

АНАЛІЗ НАДІЙНОСТІ ЛОКАЛЬНОЇ ІНФОКОМУНІКАЦІЙНОЇ МЕРЕЖІ

Лемешко В.О., Куренко В.О.

Харківський національний університет радіоелектроніки,
кафедра інфокомунікаційної інженерії ім. В.В. Поповського,
Україна.

E-mail: valentyn.lemeshko@nure.ua,
vladyslav.kurenko@nure.ua

Abstract

The article analyzes the reliability level of several network topologies. The analysis focused on the impact of the reliability level of individual links and structural redundancy on the probability of fault-free operation of connections between different network switches. The analysis results confirmed that introducing redundancy in the network topology increases information and communication network (ICN) structural reliability. The obtained quantitative results allow us to justify the choice of a particular topology to ensure a given level of structural reliability. Based on the results, it is possible to develop recommendations for choosing a specific network topology depending on the state of the switches, their ports, and the reliability requirements of the ICN in general.

Сучасна інфокомунікаційна мережа (ІКМ) – це складна організаційно-технічна система, що об'єднує комунікаційні пристрої, сервери, кінцеві пристрої (термінали), їхнє програмне забезпечення з метою надання сервісів із заданим рівнем якості обслуговування (Quality of Service, QoS). Однією з ключових властивостей ІКМ є надійність. Під надійністю розуміють здатність мережі забезпечувати на заданому рівні показники ефективності (перш за все QoS) в умовах різноманітних впливів внутрішньої природи. Поняття надійності охоплює властивості безвідмовності, відмовостійкості, довговічності, збережуваності та ремонтпридатності. Безвідмовність означає стабільну роботу без збоїв протягом певного часу, довговічність – роботу до граничного стану, ремонтпридатність – можливість відновлення, збережуваність – стабільність параметрів, а відмовостійкість – роботу в умовах збоїв апаратного та програмного забезпечення елементів ІКМ [1–4].

Як показав проведений аналіз, основними причинами відмов є техногенні катастрофи, людські помилки, шкідливі втручання, природні катаклізми, апаратні та програмні збої, проблеми з енергоживленням і перевантаження. Завдання побудови надійних ІКМ із високими показниками якості (QoS) є актуальним.

Складність проблеми щодо забезпечення високої надійності ІКМ потребує злагодженої роботи більшості технологічних і протокольних засобів на всіх рівнях OSI. Забезпечення надійності ІКМ на фізичному рівні OSI забезпечується на підставі вибору середовища передавання сигналів, виду та характеристик самих сигналів тощо. Наприклад, мідні кабелі надійні та доступні, але мають обмежену дальність зв'язку; оптичні кабелі підтримують високу пропускну здатність і стійкість до завад, проте є більш дорогими; безпроводові рішення забезпечують мобільність, але мають меншу пропускну здатність і чутливі до завад. На каналному рівні забезпечення надійності, наприклад, відбувається з використанням множини методів завадостійкого кодування та різних модифікацій протоколу кістякового дерева (Spanning Tree Protocol, STP). Модифікації STP (RSTP, PVST+, MSTP, SPB) адаптуються до різних топологій, забезпечуючи відмовостійкість та ефективне управління трафіком у локальній мережі.

На мережному рівні OSI для підвищення надійності ІКМ традиційно використовуються протоколи маршрутизації, коли мережні елементи виходять з ладу. Протоколи маршрутизації, такі як RIP, OSPF, BGP, здатні змінювати маршрути в разі несправностей, обираючи найкращий шлях. Для зменшення часу реакції на відмови в ІКМ використовуються рішення щодо відмовостійкої маршрутизації, наприклад, швидкої перемаршрутизації Fast ReRoute (FRR) [5, 6], коли маршрутизатор одночасно

но розраховує та готує до використання основний та декілька резервних маршрутів. Крім того, протоколи сімейства FHRP (як-от VRRP, HSRP) забезпечують резервування шлюзів, дозволяючи швидко перемикає трафік між приграничними маршрутизаторами без участі адміністратора. Транспортний рівень OSI забезпечує надійну передачу даних, перш за все, за допомогою TCP. Цей протокол гарантує цілісність, а також заданий порядок доставки, повторно передаючи втрачені сегменти, встановлюючи з'єднання та регулюючи потік сегментів для попередження перевантаження ІКМ.

У роботі проведено дослідження надійності фрагменту локальної мережі, яка об'єднувала чотири офіси в одній будівлі з відмовостійким доступом до глобальної мережі. Кожен офіс містив по 20 персональних ком'ютерів (ПК), які можуть бути замінені іншими мережними пристроями. Доступ до глобальної мережі забезпечують двома маршрутизаторами, які використовували протокол HSRP для підвищення відмовостійкості доступу. Комутатори (Switch1 – Switch4) з'єднували офіси, створюючи повнозв'язну фізичну топологію. Вибрано протокол PVST+ для побудови остову з кореневим комутатором. При відмовах мережа перебудовувалась для забезпечення працездатності, а час реакції зменшувався завдяки використанню Rapid PVST.

Для аналізу різних варіантів структурної надійності ІКМ була обрана математична модель, яка представлена у роботах [7-10]. Нехай V – кількість каналів зв'язку в ІКМ загалом:

p_i – імовірність безвідмовної роботи i -го каналу ІКМ ($i = \overline{1, V}$);

q_i – імовірність відмови i -го каналу ІКМ ($i = \overline{1, V}$).

Тоді для кожного каналу зв'язку ІКМ буде справедливою така формула:

$$p_i + q_i = 1 \quad (i = \overline{1, V}). \quad (1)$$

Розглядалась множина мережних топологій локальної ІКМ, які охоплювали варіанти різних з'єднань комутаторів К1, К2, К3 та К4 (рис. 1).

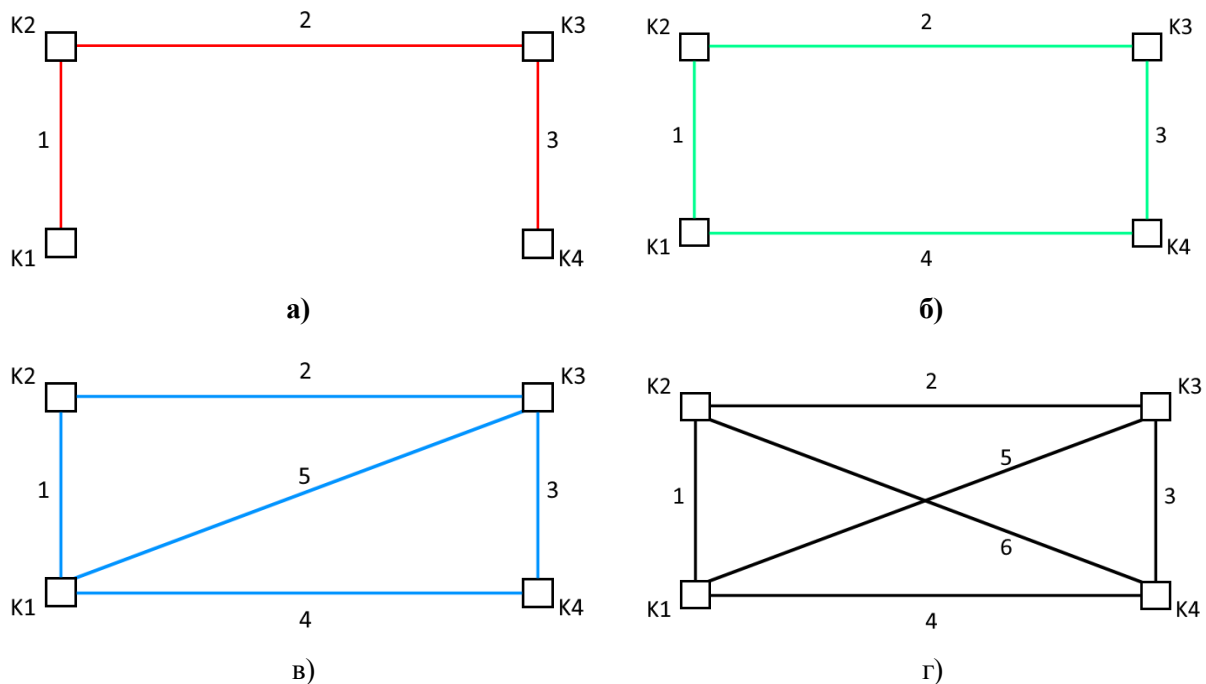


Рис. 1. Варіанти топологій локальної ІКМ з різними варіантами з'єднанням комутаторів
а) послідовне з'єднання комутаторів; б) з'єднання «кільце»; в) з'єднання за комірчастою схемою; г) повнозв'язна топологія

Ймовірності безвідмовної роботи каналів зв'язку представлені у табл. 1. Розраховані показники надійності для кожної з розглянутих мережних топологій представлені у табл. 2. Отримані результати розрахунків підтвердили адекватність обраної моделі розрахунків. Мережні топології з вищим рівнем структурної надлишковості забезпечували кращі показники надійності ІКМ (рис. 1).

Табл. 1. Ймовірності безвідмовної роботи каналів зв'язку

Номер каналу (i)	1	2	3	4	5	6
p_i	0,9	0,99	0,8	0,998	0,85	0,98

Табл. 2. Показники надійності для різних мережних топологій

Тип з'єднання комутаторів / номер топології	K1 – K2	K1 – K3	K1 – K4
топологія 1 (рис. 1 а)	0,9000	0,8910	0,7128
топологія 2 (рис. 1 б)	0,9790	0,9780	0,9994
топологія 3 (рис. 1 в)	0,9960	0,9967	0,9996
топологія 4 (рис. 1 г)	0,9970	0,9996	1,0000

З використанням середовища MATLAB у роботі проводилось дослідження та порівняльний аналіз рівня структурної надійності різних мережних топологій (рис. 1) залежно від рівня надійності окремих мережних елементів (каналів зв'язку). Припускалося, що ймовірності безвідмовної роботи всіх каналів локальної ІКМ однакові та змінювалися у діапазоні від 0,75 до 0,9999. Аналізувалися показники надійності з'єднань між усіма парами комутаторів для різних мережних конфігурацій (рис. 1). На рис. 2 представлені результати аналізу ймовірності безвідмовної роботи з'єднань залежно від ймовірності безвідмовної роботи окремих каналів зв'язку.

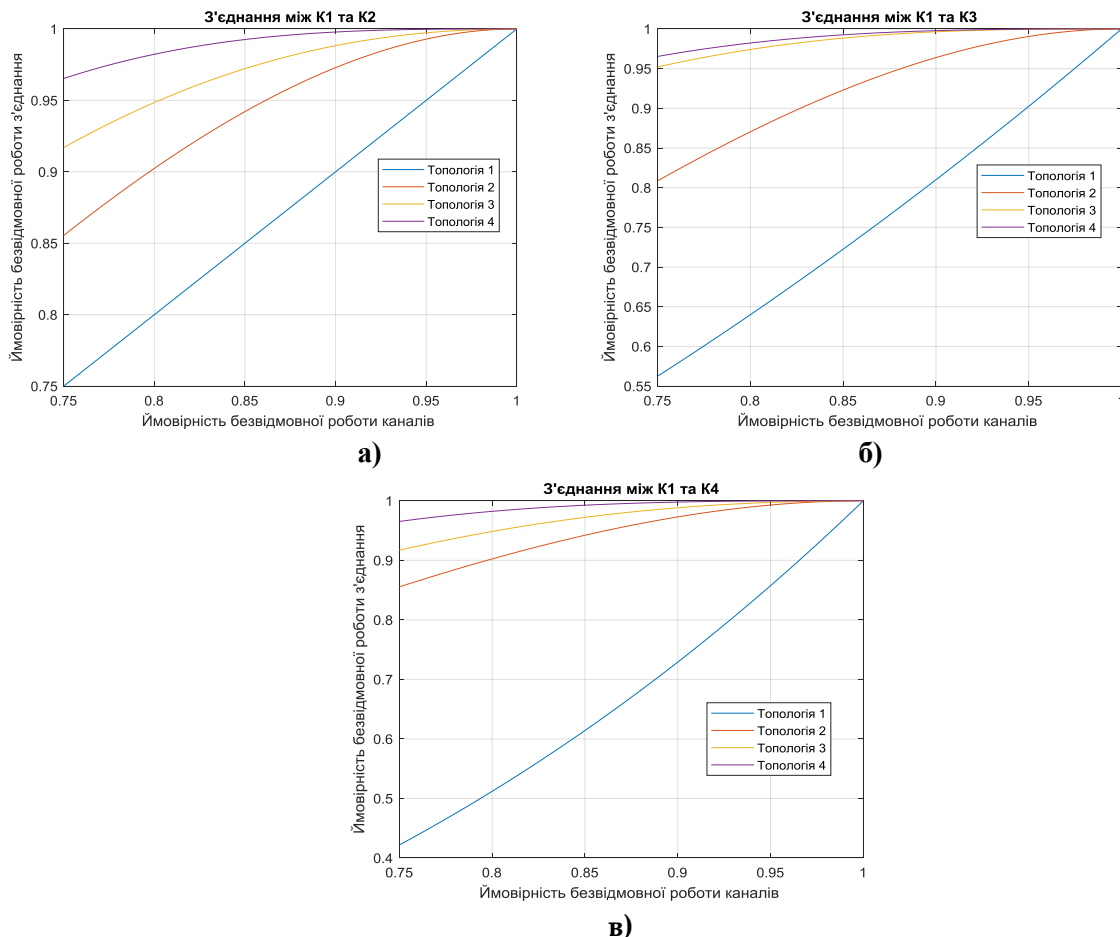


Рис. 2. Результати розрахунку ймовірності безвідмовної роботи з'єднань між різними комутаторами ІКМ в залежності від зміни ймовірності безвідмовної роботи каналів зв'язку

Аналіз результатів, представлених на рис. 2, показав, що введення структурної надлишковості у топологію мережі призводить до підвищення рівня надійності ІКМ, на яке, перш за все, впливали такі фактори:

- ймовірність безвідмовної роботи каналів зв'язку мережі;
- кількість каналів у з'єднанні між обраною парою комутаторів мережі.

Найбільший вигравш від використання більш зв'язної топології спостерігався за умов використання каналів зв'язку з відносно невисокою ймовірністю безвідмовної роботи ($0,75 \div 0,9$). У цьому випадку підвищити рівень надійності з'єднань вдавалось від 10-30% до 35-130%. Саме при повнозв'язній топології (рис. 1 в) для з'єднань, які містили максимальну кількість каналів, забезпечувалось найбільш суттєве зростання рівня надійності. Якщо канали зв'язку мережі мали високу ймовірність безвідмовної роботи ($0,9 \div 0,9999$), то вигравш дещо знижувався і складав від 5% до 18%. Грунтуючись на отриманих результатах, можна розробити рекомендації щодо вибору тієї чи іншої мережної топології залежно від стану комутаторів, його портів і вимог щодо рівня надійності ІКМ загалом.

На підставі проведено аналізу встановлено, що надійність є однією з основних властивостей сучасних ІКМ. Встановлено, що забезпечення надійності ІКМ забезпечується на основі використання технологій і протоколів всіх рівнів моделі OSI – від фізичного до прикладного. Проведено кількісний аналіз рівня структурної надійності ІКМ на основі порівняння ефективності використання різних мережних топологій (рис. 1). Показником надійності було обрано ймовірність безвідмовної роботи з'єднання між різними парами комутаторів. Встановлено, що введення надлишковості у топологію мережі призводить до підвищення рівня структурної надійності ІКМ, що особливо проявлялось в умовах невисокої надійності каналів мережі.

Література

1. Лемешко, О. В., Поповський, В. В., Лошаков, В. А. та ін., за ред. Поповського В. В. (2010), Багатоканальний електрозв'язок та телекомунікаційні технології: підручник у 2-х ч. Ч. 1. Харків: ТОВ "Компанія СМІТ", 470 с.
2. Васілевський, О. М., Поджаренко, В. О. (2010), Нормування показників надійності технічних засобів. Вінниця: ВНТУ, 130 с.
3. ДСТУ 2861-94 (1994), Державний стандарт України. Надійність техніки. Аналіз надійності. Основні положення. Київ: Держстандарт, 16 с.
4. Бобало, Ю. Я., Волочий, Б. Ю., Лозинський, О. Ю. та ін. (2013), Математичні моделі та методи аналізу надійності радіоелектронних, електротехнічних та програмних систем. Львів: Видавництво Львівської політехніки, 301 с.
5. Лемешко, О. В., Єременко, О. С., Невзорова, О. С. (2020), Потоківі моделі та методи маршрутизації в інфокомунікаційних мережах: відмовостійкість, безпека, масштабованість, Харків: ХНУРЕ, 308 с. DOI: <https://doi.org/10.30837/978-966-659-282-1>.
6. Лемешко, О. В., Єременко, О. С., Євдокименко, М. О., Шаповалова, А. С., Слейман, Б. (2022), Моделювання та оптимізація процесів безпечної та відмовостійкої маршрутизації в телекомунікаційних мережах: Монографія. Х.: ХНУРЕ, 198 с. DOI: <https://doi.org/10.30837/978-966-659-378-1>.
7. Коренівська, О. Л., Бенедицький, Б. В. (2020), Надійність, експлуатація та ремонт радіоелектронної та телекомунікаційної техніки. Житомир: Житомирська політехніка, 181 с.
8. Абрамова, А. О. (2022), Розрахунок ймовірності безвідмовної роботи системи на основі моделі типу «міцність-навантаження». Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 37 с.
9. Lemeshko, O., Yeremenko, O., Mersni, A., Gazda, J. (2022), "Improvement of Confidential Messages Secure Routing over Paths with Intersection in Cyber Resilient Networks", Proceedings of the 2022 XXVIII International Conference on Information, Communication and Automation Technologies (ICAT), Sarajevo, Bosnia and Herzegovina, 16-18 June, P. 1–6. DOI: <https://doi.org/10.1109/ICAT54566.2022.9811191>.
10. Лемешко, О. В., Єременко, О. С., Євдокименко, М. О., Коваленко, Т. М. (2021), "Методика розрахунку ймовірності компрометації конфіденційних повідомлень при безпечній маршрутизації в інфокомунікаційних мережах з використанням шляхів, які перетинаються", Проблеми телекомунікацій, No. 2(29). С. 15–27. DOI: <https://doi.org/10.30837/pt.2021.2.02>.