

# БАЛАНСУВАННЯ НАВАНТАЖЕННЯ В ІНФОКОМУНІКАЦІЙНИХ МЕРЕЖАХ НА ПРИНЦИПАХ TRAFFIC ENGINEERING: РІШЕННЯ ТА ПРИКЛАДИ

Крепко А.В., Стаднік В.В.

Харківський національний університет  
Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Україна

E-mail: [krepkoalla@ukr.net](mailto:krepkoalla@ukr.net),  
[stadnikvova1@ukr.net](mailto:stadnikvova1@ukr.net)

---

## Abstract

*The paper reviews solutions for applying the Traffic Engineering concept to load balancing in infocommunication networks. A common feature of the reviewed solutions is the use of an optimization approach to solving load-balancing problems. The solutions cover the routing area - unicast, multicast, fault-tolerant, secure, and priority-based queue management. Such solutions aim to improve the Quality of Service and fault tolerance in infocommunication networks.*

---

До інфокомунікаційних мереж військового призначення (ІКМ ВП) завжди висувались дуже високі вимоги щодо рівня стійкості до різних внутрішніх та зовнішніх впливів як антагоністичного, так і випадкового характеру. Поняття стійкості традиційно охоплює такі властивості ІКІ ВП, як надійність, завадостійкість та живучість. До впливів внутрішньої природи можна віднести відмови та збої у апаратному та програмному забезпеченні мережного обладнання. До зовнішніх впливів варто віднести випадкові та навмисні завади, а також вогневе враження з боку противника. Для забезпечення стійкості ІКІ ВП має застосовуватись система взаємодоповнюючих організаційних та технічних рішень проактивного та реактивного характеру.

Як показав проведений аналіз [1-3] дієвим засобом підвищення ефективності функціонування ІКІ ВП є технології управління трафіком. При цьому засоби балансування навантаження при управлінні трафіком все частіше реалізують принципи Traffic Engineering (TE) [4]. Ці рішення стосуються, як правило, питань забезпечення збалансованого використання доступного мережного (канального та буферного) ресурсу на підставі реалізації багатошляхової стратегії маршрутизації. Вони вже знайшли своє практичне використання у IP/MPLS та програмно-конфігурованих мережах (SDN). Так у документах [5-7] представлено протоколів OSPF (Open Shortest Path First), IS-IS (Intermediate System to Intermediate System), які стосуються підтримки TE. Подібні вдосконалення торкнулись і протоколу BGP (Border Gateway Protocol) [8]. Підтримка балансування навантаження стосується і протоколів маршрутизації сімейства FHRP (First Hop Redundancy Protocol) [9]. У протоколі GLBP (Gateway Load Balancing Protocol) [9] підтримується три режими балансування навантаження між приграничними маршрутизаторами, які створюють віртуальний шлюз за замовчуванням.

Проявом системного підходу до розв'язання задач TE-маршрутизації є використання оптимізаційних моделей та методів [10-22]. У роботі [10] мінімізується верхній поріг завантаженості каналів зв'язку мережі. У статтях [11-16] при балансуванні навантаження врахували додатково показники мережної безпеки. Широке використання концепція Traffic Engineering отримала при розв'язанні задач відмовостійкої маршрутизації та швидкої перемаршрутизації [17-22]. У роботі [23] принципи Traffic Engineering адаптовано під розв'язання задач багатоадресної маршрутизації.

З метою підвищення масштабованості маршрутних рішень для розв'язання задач TE-маршрутизації використовують різноманітні евристичні алгоритми та методи [24]. У роботі [25] науковці використали зважене балансування навантаження на принципах Traffic Engineering для забезпечення якості обслуговування, заснованого на пріоритетах пакетів (потоків). До цього

підтримка моделі диференційованих служб (DiffServ) забезпечувалась лише на підставі застосування засобів управління чергами (PQ, WFQ, CBWFQ, LLQ). У роботах [26-30] принципи Traffic Engineering використанні для оптимізації рішень задач пріоритетного управління чергами.

Як висновок слід зазначити, що використання принципів Traffic Engineering набуло широкого загалу. Вони активно реалізуються як практики при вдосконаленні засобів управління трафіком: протоколів маршрутизації та механізмів управління чергами, так і при проведенні наукових досліджень у області мережних технологій.

### Література:

1. Szigeti, T., Hattingh, C., Barton, R., & Briley Jr, K.. End-to-End QoS network design: Quality of Service for rich-media & cloud networks. Cisco press, 2013. 1040 p.
2. Лемешко О.В., Єременко О.С., Євдокименко М.О., Шаповалова А.С., Слейман Б. Моделювання та оптимізація процесів безпечної та відмовостійкої маршрутизації в телекомунікаційних мережах: Монографія. – Харків: ХНУРЕ, 2022. – 198 с. DOI: <https://doi.org/10.30837/978-966-659-378-1>.
3. Лемешко О.В., Єременко О.С., Невзорова О.С. Потоківі 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. Osborne, E. D., & Simha, A. (2002). *Traffic engineering with MPLS*. Cisco Press.
5. Katz D., Kompella K., Yeung D. Traffic engineering (TE) extensions to OSPF version 2. RFC 3630, Internet Engineering Task Force (IETF), 2003. 14 p.
6. Li T., Smit H. IS-IS extensions for Traffic Engineering. RFC 5305, Internet Engineering Task Force (IETF), 2008. 16 p.
7. Previdi S., Giacalone S., Ward D., Drake J., Wu Q. IS-IS Traffic Engineering (TE) Metric Extensions. RFC 7810, Internet Engineering Task Force (IETF), 2016. 18 p.
8. Ould-Brahim H., Fedyk D., Rekhter Y. BGP Traffic Engineering Attribute. RFC 5543, Internet Engineering Task Force (IETF), 2009. 6 p.
9. First Hop Redundancy Protocols Configuration Guide. Cisco IOS Release 15.1 M&T, 2018. 154 p.
10. Seok Y., Lee Y., Kim C., Choi Y. Dynamic Constrained Multipath Routing for MPLS Networks. IEEE International Conference on Computer Communications and Networks. 2001. №3. P. 348–353.
11. Lemeshko O., Yevdokymenko M., Shapoval M. Routing Model with Load Balancing on the Traffic Engineering Principles based on Information Security Risks, 2021 IEEE 8th International Conference on Problems of Infocommunications, Science and Technology (PIC S&T), 2021, pp. 572-576, doi: 10.1109/PICST54195.2021.9772193.
12. Lemeshko O., Shapovalova A., Al-Dulaimi A.M.K., Yeremenko O., Yevdokymenko M. Flow-Based Routing Model With Load Balancing Under Network Security Parameters // Information and Telecommunication Sciences. No 2 (2020). P. 44-50.
13. Lemeshko O., Yeremenko O., Shapovalova A., Hailan A.M., Yevdokymenko M., Persikov M. Design and Research of the Model for Secure Traffic Engineering Fast ReRoute under Traffic Policing Approach. 2021 16th International Conference on the Experience of Designing and Application of CAD System in Microelectronic (CADSM), 22-26 February 2021. Lviv, Ukraine. P. 4/23-4/26.
14. Lemeshko O., Hu Z., Shapovalova A., Yeremenko O., Yevdokymenko M. Research of the Influence of Compromise Probability in Secure Based Traffic Engineering Model in SDN. In: Hu Z., Petoukhov S., Dychka I., He M. (eds) *Advances in Computer Science for Engineering and Education IV. ICCSEEA 2021. Lecture Notes on Data Engineering and Communications Technologies*, 2021, vol 83. pp 47-55. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-80472-5\\_5](https://doi.org/10.1007/978-3-030-80472-5_5).
15. Lemeshko O., Yeremenko O., Yevdokymenko M., Shapovalova A., Baranovskyi O. (2022) Complex Investigation of the Compromise Probability Behavior in Traffic Engineering Oriented Secure Routing Model in Software-Defined Networks. In: Klymash M., Beshley M., Luntovskyy A. (eds) *Future Intent-Based Networking. Lecture Notes in Electrical Engineering*, vol 831. Springer, Cham. pp. 145-160. DOI: [https://doi.org/10.1007/978-3-030-92435-5\\_8](https://doi.org/10.1007/978-3-030-92435-5_8).
16. Lemeshko, O., Yeremenko, O., Yevdokymenko, M., Shapovalova, A., Hailan, A.M., Mersni, A.: Cyber resilience approach based on traffic engineering fast reroute with policing. In: 2019 10th IEEE International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications (IDAACS) Proceedings, vol. 1, pp. 117-122. IEEE (2019). <https://doi.org/10.1109/IDAACS.2019.8924294>
17. Lemeshko O., Yeremenko O., Yevdokymenko M., Shapovalova A., Ilyashenko A., Sleiman B. Traffic Engineering Fast ReRoute Model with Support of Policing // IEEE 2nd Ukraine Conference on Electrical and Computer Engineering (UKRCON), July 2 – 6, 2019. – Lviv, Ukraine. – P. 842-845.
18. Lemeshko O., Yeremenko O., Hailan A.M., Yevdokymenko M., Shapovalova A. Policing Based Traffic Engineering Fast ReRoute in SD-WAN Architectures: Approach Development and Investigation. In: Al-Bakry A. et al.

(eds) New Trends in Information and Communications Technology Applications. NTICT 2020. Communications in Computer and Information Science, 2020, vol 1183. Springer, Cham. pp 29–43. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-55340-1\\_3](https://doi.org/10.1007/978-3-030-55340-1_3).

19. Lemeshko O., Yeremenko O., Shapovalova A., Hailan A.M., Yevdokymenko M., Persikov M. Design and Research of the Model for Secure Traffic Engineering Fast ReRoute under Traffic Policing Approach. 2021 16th International Conference on the Experience of Designing and Application of CAD System in Microelectronic (CADSM), 22-26 February 2021. Lviv, Ukraine. P. 4/23-4/26.

20. Lemeshko O., Yeremenko O., Yevdokymenko M., Shapovalova A., Lemeshko V. Network Security Approach Based on Traffic Engineering Fast ReRoute with support of Traffic Policing. Proceedings of the Selected Papers on Cybersecurity Providing in Information and Telecommunication Systems (CPITS 2021). Kyiv, Ukraine. CEUR, 2021. Vol. 2923. P. 81-90.

21. Lemeshko O., Yeremenko O., Yevdokymenko M., Zhuravlova A., Kruhlova A., Lemeshko V. Research of Improved Traffic Engineering Fault-Tolerant Routing Mechanism in SD-WAN, 2021 IEEE 3rd Ukraine Conference on Electrical and Computer Engineering (UKRCON), 2021, pp. 187-190, doi: 10.1109/UKRCON53503.2021.9575272.

22. Lemeshko O., Yeremenko O., Mersni A., Yevdokymenko M. Resilience Aware Traffic Engineering FHRP Solution (Invited Paper). 2021 IEEE International Conference on Information and Telecommunication Technologies and Radio Electronics (UkrMiCo), Kyiv, Ukraine, November 29 – December 3, 2021. P. 88-92.

23. Hu, Z., Lemeshko, O., Yeremenko, O., Mersni, A., Yevdokymenko, M. Investigation of the Multicast Routing Model with Support of Traffic Engineering and Its Application in Software-Defined Networking. In: Advances in Artificial Systems for Logistics Engineering. ICAILE 2022. Lecture Notes on Data Engineering and Communications Technologies, 2022, vol 135. pp. 481–492. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-04809-8\\_44](https://doi.org/10.1007/978-3-031-04809-8_44).

24. Skivée F., Balon S., Leduc G. (2006). A scalable heuristic for hybrid IGP/MPLS traffic engineering-Case study on an operational network. In: 2006 14th IEEE International Conference on Networks, Vol. 2. IEEE, pp. 1–6. <https://doi.org/10.1109/ICON.2006.302621>

25. Lemeshko, O., Yeremenko, O., Yevdokymenko, M., Lemeshko, V., Persikov, M. QoS-Aware Adaptation Traffic Engineering Solution for Multipath Routing in Communication Network. In: Dovgyi, S., Trofymchuk, O., Ustimenko, V., Globa, L. (eds) Information and Communication Technologies and Sustainable Development. ICT&SD 2022. Lecture Notes in Networks and Systems, 2023, vol 809. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-46880-3\\_9](https://doi.org/10.1007/978-3-031-46880-3_9).

26. Lemeshko O., Yeremenko O., Persikov A., Yevdokymenko M., Mersni A., Harkusha S., "Queue Management Priority-Based Traffic Engineering Method," 2022 IEEE 9th International Conference on Problems of Infocommunications, Science and Technology (PIC S&T), Kharkiv, Ukraine, 2022, pp. 479-483, doi: 10.1109/PICST57299.2022.10238534.

27. Lemeshko, O.; Yeremenko, O.; Titarenko, L.; Barkalov, A. Hierarchical Queue Management Priority and Balancing Based Method under the Interaction Prediction Principle. Electronics 2023, 12, 675. <https://doi.org/10.3390/electronics12030675>.

28. Lemeshko O.V., Ali S. Ali, Starkova O.V. A flow-based model of dynamic queue balancing in the MPLS-network with traffic engineering queue support. 11-th International Conference THE EXPERIENCE OF DESIGNING AND APPLICATION OF CAD SYSTEMS IN MICROELECTRONICS Polyana-Svalyava-(Zakarpattia), UKRAINE 23 - 25 February 2011: Publishing House of Lviv Polytechnic, 2011. – P. 116-117.

29. Lemeshko O., Ali S. Ali, Semenyaka M. Results of the Dynamic Flow-Based Queue Balancing Model Research. Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science. Proceedings of the international Conference TCSET'2012. – Lviv-Slavske, Ukraine, February 21-24, 2012: Publishing House of Lviv Polytechnic, 2012. – P. 318-319.

30. Lemeshko O., Lebedenko T., Al-Dulaimi A. Improvement of Method of Balanced Queue Management on Routers Interfaces of Telecommunication Networks. 3rd IEEE International Conference Advanced Information and Communication Technologies (AICT), July 2 – 6, 2019. – Lviv, Ukraine. P. 170-175, doi: 10.1109/AIACT.2019.8847749.