

DOI: 10.18372/2310-5461.70.21198
УДК 621.391.8

Б. М. Залевський, аспірант
Державний університет «Київський авіаційний інститут», Київ
orcid.org/0009-0008-8580-7722
e-mail: zalevskiybohdan@gmail.com

МЕТОДИКА ОЦІНЮВАННЯ ДОСТОВІРНІСТЬ КОНТРОЛЮ СТАНУ НАДІЙНОСТІ ОСНОВНОГО БАЗОВОГО ЕЛЕМЕНТА ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНОЇ МЕРЕЖІ

Вступ

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 [1, 2].

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 (ОБЕ) проводиться значна робота щодо покращення конструктивних, схематичних 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 ОБЕ з її складу [2, 3].

Більшість відомих схем побудови ТКМ, як правило, включають низьку каналів передачі інформації, заснованих на роботі основних базових елементів (ОБЕ). В якості таких ОБЕ 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 ОБЕ ТКМ з врахуванням показників його надійності [2,4].

Повний облік усіх факторів, що впливають на рівень надійності ОБЕ, різко ускладнює моделі контролю та потребує розроблення нових підходів і методів їх аналізу. Такі методи мають, з одного боку, відображати в досліджуваних моделях ОБЕ основні фактори, які істотно впливають на їх технічні показники, а з іншого – давати змогу створювати алгоритми обчислення цих

показників на ЕОМ за припустимий час із прийнятною для практичних розрахунків достовірністю.

Підтримання стану надійності ОБЕ включає послідовність виконання різних операцій контролю, профілактичних і відновлювальних робіт з урахуванням наявних сил і засобів, паркового складу техніки, а також комплекс інших заходів.

Під час вибору системи контролю необхідно мінімізувати середні витрати (наприклад, виділені асигнування, оперативний час тощо) на проведення контролю та забезпечити при цьому достовірність контролю не нижчу за задану.

Контроль надійного стану ОБЕ за поточною інформацією, що отримується під час вимірювання їх параметрів за допомогою штатної контрольної-повірочної апаратури та засобів автоматизованого контролю з метою забезпечення високої готовності й надійності комплексів у процесі експлуатації, передбачає розв'язання багатьох наукових задач.

До них належать: розроблення математичного забезпечення багаторівневого контролю надійного стану (створення алгоритмів оброблення вихідних статистичних даних, визначення оптимальних обсягів і строків проведення контролю на різних етапах експлуатації, розроблення алгоритмів обґрунтування рівнів надійності ОБЕ тощо); створення технічних засобів, що реалізують сучасне математичне забезпечення багаторівневого контролю надійного стану ОБЕ, та інші [1, 2].

Основними особливостями системи багаторівневого контролю за надійним станом є [2,4]: параметрична надлишковість у системах ОБЕ; контроль необхідної кількості параметрів із близькими значеннями їх показників ОБЕ; бажаний ступінь автоматизації повного контролю за станом.

При цьому слід зазначити, що кожний зразок ОБЕ має свою об'єктивну характеристику, відображену в технічній документації, формулярах тощо. Інформація, накопичена в технічній документації, є дуже цінною і повинна бути використана для класифікації стану надійності.

Розв'язання задачі класифікації ОБЕ за рівнями надійності зумовлене необхідністю виокремлення найкращих із них за якістю функціонування. Це пов'язано з тим, що регулюванням неможливо змінити внутрішню структуру деталей ОБЕ, параметри яких змінилися під впливом багатьох факторів старіння.

Однією з найважливіших характеристик методів багаторівневого контролю основних базових елементів інформаційно-комунікаційної мережі є достовірність контролю стану надійності вказаного елемента [2, 4].

Розробка методів забезпечення достовірності контролю стану надійності в багаторівневій системі моніторингу базових елементів ТКМ є актуальною, оскільки без такої достовірності неможливо гарантовано виявляти приховані деградації, своєчасно локалізувати першопричини, відрізняти інциденти експлуатації від кіберзагроз і приймати обґрунтовані рішення щодо резервування, відновлення та модернізації мережі.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Вирішенню завдання щодо оцінки достовірності контролю стану надійності базових елементів ТКМ присвячено ряд робіт [6–11].

У науковій статті [6] представлено результати оцінки структурної надійності телекомунікаційних мереж, побудованих на основі імітаційного моделювання та невизначеної топології. Для оцінки надійності в цій праці пропонується ймовірна модель оцінки надійності, яка враховує специфічну структуру телекомунікаційної мережі, а саме модель невизначеної топології, яка по суті є однією зі схем побудови складних телекомунікаційних мереж (ТТМ). Ця модель оцінки надійності не враховує параметри надійності основних компонентів ТКМ та безпосередній параметр оцінки достовірності контролю стану надійності.

Результати досліджень, що подані в наукових статтях [7,8] зосереджені на результатах вирішення проблеми комплексної оцінки надійності телекомунікаційного обладнання в мережах зв'язку та пропонує відповідні загальні моделі оцінки. Однак ці роботи не враховують тип побудови телекомунікаційних мереж. Тому не враховуються всі фактори, які можуть впливати на загальну достовірність контролю стану надійності каналу передачі даних ТКМ та його основних базових компонентів.

У статтях [9,10] запропоновано загальний метод моделювання та аналізу надійності окремого каналу зв'язку. У вищенаведених роботах окреслено загальний метод моделювання процесу забезпечення надійності телекомунікаційних мереж, запропоновано систему критеріїв надійності та їх взаємозв'язки, а також визначено різні елементи

моделі, що використовуються для оцінки здатності телекомунікаційних мереж підтримувати якість обслуговування. Однак, у цих роботах не розглядається схема побудови телекомунікаційних мереж та параметри, які можуть впливати на оцінку достовірності контролю стану надійності.

У роботі [11] перелічено основні впливи схем побудови телекомунікаційних мереж та їх структур на розрахунок показників надійності. Модель оператора телекомунікаційної мережі та зв'язок між її топологією побудови та показниками надійності, запропоновані в цьому посиланні, застосовні лише до однієї зі схем побудови мережі. Крім того, показники надійності каналів зв'язку, запропоновані в цьому посиланні, не об'єднані в єдине ціле та відсутня окрема модель оцінки достовірності контролю стану надійності.

Таким чином, розробка окремої методики оцінювання достовірності контролю стану надійності основного базового елемента інформаційно-комунікаційної мережі є актуальною науковою задачею, вирішенню якої присвячена дана стаття

Постановка задач дослідження

З метою розробки окремої методики оцінювання достовірності контролю стану надійності основного базового елемента інформаційно-комунікаційної мережі необхідно вирішити наступні часткові завдання:

- визначити актуальність та своєчасність розробки вказаної методики та класифікувати і сформулювати чинник, що обґрунтовують її розробку;
- розробити методичний підхід та на його основі моделі та узагальнений метод оцінювання достовірності контролю стану надійності основного базового елемента ТКМ.
- провести оцінку застосованості поданого методу оцінювання достовірності контролю стану надійності основного базового елемента ТКМ.

Актуальність розробки методів достовірного контролю стану надійності в системі багаторівневого контролю основних базових елементів ТКМ

Актуальність розробки методів достовірного контролю стану надійності в системі багаторівневого контролю основних базових елементів ТКМ зумовлена сукупністю технічних, організаційних і безпекових чинників, а саме.

Зростання складності та гетерогенності ТКМ. Сучасні мережі поєднують фізичну інфраструктуру, віртуалізацію, хмарні/туманні компоненти, SDN/NFV, мікросервісні платформи керування. Це збільшує кількість точок відмов і ускладнює інтерпретацію телеметрії, тому «простий»

моніто-ринг доступності вже не гарантує коректної оцінки надійності.

Критичність сервісів і вимоги до безперервності. ТКМ забезпечують роботу критичних бізнес-процесів, державних та інфраструктурних сервісів (зв'язок, фінанси, е-послуги, промислові системи). Навіть короткочасні деградації (latency/jitter/packet loss) можуть спричинити значні втрати, отже потрібні методи контролю, що виявляють деградацію до аварії і дають підтверджену оцінку достовірності.

Недостатність традиційних метрик “up/down”. Базові елементи (маршрутизатори, комутатори, канали, сервери, контролери керування) можуть залишатися «доступними», але працювати в режимі прихованої деградації (перевантаження буферів, помилки інтерфейсів, нестабільність протоколів маршрутизації, часткові відмови). Без багаторівневого контролю з перевіркою достовірності такі стани часто не фіксуються або фіксуються запізно.

Проблема хибних спрацювань і «сліпих зон» моніторингу. У практиці експлуатації поширені:

- хибнопозитивні тривоги (noise, тимчасові флуктуації),

- хибнонегативні пропуски (відмова не проявляється в обраних датчиках/логах),

- розбіжності між джерелами спостережень (SNMP/telemetry/logs/NetFlow/пасивні вимірювання).

Тому актуальною є саме методика оцінювання та підвищення достовірності результатів контролю (ймовірність правильного виявлення, довірчі інтервали, узгодження джерел).

Її розробка обґрунтовується наступними чинниками [5].

Каскадність відмов у багаторівневих структурах. У багаторівневій архітектурі (рівень доступу/агрегації/ядра, рівень керування, прикладний рівень) локальна деградація може швидко перетворюватися на каскадний інцидент. Методи, що враховують міжрівневі залежності (топологічні, функціональні, сервісні), дають змогу точніше локалізувати першопричину і прогнозувати розвиток відмов.

Зв'язок надійності з кібербезпекою. Частина деградацій має кіберприроду: DDoS, маршрутизаційні атаки, компрометація вузлів керування, «тихі» збої через шкідливі конфігурації. Відтак контроль надійності має включати механізми, які відрізняють технічні збої від атак та забезпечують довіреність вимірювань (tamper-resistance, кореляція з подіями безпеки).

Потреба в прогнозуванні та ризик-орієнтованому управлінні. Операторам потрібні не лише факти відмов, а й оцінка тенденцій (MTBF/MTTR,

інтенсивність відмов, “health score”, прогноз ресурсу), щоб планувати резервування, оновлення та обслуговування. Без методів достовірної оцінки стану прогнозні моделі будуть нестійкими та даватимуть хибні управлінські рішення.

Економічна доцільність і оптимізація ресурсів. Надлишковий контроль і зайві перевірки створюють навантаження на мережу та персонал, а недостача контролю – збільшує простой. Розробка методів достовірності дозволяє оптимально вибрати частоту/глибину перевірок, балансує витрати на моніторинг та ризики відмов.

Моделі та узагальнений метод оцінювання достовірності контролю стану надійності основного базового елемента ТКМ

Як було зазначено раніше, однією з найважливіших характеристик методів багаторівневого контролю основних базових елементів інформаційно-комунікаційної мережі є достовірність контролю стану надійності вказаного елемента [12, 13].

Позначимо достовірність контролю стану надійності основних базових елементів інформаційно-комунікаційної мережі $P_{\text{пр.к}}$.

Припустимо, що задано алфавіт, який складається з двох рівнів працездатного стану A_1 і A_2 . Для контролю подано ОБЕ з апіорною ймовірністю P_1 , що належить до рівня A_1 , і з апіорною ймовірністю P_2 — до рівня A_2 .

Отже, до проведення багаторівневого контролю можливі такі гіпотези:

H_1 – подано для контролю ОБЕ рівня A_1 ;

H_2 – подано для контролю ОБЕ рівня A_2 .

Ймовірності цих гіпотез до досліду відповідно дорівнюють апіорним ймовірностям:

$$P(H_1) = P_1, P(H_2) = P_2.$$

Після проведення експерименту, згідно з усіченою послідовною процедурою, відбулася подія, $B_1^{(2)}$ яка полягає в наступному:

$$B_1^{(2)} \equiv \begin{cases} q_1^{v_1}(\bar{x}) > P_1 \\ q_2^{v_2}(\bar{x}) < P_2 \end{cases}, \quad (1)$$

де $v_1 = v_2$ за однакових α .

Умовні ймовірності настання події $B_1^{(2)}$ за гіпотез H_1 і H_2 дорівнюють:

$$P(B_1^{(2)} / H_1) = 1 - \alpha,$$

$$P(B_1^{(2)} / H_2) = \alpha.$$

Тоді нижня межа умовної ймовірності правильної класифікації під час контролю ОБЕ рівня A_1 дорівнюватиме:

$$P_{np.1} = \frac{P(H_1) \cdot P(B_1^{(2)} | H_1)}{P(H_1) \cdot P(B_1^{(2)} | H_1) + P(H_2) \cdot P(B_1^{(2)} | H_2)} = \frac{P_1(1-\alpha)}{P_1(1-\alpha) + P_2\alpha}. \quad (2)$$

Нижня межа умовної ймовірності правильної класифікації під час контролю ОБЕ рівня A_2 , якщо відбулася подія

$$B_2^{(2)} \equiv \begin{cases} q_1^{v_1}(\bar{x}) < P_1, \\ q_2^{v_2}(\bar{x}) > P_2, \end{cases} \quad (3)$$

відповідно дорівнює [14–16]:

$$P_{np.2} = \frac{P(H_2) \cdot P(B_2^{(2)} | H_2)}{P(H_2) \cdot P(B_2^{(2)} | H_2) + P(H_1) \cdot P(B_2^{(2)} | H_1)} = \frac{P_2(1-\alpha)}{P_2(1-\alpha) + P_1\alpha}. \quad (4)$$

Якщо у виразах (2) і (4) покласти $P_1=P_2$, то

$$P_{np1} = 1 - \alpha, P_{np2} = 1 - \alpha. \quad (5)$$

В іншому випадку, якщо $\alpha = 0,5$, що відповідає тому, що після v вимірювань потрапляє в встановлені межі з імовірністю 0,5, то

$$P_{np1} = P_1, P_{np2} = P_2. \quad (6)$$

Нехай задано алфавіт, що складається з N рівнів працездатності A_1, \dots, A_N , з відповідними апіорними ймовірностями P_1, \dots, P_N .

Причому $v_k = v$, $\forall k = \overline{1, N}$ і після v вимірювань відбулася подія $B_k^{(N)}$

$$B_k^{(N)} \equiv \begin{cases} q_k^v(\bar{x}) > P_k; \\ \vdots \\ q_j^v(\bar{x}) < P_j, \quad \forall j \neq k = \overline{1, N} \end{cases}. \quad (7)$$

У цьому разі результати (2) або (4) можна поширити й на випадок N рівнів, $N > 2$. Нижня межа умовної ймовірності правильної класифікації під час контролю ОБЕ рівня дорівнює:

$$P_{np.k} = \frac{P_k(1-\alpha)}{P_k(1-\alpha) + \sum_{j \neq k=1}^N P_j\alpha}. \quad (8)$$

За умови можна побудувати графік залежності нижньої межі умовної ймовірності правильної класифікації під час контролю ОБЕ рівня від кількості рівнів в алфавіті (рис. 1).

З аналізу рис. 1 видно, що нижня межа ймовірності правильної класифікації під час контролю ОБЕ – $P_{np.k}$ – є монотонно спадною функцією від кількості N рівнів в алфавіті.

Визначимо нижню межу умовної ймовірності правильної класифікації під час контролю ОБЕ рівня у більш цікавій ситуації, коли алфавіт складається з трьох рівнів A_1, A_2, A_3 з відповідними апіорними ймовірностями P_1, P_2, P_3 , причому .

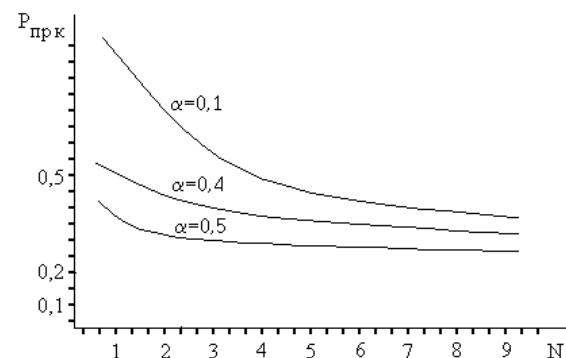


Рис. 1 Залежність нижньої межі умовної ймовірності правильної класифікації під час контролю ОБЕ від кількості рівнів в алфавіті

Після проведення експерименту відбулася подія:

$$B_1^{(3)} \equiv \begin{cases} q_1^v(\bar{x}) > P_1 \\ q_2^v(\bar{x}) > P_2; \\ q_3^v(\bar{x}) < P_3 \end{cases} \quad (9)$$

тоді умовні ймовірності події за гіпотез дорівнюють:

$$\begin{aligned} P(B_1^{(3)} | H_1) &= 1 - \alpha \\ P(B_1^{(3)} | H_2) &= 1 - \alpha; \\ P(B_1^{(3)} | H_3) &= \alpha \end{aligned} \quad (10)$$

Отже, нижня межа умовної ймовірності правильної класифікації під час контролю ОБЕ рівня A_1 дорівнює:

$$P_{np.1} = \frac{P_1(1-\alpha)}{(P_1 + P_2)(1-\alpha) + P_3\alpha}, \quad (11)$$

а рівня A_2 – відповідно:

$$P_{np.2} = \frac{P_2(1-\alpha)}{(P_2 + P_1)(1-\alpha) + P_3\alpha}. \quad (12)$$

Очевидно, якщо $P_1 > P_2$, то $q_1^v(\bar{x}) > q_2^v(\bar{x})$ і $P_{np.1} > P_{np.2}$, що відповідає критерію прийняття рішення за методом максимуму апостеріорної ймовірності.

У загальному випадку, коли кількість рівнів $N > 3$, нижня межа умовної ймовірності правильної класифікації під час контролю ОБЕ рівня $A_k, k = \overline{1, N}$ дорівнює:

$$P_{\text{пр.к}} = \frac{P_k(1-\alpha)}{(1-\alpha)\sum_{i=1}^r P_i + \alpha\sum_{j=1}^n P_j}, \quad (13)$$

де $\sum_{i=1}^r P_i$ – апіорні ймовірності рівнів A_i , для яких:

$$q_i^v(\bar{x}) \geq P_i, \quad i = \overline{1, r};$$

$\sum_{j=1}^n P_j$ – апіорні ймовірності рівнів A_j , для яких

$$q_j^v(\bar{x}) < P_j, \quad j = \overline{1, n}.$$

Якщо $P_k = \frac{1}{N}, \forall k = \overline{1, N}$, вираз (13) перетворюється до вигляду:

$$P_{\text{пр.к}} = \frac{1-\alpha}{r(1-\alpha) + n \cdot \alpha}, \quad r + n = N. \quad (14)$$

Для $N = 4$ побудовано графік залежності умовної ймовірності правильної класифікації під час контролю ОБЕ від α (рис. 2).

На перший погляд, вирази (13) або (14) і побудований за ними графік (Рис. 2) не дають змоги досягти безпомилкового прийняття рішення навіть за $\alpha = 0$ (для $N > 2$).

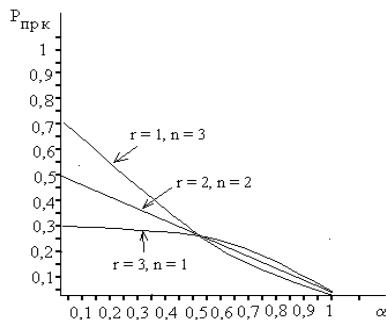


Рис. 2. Залежність умовної ймовірності вірної класифікації про ОБЕ від величини помилки α

Це лише свідчить про те, що ймовірність події C , рівної

$$C \equiv \begin{cases} q_k^v(\bar{x}) > P_k \\ \vdots \\ q_r^v(\bar{x}) > P_r \\ \vdots \\ q_j^v(\bar{x}) < P_j \\ \vdots \\ q_n^v(\bar{x}) < P_n \end{cases}, \quad (15)$$

де $\{A_k, k = \overline{1, r}\} \cup \{A_j, j = \overline{1, n}\} = \{A\}$, є досить малою.

Цю ймовірність можна оцінити за допомогою виразу [12, 17]:

$$P(C) \approx (1-\alpha) \cdot \alpha^{N-n}, \quad (16)$$

де n – кількість рівнів, для яких $q_j^v(\bar{x}) < P_j, j = \overline{1, n}$.

Зокрема, для $N = 4$ і $n = 1$ ймовірність події C дорівнює

$$\begin{aligned} P(C) &\approx 0,0009, \quad \text{при } \alpha = 0,1 \\ P(C) &\approx 0,038, \quad \text{при } \alpha = 0,4 \end{aligned} \quad (17)$$

Розглянемо останній, найбільш реалізований на практиці випадок, коли існують такі моменти вимірювань v_k , що

У цьому випадку, за змістом усіченої процедури, розглядаємо такі гіпотези:

H_k – подано для контролю ОБЕ рівня;

H_j – подано для контролю ОБЕ рівня A_j .

Апіорні ймовірності гіпотез H_k і H_j дорівнюють $P(H_k) = P_k, P(H_j) = P_j$.

Умовні ймовірності події A_1

$$A_1 \equiv \begin{cases} q_k^v(\bar{x}) > P_k; \\ q_j^v(\bar{x}) < P_j \end{cases}$$

дорівнюють:

$$\begin{aligned} P(A_1 | H_k) &= 1 - \alpha \\ P(A_1 | H_j) &= \alpha. \end{aligned} \quad (18)$$

Слід урахувати, що $P(A_1 | H_i) = 0, \forall i \neq k, i \neq j$ за змістом процедури.

Тоді нижня межа ймовірності правильної класифікації під час контролю ОБЕ рівня визначається з урахуванням виразу (2) вигляді:

$$P_{\text{пр.к}} = \frac{P_k(1-\alpha)}{P_k(1-\alpha) + P_j\alpha}. \quad (19)$$

Якщо відбулася подія A_2

$$A_2 \equiv \begin{cases} q_k^v(\bar{x}) > P_k; \\ q_j^v(\bar{x}) > P_j \end{cases}$$

то умовні ймовірності цієї події за заданих гіпотез H_k і H_j дорівнюють:

$$\begin{aligned} P(A_2 | H_k) &= 1 - \alpha \\ P(A_2 | H_j) &= 1 - \alpha \end{aligned}, \quad (20)$$

а нижня межа умовної ймовірності правильної класифікації під час контролю ОБЕ описується виразом:

$$P_{\text{пр.к}} = \frac{P_k(1-\alpha)}{(P_k + P_j)(1-\alpha)} = \frac{P_k}{P_k + P_j}, \quad (21)$$

$$P_{\text{пр},k} = \frac{P_j(1-\alpha)}{(P_k + P_j)(1-\alpha)} = \frac{P_j}{P_k + P_j}. \quad (22)$$

Рішення приймається для ОБЕ того рівня, для якого $P_{\text{пр},k} > P_{\text{пр},j}$, що відповідає $q_k^V(\bar{x}) > q_j^V(\bar{x})$, тобто критерію максимуму апостеріорної ймовірності.

Зрештою можемо стверджувати, що, змінюючи величину α , можна змінювати нижню межу ймовірності правильної класифікації під час контролю ОБЕ до потрібного значення; відповідно при цьому змінюватиметься кількість виконуваних вимірювань νk .

Подана математична модель та створена на її основі методики оцінювання, одержані на її основі результати, що подані на рис. 1, 2 в цілому дозволяють оцінити достовірність контролю стану надійності основного базового елемента телекомунікаційної мережі по критерію нижньої межа умовної ймовірності правильної класифікації під час контролю ОБЕ заданого рівня з врахуванням появи помилок оцінювання.

Висновки

1. В статті розроблена методика оцінювання достовірності контролю стану надійності основного базового елемента телекомунікаційної мережі.

Подана методика дозволяє забезпечити достовірності контролю стану надійності в багатоврівневій системі моніторингу базових елементів ТКМ по критерію нижньої межа умовної ймовірності правильної класифікації під час контролю ОБЕ заданого рівня

2. Показано, що нижня межа умовної ймовірності правильної класифікації під час контролю ОБЕ залежить від кількості рівнів в алфавіті та визначається по критерію прийняття рішення за методом максимуму апостеріорної ймовірності.

3. Встановлено, що залежність умовної ймовірності правильної класифікації під час контролю ОБЕ залежить від величини похибки, зростання якої приводить збільшення значень умовної ймовірності правильної класифікації достовірності контролю стану надійності основного базового елемента телекомунікаційної мережі.

ЛІТЕРАТУРА

- [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] Залевський Б. (2023). Модель комплексної оцінки структурної надійності при резервуванні базового елемента каналу передачі даних безпроводової телекомунікаційної мережі. *Measuring and computing devices in technological processes*, (2), 159–166. <https://doi.org/10.31891/2219-9365-2023-74-20>
- [5] NIST SP 800-137 – “Information Security Continuous Monitoring (ISCM) for Federal Information Systems and Organizations” (2011).
- [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-ii.uu.edu.ua/index.php/visn-icct/article/view/54>
- [7] Mogylevych 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). Р. 34–43. <https://doi.org/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. <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. <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] Wald, A. Sequential Analysis. New York: John Wiley & Sons, 1947.
- [13] Van Trees, H. L., & Bell, K. L. Detection, Estimation, and Modulation Theory, Part I: Detection, Estimation, and Linear Modulation Theory. 2nd ed. Hoboken, NJ: Wiley, 2001.

- [14] Kay, S. M. Fundamentals of Statistical Signal Processing, Volume 2: Detection Theory. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 1998.
- [15] Poor, H. V. An Introduction to Signal Detection and Estimation. 2nd ed. New York: Springer, 1994.
- [16] DeGroot, M. H. Optimal Statistical Decisions. New York: McGraw-Hill, 1970.
- [17] Feller, W. An Introduction to Probability Theory and Its Applications. Vol. 1. 3rd ed. New York: John Wiley & Sons, 1968.

Залевський Б. М.

МЕТОДИКА ОЦІНЮВАННЯ ДОСТОВІРНІСТЬ КОНТРОЛЮ СТАНУ НАДІЙНОСТІ ОСНОВНОГО БАЗОВОГО ЕЛЕМЕНТА ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНОЇ МЕРЕЖІ

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 вагомю та актуальною. Повний облік усіх факторів, що впливають на рівень надійності ОБЕ, різко ускладнює моделі контролю та потребує розроблення нових підходів і методів їх аналізу.

В статті розроблена методика оцінювання достовірності контролю стану надійності основного базового елемента телекомунікаційної мережі. Подана методика дозволяє забезпечити достовірності контролю стану надійності в багаторівневій системі моніторингу базових елементів ТКМ по критерію нижньої межа умовної ймовірності правильної класифікації під час контролю ОБЕ заданого рівня

Показано, що нижня межа умовної ймовірності правильної класифікації під час контролю ОБЕ залежить від кількості рівнів в алфавіті та визначається по критерію прийняття рішення за методом максимуму апостеріорної ймовірності.

Встановлено, що залежність умовної ймовірності правильної класифікації під час контролю ОБЕ залежить від величини похибки, зростання якої приводить збільшення значень умовної ймовірності правильної класифікації достовірності контролю стану надійності основного базового елемента телекомунікаційної мережі.

Ключові слова: телекомунікаційна мережа, надійність, достовірність контролю стану надійності.

Zalevskiy B.

METHODOLOGY FOR ASSESSING THE RELIABILITY OF MONITORING THE RELIABILITY STATE OF A BASIC ELEMENT OF A TELECOMMUNICATIONS NETWORK

At the present stage of development of social relations and their important component—economic interconnections—the problem of ensuring the reliability of telecommunications networks (TCNs) in the process of data transmission is becoming increasingly significant and relevant. Comprehensive consideration of all factors affecting the reliability level of a basic element sharply complicates monitoring models and requires the development of new approaches and methods for their analysis.

This paper develops a methodology for assessing the reliability (trustworthiness) of monitoring the reliability state of a basic element of a telecommunications network. The proposed methodology makes it possible to ensure the reliability of monitoring the reliability state in a multi-level monitoring system of TCN basic elements according to the criterion of the lower bound of the conditional probability of correct classification when monitoring a basic element at a specified level.

It is shown that the lower bound of the conditional probability of correct classification when monitoring a basic element depends on the number of levels in the alphabet and is determined according to the decision-making criterion based on the maximum a posteriori probability method.

It is established that the conditional probability of correct classification when monitoring a basic element depends on the magnitude of the error; an increase in the error leads to an increase in the values of the conditional probability of correct classification, i.e., the reliability of monitoring the reliability state of a basic element of a telecommunications network.

Keywords: telecommunications network, reliability, reliability of monitoring the reliability state.

Дата першого надходження: 14.04.2026 р.

Дата прийняття до друку: 18.05.2026 р.

Дата публікації: 28.05.2026 р.