачі маршрутизації та абонентського доступу у військових телекомунікаційних мережах і, відповідно, оцінки якості обслуговування для забезпечення мінімального часу доведення команд (повідомлень).

Таким чином, метою статті є вибір критерію оцінювання якості управління потоками інформації у телекомунікаційній мережі критичного призначення, а також проведення розрахунків задачі багатопроцесової маршрутизації з використанням запропонованого критерію.

Основна частина

Для вирішення задачі маршрутизації в цілому необхідна достатньо загальна модель, яка здатна математично коректно описати взаємодію з одного боку структурних і функціональних параметрів, а з іншого – характеристик трафіка і різнотипних показників якості обслуговування.

Рішенням може бути використання тензорного підходу до опису телекомунікаційної мережі мобільного компоненту тактичної ланки управління перспективної системи зв'язку ЗС України [11], яка описана в [7, 12, 13]. При введенні певних обмежень можна знаходити комплексне рішення задачі доставки повідомлення (команди, розпорядження) за мінімальний час, що вимагається при заданій якості передачі інформації, тобто з контролем показників якості QoS вздовж кожного з розрахованих шляхів.

Для оцінки якості роботи такої системи (яка розглядається в цілому) введемо узагальнені множини часових $T = \{T_1, T_2, \dots, T_m\}$ та ймовірнісних $P = \{P_1, P_2, \dots, P_h\}$ показників. Для кожного мережного маршруту і виділимо відповідні множини часткових показників [15]:

$$T^i = \{T_1^i, T_2^i, \dots, T_n^i, T_{n+1}^i, \dots, T_m^i\}; \quad (1)$$

$$P^i = \{P_1^i, P_2^i, \dots, P_k^i, P_{k+1}^i, \dots, P_h^i\}, \quad (2)$$

причому деякі з них не можуть перевищувати заданих значень:

$$T_{j_n}^i \leq T_{\text{зад}}, \quad j_n \in \overline{1, n}; \quad P_{j_k}^i \leq P_{\text{зад}}, \quad j_k \in \overline{1, k}, \quad (3)$$

або бути не менш, ніж задані:

$$T_{j_m}^i \geq T_{\text{зад}}, \quad j_m \in \overline{n+1, m}; \quad P_{j_h}^i \geq P_{\text{зад}}, \quad j_h \in \overline{k+1, h}. \quad (4)$$

Розглянемо множину можливих варіантів розподілу маршрутів

$$\mathfrak{R} = \{r = \{i_r\} | \xi(i_r) = 1\}, \quad (5)$$

де булева функція $\xi(\cdot) = 1$ тоді і тільки тоді, коли виконуються умови (3) та (4) для часткових показників (1) та (2).

Для розрахунку параметрів (оцінки якості, оперативності тощо) конкретної мережі, як правило, вибираються відповідні (визначені) показники обраної системи. Обравши за показник оптимізації середній час доведення повідомлення (команди) $t_d^{(\text{сеп})}$ введемо відповідний функціонал на заданому розбитті (5):

$$t_d^{(\text{сеп})}(r) = F(T^{i_r}(r), P^{i_r}(r)) \quad \forall i_r \in r. \quad (6)$$

Тоді в якості критерію можна розглянути мінімізацію (6) відносно розбиття (5):

$$t_d^{*(\text{сеп})}(r) = \min_{r \in \mathfrak{R}} F(T^{i_r}(r), P^{i_r}(r)). \quad (7)$$

Також відзначимо необхідність врахування можливостей апаратного обладнання, наприклад, врахування пропускної здатності каналів зв'язку:

$$0 \leq \lambda^{i_r} \leq \omega^{i_r}, \quad \omega_{i_r} \leq \omega_{\text{max}}^{i_r}, \quad \forall i_r \in r, \quad \forall r \in \mathfrak{R}, \quad (8)$$

де для маршрутів r -го варіанту розбиття \mathfrak{R} позначено: λ^{i_r} – інтенсивність трафіка на маршруті i_r ; ω^{i_r} – пропускна здатність та $\omega_{\text{max}}^{i_r}$ – максимальна пропускна здатність маршруту i_r .

Завдяки тензорному опису військової телекомунікаційної мережі у загальному вигляді обмеження на пропуску здатність можна представити як [6, 10, 13, 14, 16, 17]:

$$\vec{\Lambda} \leq \|M\| \vec{T}, \quad (9)$$

де вектор інтенсивності трафіка, який обслуговується – $\vec{\Lambda}$; \vec{T} – вектор, що формалізує середній час затримки, M – матриця, що описує параметри пропускної здатності та надійності. Виконання наведених умов також гарантує розрахунок множини безпетельних (безконтурних) шляхів доставки пакетів.

Приведені аналітичні вирази (функціонал та обмеження), пов'язують між собою параметри трафіка, показники якості обслуговування та основні мережні параметри. Для знаходження оптимального варіанту відповідно до обраного критерію необхідно вирішити задачу математичного програмування з цільовою функцією (7) та обмеженнями (3), (4), (8) та (9).

Використання тензорних моделей дозволяє забезпечити, насамперед, надання послуг зв'язку гарантованої якості одночасно за кількома показниками QoS вздовж кожного із розрахованих шляхів.

Використовуючи запропонований критерій можна вирішити основну проблему – забезпечення мінімального часу доставки повідомлення (команди)

між заданими вузлами мережі з контролем (забезпеченням) показників якості QoS вздовж кожного із розрахованих шляхів.

Приклад розв'язання задачі багатошляхової маршрутизації з використанням запропонованого критерію.

На основі методу, який було детально описано в [7, 12, 13], як приклад, здійснимо розрахунок задачі багатошляхової маршрутизації у фрагменті мобільного компоненту перспективної системи зв'язку тактичної ланки управління Збройних Сил України [3, 11], структура якого наведена топологічною моделлю (рис. 1). Після геометризації даного фрагменту (рис. 2), елементами у вигляді кола В1-В6 можуть виступати командні пункти різного рангу, окремі підрозділи, військовослужбовці тощо. За основу взято процес передачі повідомлень (команд управління) між двома вузлами даного фрагменту. Структура містить шість вузлів (В1-В6, $m = 6$) і вісім гілок (Г1-Г8, $n = 8$). Розмірність введеного простору n дорівнює восьми [7, 12, 13]. Параметри трафіка наведені вели-

чиною його бітової інтенсивності 200 1/с і заданою затримкою передачі пакета $t_{\text{зад}} = 22$ мс. В якості полюсів мережі були обрані вузли В1 (вхід) і В6 (вихід).

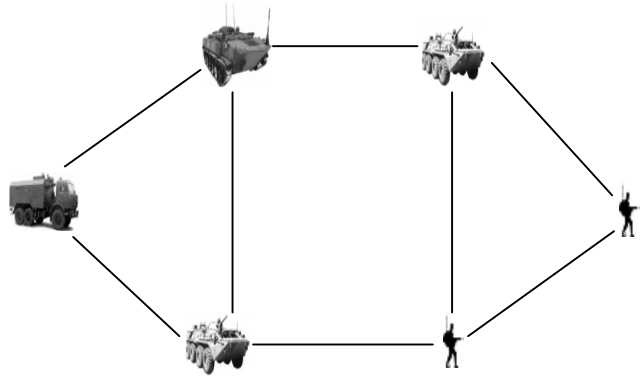


Рис. 1. Фрагмент мобільного компоненту перспективної системи зв'язку

Результати розрахунку мережі наведено на рис. 3, при цьому над кожною гілкою вказано (зверху до низу) її пропускна здатність, інтенсивність трафіка, що передається, та затримка передачі.

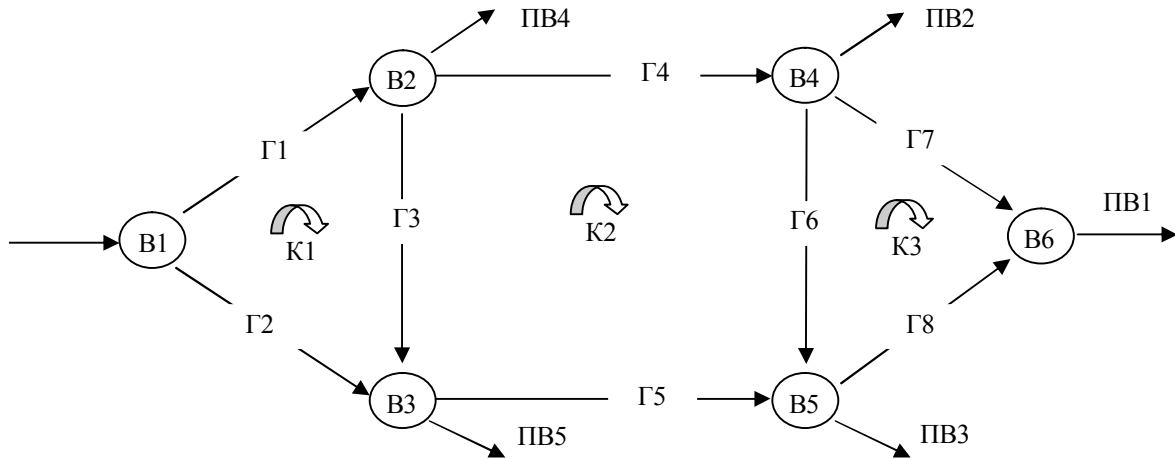


Рис. 2. Геометризація фрагменту мобільного компоненту перспективної системи зв'язку

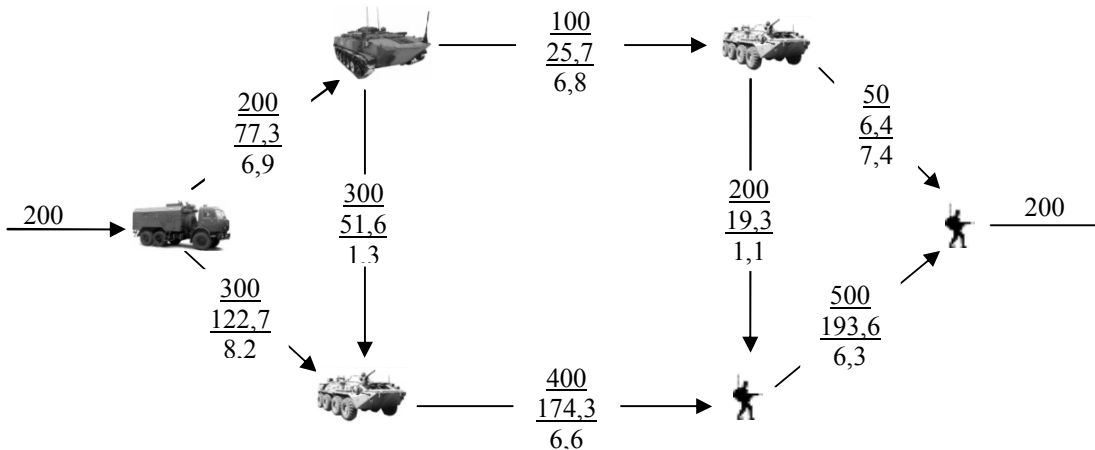


Рис. 3. Результати розв'язання задачі багатошляхової маршрутизації

В результаті вирішення задачі вхідний трафік розподілюється за чотирма шляхами, при цьому шлях $\{v_1, v_4, v_7\}$ забезпечив обслуговування трафіка інтенсивністю 7,4 1/с, шлях $\{v_1, v_3, v_5, v_8\} - 1,3$ (1/с), шлях $\{v_1, v_4, v_6, v_8\} - 1,1$ (1/с) і шлях $\{v_2, v_4, v_8\} -$

8,8 (1/с). Затримка передачі пакетів вздовж кожного з розрахованих шляхів склала 21,1 мс.

У табл. 1 наведено результати розрахунків для двох основних стратегій маршрутизації – одношляхової та багатошляхової.

Таблиця 1

Результати порівняльного аналізу різних стратегій маршрутизації

	Інтенсивність $\lambda^{звн}$ (1/с)											
	100			200			300			500		
	Проп. спром.	$\Lambda_v^{бш}$	$\Lambda_v^{ош}$	Проп. спром.	$\Lambda_v^{бш}$	$\Lambda_v^{ош}$	Проп. спром.	$\Lambda_v^{бш}$	$\Lambda_v^{ош}$	Проп. спром.	$\Lambda_v^{бш}$	$\Lambda_v^{ош}$
v_1	198	46,9	–	200	77,3	–	279	145	–	369	298	–
v_2	251	53,1	100	300	122,7	200	315	155	300	287	202	–
v_3	386	26,8	–	300	51,6	–	217	67	–	331	186	–
v_4	314	20,1	–	100	25,7	–	234	78	–	217	112	–
v_5	412	79,9	100	400	174,3	200	385	222	300	392	388	–
v_6	215	8,4	–	200	19,3	–	179	36	–	275	48	–
v_7	273	11,7	–	50	6,4	–	197	42	–	353	64	–
v_8	438	88,3	100	500	193,6	200	471	258	300	453	436	–
$t_{прд}$	–	11,2	12,7	–	21,1	78,13	–	18,4	122,6	–	27	–

При одношляховій маршрутизації шлях обслуговування трафіка визначається як найкоротший і результати подані вектором $\Lambda_v^{ош}$. При вирішенні задачі багатошляхової маршрутизації використовувалась запропонована тензорна модель військової телекомунікаційної мережі [7, 12, 13] (рис. 1) і результати розрахунку представлені вектором $\Lambda_v^{бш}$. Для розрахунків були використані чотири варіанти параметрів мережі та трафіків, що обслуговуються. За величиною затримки передачі пакетів трафіка $t_{прд}$ оцінювалась якість прийнятих рішень.

Порівняльний аналіз дозволяє зробити такі висновки:

– за невисокої інтенсивності зовнішнього трафіка порівняно з доступними ресурсами (пропускними здатностями) мережі ($\lambda^{звн} = 100$ 1/с), реалізація багатошляхової маршрутизації дозволяє зменшити затримку в середньому на 12 %.

– при сумірних величинах необхідної та доступної пропускної здатності вираш багатошляхової маршрутизації складає від 73 % ($\lambda^{звн} = 200$ 1/с) до 85 % ($\lambda^{звн} = 300$ 1/с).

– у випадку реалізації одношляхової маршрутизації, за умови нестачі ресурсів, трафік ($\lambda^{звн} = 500$ 1/с) отримав би відмову в обслуговуванні, тобто обмеження (8) по жодному з шляхів від вузла В1 до В6 не виконується. Разом з тим, багатошляхова стратегія маршрутизації дозволила в рамках запропонованої моделі обслужити даний трафік із заданими показниками якості зв'язку ($t_{зал} = 27$ мс).

– в результаті вирішення задачі багатошляхової маршрутизації було забезпечено виконання вимоги $T_k = 0$ [7, 12, 13] При інтенсивності вхідного трафіка 200 (1/с) отримані наступні значення контурних затримок: $t_1 = 6,9+1,3-8,2=0$; $t_2 = 6,8+1,1-6,6-1,3=0$; $t_3 = 1,1+6,3-7,4=0$;

– в рамках запропонованої моделі при вирішенні маршрутної задачі середні затримки пакетів вздовж незалежних шляхів були рівні між собою. Наприклад, за інтенсивності вхідного трафіка 200 (1/с) (рис. 3) середні затримки при передачі від

вузла 1 (відправник) до вузла 6 (отримувач) були однакові і дорівнювали $t_{прд} = 21,1$ мс;

– при вирішенні задачі багатошляхової маршрутизації з гарантованим забезпеченням якості обслуговування було одночасно враховано два основних показники: інтенсивність трафіка, яка вимагається, та середня затримка пакетів. Результати розрахунків показали, що завантаження окремих трактів передачі не перевищувало значень їх пропускних спроможностей, а середня затримка пакетів вздовж кожного із шляхів не перевищувала заданого (того, що вимагалось) значення. Тобто визначені критерієм (7) вимоги було виконано з урахуванням обмежень (3), (4), (8).

Висновки

На сьогодні в процесі забезпечення заданого рівня якості обслуговування, основною складністю є ріст мультисервісності і різноманітності інформаційних трафіків, які циркулюють в сучасних військових телекомунікаційних мережах.

Це, в свою чергу, вимагає організувати обробку пакетів таким чином, де пріоритетом є контроль якості обслуговування одночасно за декількома швидкісними і ймовірно-часовими показниками QoS .

В роботі показано, що при поданні в тензорному виді телекомунікаційної мережі критичного призначення (мобільного компоненту тактичної ланки управління перспективної системи зв'язку ЗС України) є можливість сформувати критерій та обмеження для комплексної оцінки якості обслуговування інформаційних потоків з контролем показників якості. Результати проведених розрахунків свідчать про доцільність реалізації багатошляхової стратегії маршрутизації, особливо в умовах дефіциту мережних ресурсів.

Використання запропонованого критерію та сформульованих обмежень дозволило вирішити проблему забезпечення мінімального часу доставки повідомлення (команди) між заданими вузлами мережі з контролем (забезпеченням) показників якості QoS вздовж кожного із розрахованих шляхів.

Подальший розвиток даного напрямку дослідження полягає у узагальненні запропонованого

підходу на випадок багатополосних та багатопродуктових мереж критичного призначення.

Список літератури

1. Слюсар В.И. Военная связь стран НАТО: проблемы современных технологий / В.И. Слюсар // *Электроника: Наука, Технология, Бизнес.* – 2008. – № 4. – С. 66-71.

2. Слюсар В.И. Концепція перспективної інформаційно-телекомунікаційної системи / В.И. Слюсар, І.В. Тітов, В.Г. Карев // *Пріоритетні напрями розвитку телекомунікаційних систем та мереж спеціального призначення: IV-й наук.-практ. сем., 22-23 жовт. 2008 р.* – К., 2008. – С. 76-80.

3. Лаврут О.О. Перспективи розвитку автоматизованих систем управління тактичної ланки управління Сухопутних військ Збройних Сил України / О.О. Лаврут, О.К. Клімович, Т.В. Лаврут // *Системи обробки інформації.* – Х.: ХУПС, 2014. – Вип. 5 (121). – С. 116-120.

4. Кондратьев А.Е. Исследования “сетевых” концепций в вооруженных силах ведущих зарубежных стран / А.Е. Кондратьев // *Зарубежное военное обозрение.* – 2010. – № 12. – С. 3-9.

5. Паришин С. Концепция сетецентрического боевого управления ВС США, Великобритании и ОВС НАТО. Общие различия / С. Паришин, Ю. Кожанов // *Зарубежное военное обозрение.* – 2010. – № 4. – С. 7-18.

6. Математичні основи теорії телекомунікаційних систем / В.В. Поповський, С.О. Сабурова, В.Ф. Олійник, Ю.І. Лосєв, О.В. Лемешко та ін.; за заг. ред. В.В. Поповського. – Х.: ТОВ “Компанія СМІТ”, 2006. – 564 с.

7. Лаврут О.О. Математичне моделювання процесів функціонування фрагменту мобільного компоненту системи зв'язку ЗС України / О.О. Лаврут, Л.М. Блажко // *Системи обробки інформації.* – Х.: ХУПС, 2011. – Вип. 8 (98). – С. 170-174.

8. Лемешко А.В. Тензорная модель многопутевой маршрутизации агрегированных потоков с резервированием сетевых ресурсов, представленная в пространстве с кривизной / А.В. Лемешко // *Праці УНДІРТ.* – 2004. – № 4 (40). – С. 12-18.

9. 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.

10. Лемешко А.В. Вероятностно-временная модель QoS-маршрутизации с предвычислением путей в условиях

отказов элементов телекоммуникационной сети / А.В. Лемешко // *Радиотехника.* – 2005. – № 142. – С. 11-20.

11. Мальярчук М.В. Архітектура мобільного компоненту перспективної системи зв'язку і автоматизації тактичної ланки управління Збройних Сил України з використанням опорної мережі на радіорелейних станціях / М.В. Мальярчук, С.П. Колачев, А.А. Швець // *Зб. наук. праць ВІТІ НТУУ “КПІ”.* – 2009. – Вип. 3. – С. 45-50.

12. Лаврут О.О. Метод управління потоками інформації у фрагменті мобільного компоненту перспективної системи зв'язку в надзвичайних ситуаціях, що змінюються / О.О. Лаврут // *Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України: наук.-техн. ж.* – 2012. – № 1 (7). – С. 94-101.

13. Лаврут О.О. Динамічний метод управління потоками інформації у фрагменті мобільного компоненту перспективної системи зв'язку в критичних умовах / О.О. Лаврут // *Радіоелектронні і комп'ютерні системи: науково-техн. журнал.* – 2012. – № 6 (58). – С. 202-207.

14. Лемешко А.В. Модель многопутевой QoS-маршрутизации в мультисервисной телекоммуникационной сети / А.В. Лемешко, О.А. Дробот // *Радиотехника: Всеукр. межвед. науч.-техн. сб.* – 2006. – Вип. 144. – С. 16-22.

15. Лаврут О.О. Вибір критерію оцінювання якості управління потоками інформації у телекомунікаційній мережі мобільного компоненту перспективної системи зв'язку Збройних Сил України / О.О. Лаврут // *Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України.* – 2014. – № 3(16). – С. 113-115.

16. Лемешко А.В. Разработка и исследование поточковой модели адаптивной маршрутизации в программно-конфигурируемых сетях с балансировкой нагрузки / А.В. Лемешко, Т.В. Вавенко // *Доклады Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники.* – 2013. – № 3 (29). – С. 100-108.

17. Лемешко А.В. Тензорная модель многопутевой маршрутизации с гарантиями качества обслуживания одновременно по множеству разнородных показателей [Электрон. ресурс] / А.В. Лемешко, О.Ю. Евсеева // *Проблеми телекомунікацій.* – 2012. – № 4 (9). – С. 16-31. – Режим доступа: http://pt.journal.kh.ua/2012/4/1/124_lemeshko_tensor.pdf.

Надійшла до редколегії 21.10.2014

Рецензент: д-р техн. наук проф. Г.А. Кучук, Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.

ИССЛЕДОВАНИЕ КАЧЕСТВА УПРАВЛЕНИЯ ПОТОКАМИ ИНФОРМАЦИИ В ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ СЕТИ КРИТИЧЕСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ

А.А. Лаврут

В статье проводится выбор критерия оценки качества управления потоками информации в телекоммуникационной сети мобильного компонента перспективной системы связи ВС Украины. Показано, что использование предложенного критерия и сформулированных в тензорном виде ограничений позволит решить проблему обеспечения минимального времени доставки сообщения (команды) между заданными узлами сети с контролем показателей качества QoS. Приведен пример решения задачи многопутевой маршрутизации с использованием предложенного критерия.

Ключевые слова: телекоммуникационная сеть критического назначения, критерий, информационные потоки.

QUALITY RESEARCH OF INFORMATION MANAGEMENT IN THE TELECOMMUNICATIONS NETWORK OF CRITICAL USE

O.O. Lavrut

The article carries out the selection of criteria for evaluating the quality of information management in the telecommunications network of mobile component of prospective communications of Ukraine Army. It is shown that the use of the proposed criterion and formulated in tensor form of restrictions will enable to solve the problem of providing a minimum time of the message (command) delivery between given nodes in the network with the control of quality indicators QoS. There is an example of solving the problem of multipath routing using the proposed criterion.

Keywords: telecommunications network of critical use, the criterion, information flows.