

# ВДОСКОНАЛЕННЯ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ВІДМОВОСТІЙКОЇ МАРШРУТИЗАЦІЇ

Журавльова А.С., Круглова А.О.

Кафедра «Інфокомунікаційної інженерії  
ім. В.В. Поповського», ХНУРЕ, Україна

E-mail: [anna.zhuravlova@nure.ua](mailto:anna.zhuravlova@nure.ua),

E-mail: [anastasiia.kruhlova@nure.ua](mailto:anastasiia.kruhlova@nure.ua).

---

## Abstract

*The work combined the transport level and the access level into one network, to implement a comprehensive protection of the network from various types of damage and rational allocation of resources. A study of default gateway security protocols, such as: GLBP on GNS3 simulation equipment. An analysis of the advantages and disadvantages of both the selected and improved network structure and the mathematical model and investigated default gateway protection protocols was also performed. A mathematical model for fault-tolerant routing research is selected and improved.*

---

Незважаючи на постійне зростання надійності сучасного комунікаційного обладнання, проблема забезпечення заданого рівня відмовостійкості в інфокомунікаційній мережі (ІКМ) стоїть досить гостро. У зв'язку з цим на сьогоднішній день надзвичайно актуальним є завдання, пов'язане з побудовою відмовостійких мереж, здатних забезпечити високий рівень якості обслуговування та відмовостійкості. За реалізацією багаторівневої архітектури сучасних ІКМ задачі відмовостійкої маршрутизації можуть розв'язуватись як на рівні доступу, так і на рівні ядра або транспортної мережі. На рівні доступу задача відмовостійкої маршрутизації зводиться до захисту шлюзу за замовчуванням. Це можливо організувати, коли мережі доступу комутуються одночасно до декількох приграничних маршрутизаторів, інтерфейси яких конфігуруються відповідним протоколом як віртуальний шлюз за замовчуванням. У протоколів ІР-мереж, таких як HSRP, VRRP, GLBP, CARP є свої недоліки, які можна усунути за рахунок перегляду існуючих математичних моделей. Оскільки графові моделі та методи пошуку найкоротшого шляху, використовуються в сучасних маршрутних протоколах, це робить в більшості випадків неможливим врахування вимог, що висувуються до рішень відмовостійкої маршрутизації. У даній роботі головною задачею є вдосконалення математичної моделі багатошляхової маршрутизації, в основі якої лежить потокова модель. Саме така модель може використовуватися в основі маршрутних протоколів для підвищення безпеки при передачі даних, забезпечення заданого рівня якості обслуговування, підвищення відмовостійкості та ефективного використання ресурсів.

Потокова модель відмовостійкої маршрутизації в ІКМ реалізується на умовах одношляхової та багатошляхової маршрутизації; умовах збереження потоку на рівні ІКМ та умовах запобігання перевантаження каналів зв'язку. Задачу балансування навантаження в ІКМ можна сформулювати в оптимізаційній формі. Критерієм оптимальності буде виступати умови захисту шлюзу за замовчуванням. В рамках даної моделі технологічна задача балансування навантаження була зведена до розв'язання оптимізаційної задачі. Як і у випадку формування основного маршруту, змінні доступу для резервного шляху обмежені аналогічними умовами. Ці умови повинні запобігати втратам пакетів і забезпечити збереження потоку в транспортній мережі для резервного шляху. Якщо балансування навантаження реалізується як на рівні доступу, так і у ІКМ, то сформована оптимізаційна задача попаде до класу задач лінійного програмування. Таким чином, у вирішенні технологічного завдання щодо відмовостійкої маршрутизації у разі реалізації багатошляхової стратегії та балансування навантаження на рівні приграничних маршрутизаторів оптимізаційна задача прийме вигляд задачі нелінійного програмування.

В залежності від підтримки або не підтримки балансування навантаження на рівні доступу або рівні ІКМ розглядалися три види моделі. За результатами порівняльного аналізу, вираш по продуктивності ІКМ коли балансування навантаження відбувалося відповідно до моделі, з балансуванням на рівні доступу та на рівні ІКМ (модель 3), виріс порівняно с моделлю без балансування навантаження між приграничними маршрутизаторами (модель 2), в 1,2 десятих раз, та порівняно з моделлю без балансування навантаження на рівні доступу та ІКМ (модель 1) в 2,76 раз. Виграш по верхньому порогу використання каналів зв'язку вдосконаленої моделі порівняно з першою моделлю приблизно на 64% і порівняно з другою моделлю приблизно на 30%. За допомогою цього аналізу, було виявлено, що модель з балансуванням на рівні доступу і на рівні ІКМ виграє моделям без балансування навантаження, по продуктивності та по верхньому порогу використання каналів зв'язку. Саме тому рішення з резервними маршрутами базуватимуться на цій моделі.

У роботі запропоновано варіант налаштування мережі під отримані розрахункові рішення. Для цього використовувався симулятор GNS 3 (Graphical Network Simulator). Для забезпечення балансування навантаження на рівні приграничних маршрутизаторів мережі використовувався та налаштовувався протокол GLBP (Gateway Load Balancing Protocol). Вибір цього протоколу для експерименту визначався його широкими можливостями щодо забезпечення відмовостійкості та балансування навантаження одночасно між декількома приграничними маршрутизаторами. В режимі `round-robin` шляхом налаштування відповідних вагових параметрів на інтерфейсах розраховано порядок балансування, за допомогою запропонованої у роботі математичної моделі.

Результати проведеного дослідження підтвердили ефективність запропонованого рішення. Завдяки проведеному аналізу, було виявлено, що модель, де балансування реалізувалось як на рівні доступу, так і на рівні ІКМ, має переваги відносно моделі без балансування навантаження як по продуктивності так і по рівню завантаженості каналів зв'язку. Тому наступні рішення з резервними маршрутами базувалися на цій моделі. В ході проведення досліджень були отримані результати, які направлені на відображення роботи багатопляхової відмовостійкої маршрутизації з балансуванням навантаження. Аналіз отриманих результатів показав, що реалізація закладених принципів відмовостійкої маршрутизації у моделі 3 дозволила знизити верхній поріг використання каналів зв'язку мережі у середньому на 69,57% у порівнянні з моделлю 1 та на 30,43% у порівнянні з моделлю 2. Також були досліджені процеси балансування навантаження на рівні шлюзу за замовчуванням з використанням протоколу GLBP. Запропоновано автоматизувати функції протоколу GLBP щодо балансування навантаження між інтерфейсами віртуального шлюзу за замовчуванням з використанням вдосконаленої моделі. Проведений у роботі експеримент показав, що реалізувати на практиці отримані результати розрахунків можна за допомогою протоколу GLBP з відповідним адміністративним налаштуванням його параметрів щодо балансування навантаження.

## Література:

1. Лемешко О. В. Потоківі моделі та методи маршрутизації в інфокомунікаційних мережах: відмовостійкість, безпека, масштабованість / О. В. Лемешко, О. С. Єременко, О. С. Невзорова. – Харків, 2020. – 307 с.
2. Круглова А. О. Потоківі модель балансування навантаження в інфокомунікаційній мережі / А. О. Круглова, А. С. Журавльова // Міжнародна науково-технічна конференція студентів та аспірантів «Перспективи розвитку інформаційно-телекомунікаційних технологій та систем» ПРИТС 2021: Збірник тез конференції. К.: КПІ ім. Ігоря Сікорського / А. О. Круглова, А. С. Журавльова., 2021. – 402 с.
3. Лемешко А.В., Хайлан А.М. Многоуровневое управление трафиком в сети MPLS–TE DiffServ на основе координационного принципа прогнозирования взаимодействий. Проблемы телекомунікацій. 2010. № 1 (1). С. 35–44. URL: [http://pt.nure.ua/wp-content/uploads/2020/01/101\\_lemeshko\\_traffic.pdf](http://pt.nure.ua/wp-content/uploads/2020/01/101_lemeshko_traffic.pdf).
4. Телекомунікаційні системи та мережі. Структура та основні функції / В.В. Поповський та ін. Вид. 2-ге, випр. та допов. Харків: СМІТ. 2018. Т. 1. URL: <http://www.znanius.com/3534.html>.
5. Amin R., Reisslein M., Shah N. Hybrid SDN Networks: A Survey of Existing Approaches. IEEE Communications Surveys & Tutorials. 2018. 48 p. DOI: 10.1109/COMST.2018.2837161.