

<https://doi.org/10.31891/2219-9365-2023-74-20>

УДК 621.396

ЗАЛЕВСЬКИЙ Богдан
Національний авіаційний університет
<https://orcid.org/0009-0008-8580-7722>
zalevskiybohdan@gmail.com

МОДЕЛЬ КОМПЛЕКСНОЇ ОЦІНКИ СТРУКТУРНОЇ НАДІЙНОСТІ ПРИ РЕЗЕРВУВАННІ БАЗОВОГО ЕЛЕМЕНТА КАНАЛУ ПЕРЕДАЧІ ДАНИХ БЕЗПРОВОДОВОЇ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНОЇ МЕРЕЖІ

В статті визначено та обґрунтовано метод резервування структури каналу передачі інформації телекомунікаційної мережі при умові врахування характеристик надійності базового основного елемента каналу. Систематизовано параметри та характеристики, які підпадають під врахування в процесі оцінки надійності резервованого каналу передачі інформації телекомунікаційної мережі.

Розроблено та подано модель оцінки надійності каналу передачі інформації з врахуванням параметрів надійності основного базового елемента.

Подана модель основана на імовірнісних характеристиках надійності базового елемента телекомунікаційної мережі з резервуванням. Вона враховує імовірності безвідмовної роботи основного та резервного елемента, імовірність перемикання від основного до резервного елемента в встановлений термін часу та імовірності справного стану каналів передачі даних до базового елемента.

Результати оцінки імовірності справного стану показують, що імовірність справного стану для обраного діапазону надійності базових елементів та каналів зв'язку лежить в діапазоні 0.9 – 0.99 та має тенденцію до збільшення при підвищенні надійності складових елементів структури телекомунікаційної мережі з резервуванням.

Ключові слова: телекомунікаційна мережа, надійність, топологічна схема, резервування, оцінка надійності

Bohdan ZALEVSKYI
National Aviation University

MODEL OF COMPLEX ASSESSMENT OF STRUCTURAL RELIABILITY WHEN RESERVING THE BASIC ELEMENT OF A DATA TRANSMISSION CHANNEL OF A WIRELESS TELECOMMUNICATION NETWORK

The article defines and substantiates the method of reserving the structure of the information transmission channel of the telecommunications network, provided that the reliability characteristics of the basic main element of the channel are taken into account. The parameters and characteristics that are taken into account in the process of evaluating the reliability of the reserved information transmission channel of the telecommunications network have been systematized.

The model for assessing the reliability of the information transmission channel, taking into account the reliability parameters of the main basic element, has been developed and presented.

The presented model is based on probabilistic reliability characteristics of the basic element of the telecommunications network with redundancy. It takes into account the probabilities of fault-free operation of the main and backup element, the probability of switching from the main to the backup element in a set time, and the probability of the serviceable state of the data transmission channels to the base element. Wireless radio communication is one of the most dynamically developing areas of telecommunication networks widely used in solving economic issues. A complex property that characterizes the quality of functioning of telecommunication networks based on wireless communication is its reliability. Solving the problem of assessing the reliability of an information transmission channel, as one of the structural components of telecommunication networks, whose work is based on the functioning of the main basic element of telecommunication networks, taking into account its reliability indicators, is a timely scientific task, the solution of which is devoted to this article.

The results of the evaluation of the probability of a healthy state show that the probability of a healthy state for the selected range of reliability of basic elements and communication channels lies in the range of 0.9 - 0.99 and its tendency to increase with increased reliability of the constituent elements of the telecommunication network structure with redundancy.

Keywords: telecommunication network, reliability, topological scheme, redundancy, reliability assessment

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями

На сучасному етапі розвитку суспільних відносин та їх важливої складової – економічних взаємозв'язків проблема забезпечення надійності телекомунікаційних мереж (ТКМ) в процесі передачі даних стає все більш ваговою та актуальною. Показник надійності ТКМ чинить безпосередній вплив на показники оцінки ефективності як підприємств зв'язку, так і абонентів та партнерів, які використовують їх послуги. Відмова в наданні послуг через непрацездатність технічних засобів - це упущений прибуток, а в окремих випадках і прямі збитки через пред'явлені користувачем штрафні санкції. За оцінками деяких закордонних фахівців, збитки користувачів від розривів зв'язку становлять від тисяч до десятків тисяч доларів за годину, а в фінансовому секторі вони можуть досягати мільйонів доларів за годину. Невипадково в Рекомендації Е.862 "Планування надійності мереж зв'язку" відзначається, що при плануванні, проектуванні, експлуатації та технічному обслуговуванні мереж зв'язку необхідно враховувати економічні

збитки через ненадійність, які несуть як адміністрації підприємств зв'язку, так і користувачі та абоненти [1-3].

Бездротовий радіозв'язок є одним з напрямків телекомунікаційних мереж (ТКМ), що найбільш динамічно розвиваються та широко використовуються при вирішенні економічних питань. Комплексною властивістю, що характеризує якість функціонування ТКМ на основі бездротового зв'язку є її надійність [1,4].

Один із шляхів підвищення надійності бездротової ТКМ є підвищення фізичної надійності її основних складових елементів. Для цієї мети при розробці та проектуванні ТКМ та її основних базових елементів проводиться значна робота щодо покращення конструктивних, схемотехнічних характеристик усіх вхідних компонентів та базового елемента в цілому. Така робота сприяє тому, що надійність основного базового елемента буде мати високі індивідуальні показники надійності. Але це не включає вихід такого елемента з ладу з певним рівнем імовірності такої події і відповідно, вимагає застосування відповідних методів, які забезпечують достатньо високі показники надійності ТКМ в цілому і одночасно повинні опиратися на показник надійності базових елементів з її складу [2,3].

Більшість відомих схем побудови ТКМ як правило включають низьку каналів передачі інформації, заснованих на роботі основних базових елементів. В якості таких базових елементів можуть бути маршрутизатори, комутатори чи базові станції мобільного зв'язку.

Таким чином формується часткова наукова задача щодо оцінки надійності каналу передачі інформації, як одного з структурних складових ТКМ, робота якого заснована на функціонуванні за призначенням основного базового елемента ТКМ з врахуванням показників його надійності.

Вирішення вказаного завдання вимагає вибору методів забезпечення надійності каналу передачі інформації, аналізу всіх факторів, що можуть на чинити вплив на вказану надійність з врахуванням показників надійності базового елемента ТКМ та розробки відповідної моделі оцінки надійності базового елемента ТКМ.[4,5].

Вирішення завдання щодо оцінки надійності каналу передачі інформації, як одного з структурних складових ТКМ, робота якого заснована на функціонуванні за призначенням основного базового елемента ТКМ з врахуванням показників його надійності є своєчасною науковою задачею, розв'язанню якої присвячена дана стаття.

Для визначеного наукового завдання необхідно:

- визначити та обґрунтувати метод забезпечення надійності каналу передачі інформації ТКМ при умові врахування характеристик надійності базового основного елемента;
- визначити параметри та характеристики надійності каналу передачі інформації, які підпадають під врахування в процесі оцінки надійності каналу передачі інформації;
- розробити модель оцінки надійності каналу передачі інформації з врахуванням параметрів надійності основного базового елемента та провести оцінку її застосовуваності.

Аналіз досліджень та публікацій

Вирішенню завдання щодо оцінки надійності каналів передачі інформації телекомунікаційних мереж присвячено ряд робіт.

В роботі [6] подано результати оцінки структурної надійності телекомунікаційних мереж, побудованих по схемі невизначеної топології, що здійснена на основі імітаційного моделювання. Для проведення оцінки надійності в роботі запропоновано імовірнісна модель оцінки надійності, яка розроблена з врахуванням певної структури побудови телекомунікаційної мережі, а саме моделі невизначеної топології, яка по суті є одним з варіантів складної побудови ТКМ. Параметри надійності основних елементів ТКМ подана в даній роботі модель оцінки надійності не враховує

Роботи [7,8] висвітлюють результати вирішення завдання комплексної оцінки надійності телекомунікаційного обладнання мереж зв'язку. Для чого в них подана відповідна узагальнена модель оцінки. При цьому, розгляд типології побудови телекомунікаційної мережі в вказаних роботах відсутній. Відповідно і не враховані всі чинники, які можуть чинити вплив на загальну надійність визначеного каналу передачі даних ТКМ та його основного базового елемента.

Загальний підхід до моделювання та аналізу надійності окремих каналів зв'язку подано в роботах [9,10]. В вказаних публікаціях окреслені загальні підходи до моделювання процесу забезпечення надійності телекомунікаційної мережі, подано систему критеріїв забезпечення надійності, їх взаємозв'язок та визначено окремі елементи моделі оцінки здатності телекомунікаційної мережі підтримувати якість обслуговування. Схема побудови телекомунікаційної мережі та параметри, що можуть вплинути на оцінку її надійності в даних роботах не розглядалась.

Низьку схем побудови телекомунікаційної мережі та вплив їх структури на розрахунок показників надійності подано в роботі [11]. Подана в роботі операторна модель телекомунікаційної мережі та визначений зв'язок її топології побудови з показниками надійності стосується тільки одного з варіантів побудови такої мережі. А подані в роботі показники надійності каналу зв'язку не об'єднані в одну цілісну

модель оцінки надійності та не враховують показники надійності основного базового елемента каналу зв'язку.

Виклад основного матеріалу

Обґрунтування методу підвищення надійності каналу передачі інформації ТКМ

Усі методи підвищення надійності поділяються на чотири основні групи [1,4,12]:

- 1) зменшення інтенсивності відмов системи;
- 2) резервування;
- 3) скорочення часу безперервної роботи;
- 4) скорочення середнього часу відновлення працездатного стану.

Загалом зазначені методи є ефективними, оскільки вони дозволяють з малонадійних елементів будувати надійні системи.

Методи резервування можуть бути використані на різних стадіях: при проектуванні, під час виробництва, при експлуатації. Резервування це один з найбільш ефективних методів підвищення надійності технічних систем, хоча і економічно витратний [1,12].

Особливо широко резервування застосовується там, де відмова вузла (базового елемента) може спричинити повну непрацездатність системи [4].

Сутність його полягає в підключенні замість основного базового елемента резервного базового елемента з такими ж функціональними властивостями, як і елемент, що вийшов з ладу.

Необхідно відмітити, що метод резервування розглядається як основний відповідно рекомендацій та інструкцій Міжнародного союзу електрозв'язку [2,3].

Розрізняють такі види резервування [1,12]

Структурне (елементне) резервування – метод підвищення надійності об'єкта, який передбачає використання надлишкового числа елементів, що входять до фізичної структури об'єкта. Даний спосіб забезпечується підключенням резервної апаратури до основної так, щоб при відмові основної апаратури резервна продовжувала функціонувати.

Функціональне резервування – його зміст має на меті підвищення надійності об'єкта шляхом використання здатності елементів виконувати додаткові функції замість поряд з основними функціями.

Часове резервування – спосіб підвищення надійності об'єкта, полягає у створенні резерву робочого часу до виконання заданих функцій. При цьому резервний час може бути використаний як для повторення операцій, так і для усунення відмов об'єкта.

Інформаційне резервування – передбачає використання надмірної інформації понад необхідну виконання завдань.

Навантажувальне резервування - спосіб підвищення надійності об'єкта, заснований на використанні можливості елементів його складових приймати додаткові навантаження понад номінальних.

Під час проведення розрахунків по забезпеченню надійності технічних систем зазвичай розглядають структурне резервування [1,7,11].

Аналіз параметрів та характеристик надійності каналу передачі інформації

Вказаний аналіз проведемо на основі комплексного підходу, сутність якого в галузі оцінки та аналізу надійності полягає у проведенні оцінки надійності з врахуванням взаємозв'язку показників надійності та експлуатаційно-технічні характеристики ТКМ.

Нехай відомі або задані найбільш важливі експлуатаційно-технічні характеристики телекомунікаційної мережі (ТКМ). До них віднесемо безвідмовність ($\Pi^{(B)}$), ремонтпридатність ($\Pi^{(B)}$) та надлишковість ($\Pi^{(H)}$) [7,11,13].

Безвідмовність подаємо як функціональну залежність:

$$\Pi^{(B)} = (\lambda_B, \lambda_3, \bar{t}_3, \delta_3)$$

Де: λ_B, λ_3 відповідно інтенсивності стійких відмов та збоїв;

\bar{t}_3, δ_3 середнє значення часту та дисперсії часу існування збою та його наслідків.

Ремонтпридатність визначається функціональною залежністю:

$$\Pi^{(B)} = (\bar{t}_B, \delta_B, l)$$

Де \bar{t}_B, δ_B середнє значення часту та дисперсії часу відновлення пристрою;

l_B – кількість задіяних ресурсів, направлених на відновлення робоздатності пристрою.

Надлишковість визначимо виразом:

$$\Pi^H = (\bar{t}_\Pi, \delta_\Pi, m, \alpha, t_d)$$

Де \bar{t}_Π, δ_Π середнє значення часту та дисперсії часу підключення резервного пристрою;

m – кількість резервних пристроїв;

α – ступінь завантаженості пристроїв структурного резерву (при завантажені пристрою $\alpha = 1$, при відсутності завантаження $\alpha = 0$);

t_d – допустимий час підключення пристрою (величина резерву часу).

До характеристик надійності ТКМ відносяться [11,12]:

- середнє напрацювання часу на відмову $T_0(t_d)$;
- ймовірність безвідмовного функціонування $P(t, t_d)$;
- середній час на відновлення $T_B(t_d)$;
- коефіцієнт готовності $K_G(t_d)$
- коефіцієнт оперативної готовності $P_{OG}(t, t_d)$

Модель оцінки надійності каналу передачі інформації

Розглянемо ТКМ, в якій здійснюється структурне резервування. Прийнемо що вказана ТКМ має в своєму складі n основних робочих та m резервних елементів.

Підвищення надійності базового елемента ТКМ може бути забезпечене шляхом використання алгоритмів резервування та відновлення зв'язку між вузлами та засобами підвищення надійності самого базового елемента.

На Рис.1 показано структурну схему резервування не достатньо надійного комплексу обладнання (базового елемента).

Де T_0, T_P , – час напрацювання на відмову основної та резервної системи відповідно.

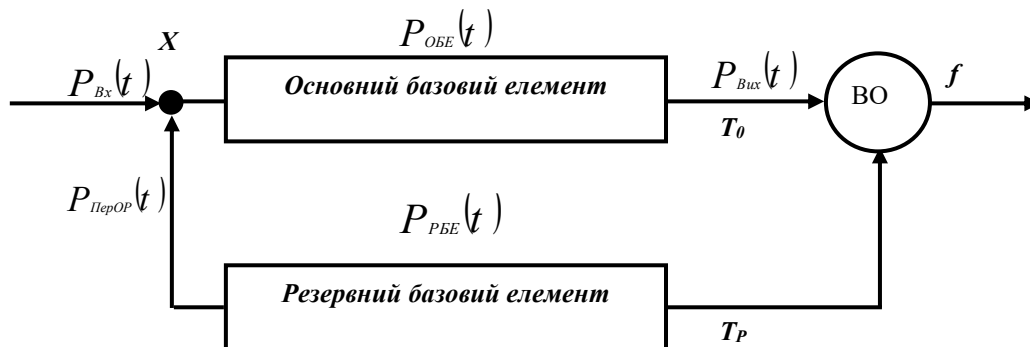


Рис.1. Модель резервування базового елемента телекомунікаційної мережі

На схемі Рис. 1 показано: ВО – відновлювальний орган; T_0, T_P , – час напрацювання на відмову основної та резервної системи відповідно.

Виходячи з структури типового базового елемента ТКМ проведемо визначення структурної надійності його роботи виходячи з схеми резервування, поданої на Рис.1. В якості базового показника оцінки прийнемо структурну ймовірність безвідмовної роботи $P_{CH}(t)$.

При формуванні загальних принципів та на їх основі методичного підходу до оцінки надійності телекомунікаційної мережі необхідно врахувати те, що наявність основних факторів, збоїв, відмов та різних методів резервування, а також можливостей по ремонту, тривалості підключення, структурного резерву, часу існування збоїв та часу усунення їх наслідків вимагає спільного їх врахування на надійність, тобто обґрунтовує проведення комплексної оцінки [6,7,13].

Відповідно структури поданої на рис.1 схеми, до показників її надійності віднесемо наступні:

$P_{Bx}(t)$ – імовірність справного стану базового елемента ТКМ при прийомі вхідного сигналу;

$P_{OBE}(t)$ – імовірність безвідмовної роботи основного базового елемента ТКМ при прийомі

вхідного сигналу;

$P_{Bux}(t)$ – імовірність справного стану базового елемента ТКМ при передачі вхідного сигналу;

$P_{PBE}(t)$ – імовірність безвідмовної роботи резервного базового елемента ТКМ при прийомі

вхідного сигналу

$P_{ПерОР}(t)$ – імовірність перемикання від основного до резервного базового елемента ТКМ за

заданий термін часу.

Структурна надійність основного каналу передачі ТКМ інформації буде визначатись виразом [14]:

$$P_{CH}(t) = P_{Bx}(t)P_{OBE}(t)P_{Bux}(t). \quad (1)$$

Резервна ланка під'єднана в схему паралельно. Її надійність визначимо через імовірність безвідмовної роботи $Q_{PBE}(t)$, яку визначимо як:

$$Q_{PBE}(t) = 1 - P_{PBE}(t).$$

В випадку виходу відмови основного базового елемента перемикання на резервний здійснюється протягом визначеного терміну часі з імовірністю його додержання $P_{ПерОР}(t)$.

Відповідно, імовірність безвідмовного перемикання в встановлений термін часу визначимо як:

$$Q_{ПерОР}(t) = 1 - P_{ПерОР}(t).$$

Загальний вираз структурної надійності основного каналу передачі інформації ТКМ визначимо виразом:

$$P_{CH}(t) = P_{Bx}(t)P_{OBE}(t)P_{Bux}(t) [1 - (1 - P_{PBE}(t))] [1 - (1 - P_{ПерОР}(t))]. \quad (2)$$

Для оціночних розрахунків прийmemo, що всі елементи ТКМ мають однакові імовірності справного стану тобто рівно надійні з імовірністю $P_{OP}(t)$. Тоді (2) подаємо в вигляді:

$$P_{CH}(t) = (P_{CH}(t))^5. \quad (3)$$

Подана на Рис.1 схема має резервування з кратність $m_{рез} = 2$.

$$m_{рез} = \frac{\log(1 - P_{рез}(t))^{1/N}}{(1 - P_{OP}(t))}. \quad (4)$$

Де $P_{роз}(t)$ задана імовірність безвідмовної роботи елемента ТКМ.

Або для $P_{OP}(t)$:

$$P_{OP}(t) = 1 - 10^{-\frac{\log(1 - P_{PEZ}(t))^{1/N}}{m_{POZ}}} \quad (5)$$

При $P_{POZ}(t) = 0.995$, $m_{PEZ} = 2$, та $N = 5$ отримаємо $P_{OP}(t) = 0.9684$

Приймемо до уваги, що канали зв'язку, що забезпечують прийом та передачу сигналів від базового елемента зазвичай резервуються з кратністю $m_{PEZ} = 3$ та при рівних значеннях обох груп імовірностей вираз (5) подаємо у вигляді

$$P_{CH}(t) = [1 - (P_{OP}(t))^2] P_{OP}(t)^2 [1 - (1 - P_{OP}(t))^3]^2 \quad (6)$$

Отриманий вираз (6) описує імовірнісну модель базового елемента ТКМ з резервуванням. Він враховує імовірності безвідмовної роботи основного та резервного елемента, імовірність перемикання від основного до резервного елемента в встановлений термін часу та імовірності справного стану каналів передачі даних до базового елемента [15, 16].

Оцінки структурної надійності при резервуванні базового елемента каналу передачі даних безпроводної телекомунікаційної мережі

Результати математичного моделювання залежності імовірності справного стану базового елемента від імовірності надійності базових елементів та каналів зв'язку в межах діапазону $P_{OP}(t) = 0.9 \dots 0.99$ подано на рис.2

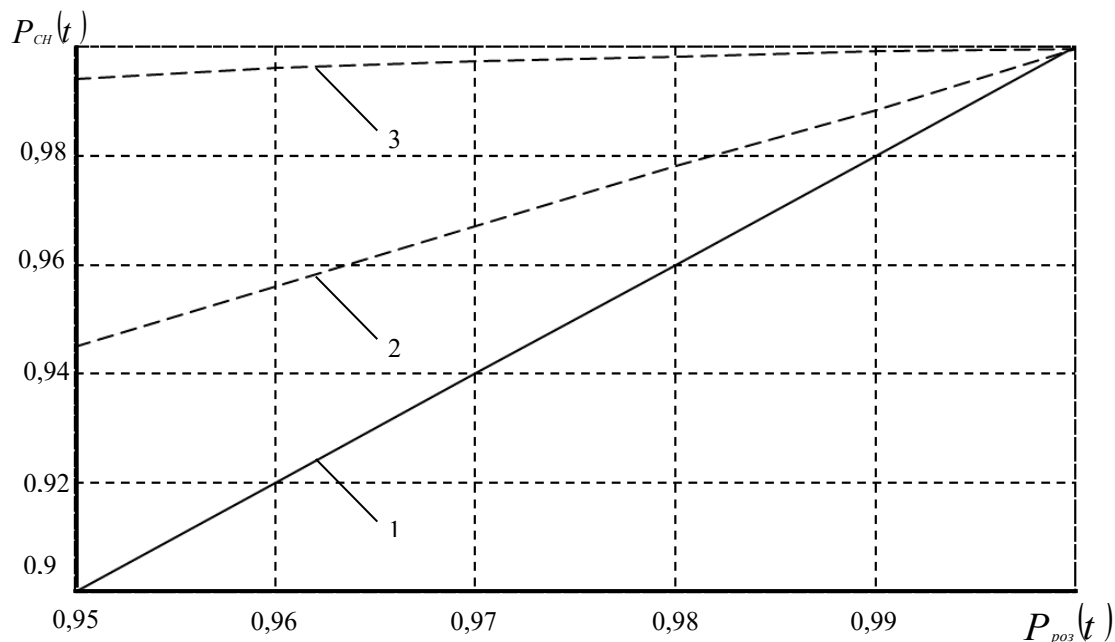


Рис. 2. Залежності імовірності справного стану типового фрагмента ТКМ від надійності вузлів і каналів зв'язку для структури з резервуванням основного базового елемента -1

Для порівняння подані результати оцінки імовірності справного стану для структури з резервуванням основного та регіонального вузла – 2; для структури з резервуванням центрального, регіонального та районного вузла – 3.

Результати оцінки імовірності справного стану, що подані на залежності рис.2 показують, що імовірність справного стану для обраного діапазону надійності базових елементів та каналів зв'язку лежить в

діапазоні 0.9 – 0.99 та має тенденцію до збільшення при підвищенні надійності складових елементів структури ТКМ з резервуванням.

Висновки з даного дослідження і перспективи подальшого розвитку у даному напрямі

1. В статті визначено та обґрунтовано метод резервування структури каналу передачі інформації ТКМ при умові врахування характеристик надійності базового основного елемента каналу.

2. Систематизовано параметри та характеристики, які підпадають під врахування в процесі оцінки надійності резервованого каналу передачі інформації ТКМ.

3. Розроблено та подано модель оцінки надійності каналу передачі інформації з врахуванням параметрів надійності основного базового елемента. Подана модель основана на імовірнісних характеристиках надійності базового елемента ТКМ з резервуванням. Вона враховує імовірності безвідмовної роботи основного та резервного елемента, імовірність перемикання від основного до резервного елемента в встановлений термін часу та імовірності справного стану каналів передачі даних до базового елемента.

4. Результати оцінки надійності по критерію імовірності справного стану показують, що імовірність справного стану для обраного діапазону надійності базових елементів та каналів зв'язку лежить в діапазоні 0.9 – 0.99 та має тенденцію до збільшення при підвищенні надійності складових елементів структури ТКМ з резервуванням.

Література

1. Довгий С.О., Воробієнко П.П., Гуляєв К.Д. Сучасні телекомунікації: Мережі, технології, безпека, економіка, регулювання. Видання 2-ге, доп. Київ: «Азимут-Україна», 2013. 608 с.
2. Рекомендации МСЭ-Т. Серия X: Сети передачи данных, взаимосвязь открытых систем и безопасность, 04/2008.
3. Disaster management for improving network resilience and recovery with movable and deployable information and communication technology (ICT) resource units. ITU-T Recommendation L.392. 2016.
4. Надійність техніки. Терміни та визначення: ДСТУ 2860-94 – [Чинний від 1996-01-01].
5. Беркман Л. Н., Федюнін С.А., Серих С. О. Операторна модель телекомунікаційної мережі, що комутується та її вплив на розрахунок показників надійності. *Системи управління, навігації та зв'язку*, 2015. №4. С. 55-59.
6. Князева, Н., & Ненов, О. Оцінка структурної надійності телекомунікаційних мереж невизначеної топології на основі імітаційного моделювання. *Вісник Університету «Україна» Серія Інформатика, обчислювальна техніка та кібернетика*. 2021. 2(23). Режим доступу: <https://visn-it.uu.edu.ua/index.php/visn-icct/article/view/54>.
7. Mogylyevych D., Kononova I., Klymovych O., Mohylevych V. Методика комплексної оцінки надійності телекомунікаційного обладнання мереж зв'язку. *Військово-технічний збірник* 2020. №23. С. 50–57. <https://doi.org/10.33577/2312-4458.23.2020.50-57>
8. Борисова Л. В., Загора О. В., Фещенко А. Б. Розробка імовірнісної моделі елементарного фрагмента відомчої інформаційно-телекомунікаційної мережі. *Problems of Emergency Situations*. 2020. № 1(31). P. 34–43. doi: 10.5281/zenodo.3901945
9. Ahmad W., Hasan O., Pervez U. and Qadir J. Reliability modeling and analysis of communication networks. *Journal of Network and Computer Applications*. 2017. Vol. 78, pp. 191-215. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jnca.2016.11.008>
10. Dieves V. Dependability in Future Battle Network System — Transport Layer Ability to Maintain Quality of Service. *Wireless Sensor Network*. 2016. Vol. 08, Iss. 10, pp. 211–228. DOI: <https://doi.org/10.4236/wsn.2016.810017>.
11. Отрох С.І., Ярош В.О., Федюнін С.А., Власенко В.О. Методи розрахунку надійності телекомунікаційних мереж майбутнього. *Наукові записки УНДІЗ*. 2016. №4(44). С.13-20.
12. Воробієнко П.П., Нікітюк Л.А., Резніченко П.І. Телекомунікаційні та інформаційні мережі: Підручник [для вищих навчальних закладів]. Київ: САММІТ-Книга, 2010. 708 с.
13. Німченко Т, Чирва Д., Залевський Б. Визначення факторів надійності інфокомунікаційної мережі, як об'єктів впливу кібератаки. *Кібербезпека та програмна інженерія: тези доп. Міжнародної науково-технічної конференції "АВІА-2023"*, Україна, Київ, 18-20 квітня 2023 р./ М-во освіти і науки України, Київ, НАУ, ФКП, 2023. С.(13) 45-48.
14. Борисова Л. В., Загора О. В., Фещенко А. Б. Розробка імовірнісної моделі елементарного фрагмента відомчої інформаційно-телекомунікаційної мережі. *Problems of Emergency Situations*. 2020. № 1(31). P. 34–43. Doi:10.5281/zenodo.3901945.
15. I. Kovtun, J. Boiko and S. Petrashchuk, "Nondestructive strength diagnostics of solder joints on printed circuit boards," *2017 International Conference on Information and Telecommunication Technologies and Radio Electronics (UkrMiCo)*, Odessa, Ukraine, 2017, pp. 1-4, <https://doi.org/10.1109/UkrMiCo.2017.8095401>.

16. Вплив конструктивно-технологічних факторів на забезпечення стабільності параметрів радіоелектронних пристроїв [Текст] / І. І. Ковтун, Ю. М. Бойко, Л. В. Карпова, В. Ю. Петришин // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2021. – № 5. – С. 160-165.

References

1. Dovgiy S.O., Vorobienko P.P., Gulyaev K.D. Modern telecommunications: Networks, technologies, security, economy, regulation. 2nd edition, add. Kyiv: "Azimuth-Ukraine", 2013. 608 p.
2. ITU-T Recommendations. Series X: Data transmission networks, open system interconnection and security, 04/2008.
3. Disaster management for improving network resilience and recovery with movable and deployable information and communication technology (ICT) resource units. ITU-T Recommendation L.392. 2016.
4. Reliability of equipment. Terms and definitions: DSTU 2860-94 - [Effective from 1996-01-01].
5. Berkman L.N., Fedyunin S.A., Serykh S.O. The operator model of a switched telecommunication network and its influence on the calculation of reliability indicators. Management, navigation and communication systems, 2015. No. 4. P. 55-59.
6. Knyazeva, N., & Nenov, O. Evaluation of the structural reliability of telecommunication networks of uncertain topology based on simulation modeling. Bulletin of the University "Ukraine" Series Informatics, computer technology and cybernetics. 2021. 2(23). Access mode: <https://visn-it.uu.edu.ua/index.php/visn-icct/article/view/54>
7. Mogylevych D., Kononova I., Klymovych O., Mohylevych V. The method of comprehensive assessment of the reliability of telecommunication equipment of communication networks. Military and technical collection 2020. No. 23. P. 50–57. <https://doi.org/10.33577/2312-4458.23.2020.50-57>
8. Borysova L. V., Zakora O. V., Feshchenko A. B. Development of a probabilistic model of an elementary fragment of a departmental information and telecommunication network. Problems of Emergency Situations. 2020. No. 1(31). P. 34–43. doi: 10.5281/zenodo.3901945
9. Ahmad W., Hasan O., Pervez U. and Qadir J. Reliability modeling and analysis of communication networks. Journal of Network and Computer Applications. 2017. Vol. 78, pp. 191-215. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jnca.2016.11.008>
10. Dieves V. Dependability in Future Battle Network System — Transport Layer Ability to Maintain Quality of Service. Wireless Sensor Network. 2016. Vol. 08, Iss. 10, pp. 211–228. DOI: <https://doi.org/10.4236/wsn.2016.810017>.
11. Otrakh S.I., Yarosh V.O., Fedyunin S.A., Vlasenko V.O. Methods of calculating the reliability of telecommunication networks of the future. Scientific notes of UNDIZ. 2016. No. 4(44). P.13-20.
12. Vorobienko P.P., Nikityuk L.A., Reznichenko P.I. Telecommunications and information networks: Textbook [for higher educational institutions]. Kyiv: SUMMIT-Book, 2010. 708 p.
13. Nimchenko T., Chirva D., Zalevsky B. Determining reliability factors of information and communication networks as objects of cyber attack. Cyber security and software engineering: theses add. International scientific and technical conference "AVIA-2023", Ukraine, Kyiv, April 18-20, 2023/ Ministry of Education and Science of Ukraine, Kyiv, NAU, FCPI, 2023. P.(13) 45-48.
14. Borysova L. V., Zakora O. V., Feshchenko A. B. Development of a probabilistic model of an elementary fragment of a departmental information and telecommunication network. Problems of Emergency Situations. 2020. No. 1(31). P. 34–43. Doi:10.5281/zenodo.3901945.
15. I. Kovtun, J. Boiko and S. Petrashchuk, "Nondestructive strength diagnostics of solder joints on printed circuit boards," 2017 International Conference on Information and Telecommunication Technologies and Radio Electronics (UkrMiCo), Odessa, Ukraine, 2017, pp. 1-4, <https://doi.org/10.1109/UkrMiCo.2017.8095401>.
16. Kovtun I.I. Influence of design and technology factors on ensuring stability parameters for radio-electronic devices / I.I. Kovtun, J.M. Boiko, L.V. Karpova, V.Y. Petryshyn // Herald of Khmelnytskyi national university. – 2021. – № 5. – P. 160-165.