

УДК 621.391

Лемешко О.В., Єременко О.С., Євдокименко М.О., Радівілова Т.А.  
ХНУРЕ  
oleksandr.lemeshko.ua@ieee.org

## ТЕНЗОРНА МОДЕЛЬ ШВИДКОЇ QoS-ПЕРЕМАРШРУТИЗАЦІЇ ІЗ ДИФЕРЕНЦІЙОВАНОЮ МАКСИМІЗАЦІЄЮ R-ФАКТОРУ ДЛЯ VoIP-ПОТОКІВ У КОРПОРАТИВНІЙ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНІЙ МЕРЕЖІ

*Анотація.* Запропонована потокова модель швидкої перемаршрутизації в корпоративній телекомунікаційній мережі. Новизною рішення є забезпечення захисту структурних елементів мережі та пропускної здатності з максимізацією для VoIP-потоків рівня якості обслуговування на рівні користувача за показником R-фактору. Для отримання в аналітичному вигляді виразів щодо розрахунку R-фактору для кожного з VoIP-потоків було залучено можливості тензорного аналізу мереж, пов'язаного з геометризацією та метризацією структурно-функціональних параметрів телекомунікаційної мережі.

Побудова надійних, стійких до відмов телекомунікаційних мереж (ТКМ) є важливою науковою та прикладною задачею, розв'язання якої пов'язано з необхідністю перегляду існуючих математичних моделей, методів і протоколів управління трафіком і розподілу мережного (канального та буферного) ресурсу [1, 2]. До основних причин, які визивають відмови в обслуговуванні в ТКМ, традиційно відносять порушення рівня конфіденційності (безпеки) в мережі, перевантаження мережних елементів, збої в роботі програмного та апаратного забезпечення мережних пристроїв (серверів, комутаторів, маршрутизаторів) тощо. Важливе місце серед рішень щодо забезпечення відмовостійкості, мережної безпеки та якості обслуговування (Quality of Service, QoS) в ТКМ займають засоби маршрутизації. Саме протоколи відмовостійкої маршрутизації на підставі реалізації того чи іншого методу (моделі) розрахунку маршрутів забезпечують захист структурних (вузла, каналу, маршруту) та функціональних параметрів (наприклад, пропускної здатності) [2].

Як показав проведений аналіз, протоколи маршрутизації, які використовуються в мережах IP (Internet Protocol) та MPLS (MultiProtocol Label Switching), реалізують досить обмежені функції щодо захисту мережних елементів у випадку їх відмови, а захист

заданого рівня якості обслуговування для них – це задача найближчої перспективи. Науковцями запропоновано ряд рішень щодо захисту такого важливого QoS-показника, як пропускна здатність [3, 4]. Ряд наукових робіт спрямовано на забезпечення захисту заданого рівня якості за множиною показників – пропускної здатності, середньої міжкінцевої затримки, ймовірності втрат пакетів. Проте в умовах зростання в структурі сучасного мережного трафіка долі мультимедійних потоків на перше місце виходять задачі щодо захисту в ході маршрутизації заданих значень показників мультимедійної якості, яка сприймається на рівні користувача (Quality of Experience, QoE). При передачі потоків пакетів VoIP мова йде про значення R- фактору [5-7].

У роботі пропонується потокова модель швидкої QoE-перемаршрутизації маршрутизації. Основу моделі складають умови реалізації одно- або багатопляхової маршрутизації, умови збереження потоку, які вводяться для маршрутних змінних, що регламентують побудову як основного, так і резервного маршруту. Крім того, введено умови запобігання перевантаження каналів зв'язку потоками пакетів, виконання яких фактично забезпечувало захист такого важливого QoS-показника як пропускна здатність. Модель була доповнена умовами захисту структурних елементів мережі – вузла, каналу та маршруту. Особливістю даних умов є врахування можливих втрат пакетів, які виникають внаслідок перевантаження інтерфейсів маршрутизаторів ТКМ.

З метою отримання в аналітичному вигляді виразів для розрахунку R-фактору для кожного з VoIP-потоків проведено тензорне узагальнення математичної моделі маршрутизації. Структура ТКМ визначала геометричний простір, де кількість каналів зв'язку визначала розмір введеного дискретного простору. Метрика введеного простору напряму залежала від кількості VoIP-потоків, їх характеристик (бітової швидкості передачі, розміру пакетів), а також параметрів інтерфейсів (дисципліни обслуговування, пропускної здатності, максимального об'єму буферу черг). Кожен VoIP-потік пакетів, які циркулювали в ТКМ, моделювався двовалентним змішаним тензором, що враховував середні інтенсивності потоків і середні затримки пакетів у координатних шляхах мережі. На структурі ТКМ, тобто в межах введеного геометричного простору, введено дві системи координат – базис гілок мережі та базис міжвузлових шляхів і внутрішніх вузлових пар. Грунтуючись на тензорному описі ТКМ вдалося отримати вирази для розрахунку середньої багатопляхової міжкінцевої затримки та ймовірності втрат пакетів, що в кінцевому випадку дозволило сформулювати в аналітичному вигляді вирази розрахунку R-фактору для кожного з VoIP-потоків.

Новизною запропонованої моделі є формулювання задачі швидкої QoE-маршрутизації в оптимізаційній формі, коли як критерій оптимальності виступав максимум адитивної форми, представленої сумою зважених відносно IP-пріоритету значень R-фактору для кожного з VoIP-потоків, які протікали як вздовж основних, так і резервних маршрутів. Резервні маршрути не включали елементи які захищались, тобто були, наприклад, або скомпрометованими, або перевантаженими. Сформульована оптимізаційна задача відносилась до класу задач нелінійного програмування, оскільки і цільова функція, яка максимізувалась, і обмеження були представлені нелінійними функціями від маршрутних змінних. Запропонований підхід до постановки та розв'язання задачі швидкої перемаршрутизації орієнтує на максимально повне та ефективне використання доступного мережного ресурсу, що визначає як переважну область його використання саме корпоративні ТКМ. Результати дослідження запропонованої тензорної моделі швидкої QoE-перемаршрутизації VoIP-потоків підтвердили її працездатність, адекватність та ефективність, що особливо проявлялось в умовах складних мережних топологій, високої завантаженості ТКМ та диференціації потоків відносно значень IP-пріоритету пакетів.

### Список літератури

1. Mas-Machuca C. et al. (2020) Reliable Control and Data Planes for Softwarized Networks. In: Rak J., Hutchison D. (eds) Guide to Disaster-Resilient Communication Networks.

Computer Communications and Networks. Springer, Cham. P. 243-270. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-44685-7\\_10](https://doi.org/10.1007/978-3-030-44685-7_10)

2. Chiesa M., Kamisiński A., Rak J., Rétvári G., Schmid S. 2020. Fast Recovery Mechanisms in the Data Plane. TechRxiv. Preprint. <https://doi.org/10.36227/techrxiv.12367508.v2>

3. Лемешко О.В., Єременко О.С., Невзорова О.С. Поточкові моделі та методи маршрутизації в інфокомунікаційних мережах: відмовостійкість, безпека, масштабованість. Харків: ХНУРЕ, 2020. 308 с. DOI: <https://doi.org/10.30837/978-966-659-282-1>

4. Єременко О.С., Євдокименко М.О. Огляд теоретичних рішень щодо відмовостійкої маршрутизації в телекомунікаційних мережах. Проблеми телекомунікацій. 2018. № 1. С. 25- 42. DOI: <https://doi.org/10.30837/pt.2018.1.02>

5. Lemeshko O., Yevdokymenko M., Yeremenko O., Nevzorova O., Snihurov A., Kovalenko

T. (2019). Fast ReRoute Model with VoIP Quality of Experience Protection. 3rd IEEE International Conference Advanced Information and Communication Technologies (AICT). Lviv, P. 16–21. DOI: <http://doi.org/10.1109/aiact.2019.8847918>

6. Lemeshko O., Yevdokymenko M., Yeremenko O. Fast ReRoute Model with MultiMedia Quality Protection. 2020 IEEE 15th International Conference on Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering (TCSET), Lviv-Slavske, Ukraine, 2020, P. 287-292. DOI: 10.1109/TCSET49122.2020.235441

7. Yevdokymenko M. Enhancement of the adaptive routing tensor model in the infocommunication network with providing quality of experience by the R-factor. Technology audit and production reserves. 2020. Vol. 3, №2 (53). P. 15-22. DOI: <https://doi.org/10.15587/2706-5448.2020.206031>