

УДК 656.2: 621.3: 614.8

**АНАЛІЗ МЕТОДИК РОЗРАХУНКУ НАДІЙНОСТІ СИСТЕМ ЗАЛІЗНИЧНОЇ АВТОМАТИКИ З ЕЛЕКТРОННИМИ КОМПОНЕНТАМИ**

**Кандидати техн. наук В. М. Бутенко, О. В. Головко, С. Г. Чуб**

**ANALYSIS OF METHODS FOR CALCULATING THE RELIABILITY OF RAILWAY AUTOMATION SYSTEMS WITH ELECTRONIC COMPONENTS**

**PhD (Tech.), Docents V. M. Butenko, O. V. Golovko, S. G. Chub**

---

DOI: <https://doi.org/10.18664/1994-852.204.2023.284147>

---



***Анотація.** Випробування електронних виробів залізничної автоматики передбачає оцінювання показників їхньої функційної безпечності та надійності. Підтвердження цих показників здебільшого здійснюється розрахунковим методом. Для цього застосовується галузева методика [8]. У статті запропонований вихід з цього положення. Дослідниками, які використовують значення американського довідника, доводиться необхідність використовувати й максимально можливу кількість додаткових наведених там даних. Не всі такі дані можуть бути коректно застосовані в розрахунках вітчизняних розробників і дослідників. Тому проведений порівняльний аналіз розрахункових формул з певних, зазначених у статті, джерел. Визначені ідентичні параметри та певні розбіжності. Сформульовані висновки щодо адаптації співвідношень американського джерела до вітчизняних вимог.*

***Ключові слова:** надійність, безпечність, комп'ютерна інженерія, електротехнічні елементи.*

***Abstract.** Testing of electronic products of railway automation involves assessing the indicators of their functional safety and reliability. Reliability standards are very high. Confirmation of these indicators is mostly performed by the calculation method [8]. For this purpose, the branching technique is applied. The initial data for the calculations are the reference failure rates of the elements of the product under study. In the industry methodology, it is recommended to obtain these failure rates from the time directory, or other available sources. Directories of the late twentieth*

century are not relevant today. Among the current reference books is MIL-HDBK-217 F. Military handbook. Reliability prediction of electronic equipment. 1991, published in the United States. This guide is used by the vast majority of domestic developers of railway automation products. However, there are certain methodological problems that hinder the use of the methods of the above document. In particular, the methods of the late twentieth century provide reference values of failure rates, which characterize the maximum load on the element. The actual calculated values of failure rates will be significantly lower than the maximum. The reference values of the failure rates, which are given in the American directory, reflect the minimum possible values. In this case, the actual calculated values of failure rates will be significantly higher than the reference. It is obvious that the joint use of the railway industry methodology and the American reference data on failure rates is not correct. In addition, the American method operates with more parameters. A way out of this situation is proposed. If the researcher uses the American value, he is obliged to use as much additional data as possible. Not all such data can be correctly used in the calculations of domestic developers and researchers. Therefore, a comparative analysis of the calculation formulas from the two above sources. Identical parameters and certain differences are indicated. Conclusions are made on the adaptation of the ratio of the American source to domestic requirements.

**Keywords:** reliability, safety, computer engineering, electrical components.

**Вступ.** Загальні питання сучасної теорії інформації в розрізі термінології та основ побудови систем автоматизації описані в роботі [1, с. 8], розглянуті елементи інформаційно-вимірювальних компонентів систем автоматики без особливої уваги до питань надійності та безпечності. У роботі [2, с. 7] аналізується взаємозв'язок між надійністю і безпечністю спеціалізованих комп'ютерних систем залізничної автоматики з ретельним аналізом як апаратних, так і програмних заходів підвищення безпечності компонентів і систем. Основна увага приділяється аналізу методів і засобів досягнення заданого рівня безпечності сучасних систем залізничної автоматики з електронними компонентами. У свою чергу в роботі [3, с. 1] детально характеризується сигнальна система і технічні принципи функціонування сигналізації на європейській мережі залізничних перевезень TVG. Однак зовсім не визначаються показники надійності та безпечності компонентів, що забезпечують таку систему сигналізації. Взаємозв'язок між стандартами CENELEC у галузі залізничного транспорту та іншими нормативними документами з безпеки ретельно проаналізовано в роботі [4, с. 1].

Такий ретельний аналіз ілюструє динаміку частини мір цільових показників нормативного забезпечення ЄС. Однак протиріччя в нормативному забезпеченні Україні слід проаналізувати далі.

**Постановка проблеми.** Частина підприємств України, що виробляє компоненти залізничної автоматики з електронними елементами, користується тільки методикою доведення функційної безпечності. Отже, слід встановити, чи достатньо тільки зазначеної методики для доведення функційної безпечності.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Детерміновані моделі складних систем залізничної автоматики ретельно розглядалися на прикладі основних станційних підсистем залізничної автоматики в роботі [5, с. 185]. У свою чергу проблеми випробувань комплексів технічних засобів керування та регулювання руху поїздів на прикладі електронних реле розглянуті в роботі [6, с. 31]. Однак технічне переоснащення вітчизняної залізниці, у т. ч. впровадження нових розподілених засобів і систем залізничної автоматики, на сьогодні є одним з важливих напрямів розвитку систем керування залізничною галуззю. Випробування електронних виробів залізничної автоматики (ЗА), зокрема

пристроїв, безпосередньо пов'язаних з регулюванням руху потягів, передбачає оцінювання показників їхньої функційної безпечності та надійності (ФБІН) [7, с. 2]. Норми ФБІН [7, с. 11] є дуже високими, тому підтвердження цих показників здебільшого здійснюється розрахунковим методом. Для цього застосовується відповідна галузева методика [8, с. 13-52]. Вихідними даними для розрахунків є довідникові інтенсивності відмов елементів  $\lambda$  досліджуваного виробу для пуасонівського потоку кількості відмов. У роботі [8, с. 14] ці інтенсивності відмов рекомендовано отримувати з довідника [9, с. 101-120]. Однак там містяться не всі елементи, застосовувані розробниками. У цьому випадку в роботі [8, с. 14] рекомендується застосовувати показники надійності з інших доступних довідників.

Одним з таких довідників серед найбільш поширених, що охоплюють значну кількість різноманітних сучасних електрорадіоелементів, є довідник [10, с. 3-23], яким користується переважна більшість вітчизняних розробників ЗА, зокрема ПП «СЦБ ГРУП» і ТОВ «НВП «Трансавтоматика» при проектуванні та виробництві різноманітних колійних кодових трансмітерів, електронних реле, а також інших пристроїв СЦБ. Однак існують певні методологічні проблеми, що стримують користування методиками [10, с. 3-23]. Зокрема, у роботі [9, с. 101-120] наведені довідкові значення  $\lambda$ , що характеризують номінальне (максимальне) навантаження на елемент. Реальний коефіцієнт навантаження, який розраховується відповідно до рекомендацій [9, с. 89], є, як правило, меншим. Тому фактичні значення  $\lambda$ , що враховують розраховане навантаження на елемент, також будуть меншими. Довідкові ж значення  $\lambda$ , наведені в довіднику [10, с. 5-23], відображують мінімально можливе значення, що після проведення розрахунків підвищується через застосування обов'язкових додаткових даних. Якщо ж

узяти довідкові номінальні значення  $\lambda$  з довідника [10, с. 5-23] і застосувати методику розрахунку загальної інтенсивності відмови досліджуваного пристрою, рекомендовану роботою [9, с. 85-98], то отриманий результат буде дуже (на декілька порядків) викривленим – хибно суттєво кращим. Крім того, методика [10, с. 5-23] оперує більшою кількістю параметрів, які обов'язково треба враховувати, ніж кількість параметрів у роботі [8, с. 13-52].

Вихід з цього може бути таким. Якщо дослідник використовує значення  $\lambda$  з довідника [10, с. 3-23], він зобов'язаний використовувати й максимально можливу кількість додаткових наведених там даних. Складність такого підходу полягає в тому, що довідник [10, с. 3-23] є документом США, що враховує їхні технічні особливості, зокрема особливості елементів мілітарі-застосування. Не всі такі дані можуть бути коректно застосовані в розрахунках вітчизняних розробників і дослідників. Тому необхідно детально проаналізувати довідник [10, с. 5-23], адаптувавши цей безумовно корисний документ до вітчизняних вимог.

**Виділення невіршених раніше частин загальної проблеми.** До переліку елементів, дані яких наведені в роботі [8, с. 13-52], входять:

- мікросхеми (біполярні, МОН – цифрові та лінійні, ПЛМ, мікропроцесори);
- дискретні компоненти (діоди, транзистори, оптоелектронні вироби);
- резистори, конденсатори, вироби, що містять індуктивність;
- електричні машини;
- реле, перемикачі, комутаційні вироби, запобіжники, кварцові резонатори, фільтри, а також деякі інші елементи (вакуумні прилади, лазери) і т. ін.

**Формулювання цілей.** Проведемо порівняльний аналіз кількості та якості даних, використовуваних у роботах [8, с. 13-52] і [10, с. 5-23] для розрахунку інтенсивності відмов деяких елементів.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Розрахункова інтенсивність відмов мікросхем [8, с. 14]

$$\lambda_e = \lambda_{0i} K_e K_m K_n ,$$

де  $\lambda_{0i}$  – інтенсивність відмов мікросхеми  $i$  при температурі 25 °С і номінальному електричному навантаженні;

$K_e$  – коефіцієнт, що враховує умови експлуатації (2,5 для елементів рухомого складу, 2,0 для іншого застосування);

$K_n$  – коефіцієнт навантаження, що є відношенням навантажених виходів мікросхеми до «коефіцієнта розгалуження по виходу» (очевидно, слід розуміти повну кількість виходів).

Розрахункова інтенсивність  $\lambda_p$  відмов мікросхем [10, с. 5], відмов/год,

$$\lambda_p = (C_1 \pi_T + C_2 \pi_E) \pi_Q \pi_L 10^{-6},$$

де  $C_1$  залежить від кількості елементарних вентилів у досліджуваному кристалі;

$\pi_T$  залежить від температури кристалу;

$C_2$  залежить від особливостей конструкції мікросхеми (тип і кількість контактів, тип корпусу і т. ін.);

$\pi_E$  є характеристикою навколишнього середовища;

$\pi_Q$  залежить від категорії виконання мікросхеми (за нормами стандартів США);

$\pi_L$  характеризує ступінь відпрацювання виробу в промисловості (кількість років з початку виробництва досліджуваної мікросхеми).

Значення  $\lambda_p$  надані для достатньо широкого переліку температур.

$C_1$  для мікропроцесорів залежить від особливостей топології (біполярна або МОН).

Надалі можна зробити певні висновки:

- кількість даних, врахованих у довіднику [10, с. 5], є суттєво більшою, ніж у роботі [8, с. 14];

- у роботі [8, с. 14] не врахований суттєвий перелік параметрів, яким оперує довідник [10, с. 5], – складність мікросхеми (кількість елементарних вентилів), температура кристала, конструктивні особливості мікросхеми (тип корпусу, кількість виводів), категорія виконання, відпрацьованість виробу в промисловості, різновид топології.

Отже, можна зробити висновок про можливість впровадження зазначених вище параметрів у вітчизняну практику: практично всі параметри можна застосовувати (окрім  $\pi_Q$ ,  $\pi_L$ ). Застосування цих двох параметрів є також можливим, але дещо ускладненим. При цьому слід рекомендувати впровадження добре зарекомендованих виробів, що вироблялися тривалий час, а  $\pi_Q$  застосовувати для більш простих категорій виконання.

Розрахункова інтенсивність відмов діодів і діодних збірок [8, с. 15] вираховується за такою формулою:

$$\lambda = \lambda_{e \ o_i \ p \ \phi \ д.н \ з_i \ e} K \ K \ K \ K \ K ,$$

де  $K_p$  – коефіцієнт режиму, що залежить від електричного навантаження і температури;

$K_\phi$  – коефіцієнт, що враховує функціональний режим приладу (лінійний, перемикальний, випрямний та ін.);

$K_{д.н}$  – коефіцієнт, що залежить від величини максимально допустимого за технічними умовами (ТУ) навантаження за потужністю розсіювання (струму);

$K_{з_i}$  – коефіцієнт, що залежить від величини відношення робочої напруги до максимально допустимої напруги, за ТУ;

$K_e$  – коефіцієнт, що залежить від умов експлуатації.

Розрахункова інтенсивність відмов низькочастотних діодів  $\lambda_p$  [10, с. 6], відмов/год,

$$\lambda_p = \lambda_b \pi_T \pi_S \pi_C \pi_Q \pi_E 10^{-6},$$

де  $\lambda_b$  – базова частота відмов;

$\pi_T$  – робоча температура виробу;

$\pi_S$  – коефіцієнт електричного навантаження;

$\pi_C$  – особливості конструкції контактів (выводів);

$\pi_Q$  – особливості конструкції корпусу (матеріал, виконання і т. ін.);

$\pi_E$  – особливості навколишнього середовища.

Щодо діодів інших типів, крім низькочастотних, то в довіднику [10, с. 6] наведені спеціальні співвідношення.

Висновки:

- $K_p, K_\phi, K_{д.н}, K_{зи}, K_e$  насправді зводяться до одного – навантаження [8, с. 15];
- у довіднику [10, с. 2-6] наведені таблиці для всіх застосовуваних коефіцієнтів, у роботі [8, с. 15] вони відсутні (стосується всіх типів виробів);
- у роботі [8, с. 15] не враховані такі чинники, як конструкція приладу (корпус, виводи), якість його виконання;
- у роботі [8, с. 15] не виділені відомості про робочу частоту діодів. Останнє співвідношення пропонується застосовувати як до низькочастотних виробів, так і високочастотних (див. нижче альтернативні співвідношення [10, с. 6] для високочастотних діодів).

Розрахункова інтенсивність відмов високочастотних діодів  $\lambda_p$  [10, с. 4], відмов/год,

$$\lambda_p = \lambda_b \pi_T \pi_A \pi_R \pi_S \pi_Q \pi_E 10^{-6},$$

де  $\pi_A$  – чинник особливостей застосування виробів (варактори, помножувачі, керування напругою, інші застосування);

$\pi_R$  – коефіцієнт, що враховує потужність виробу.

Зазначені специфічні коефіцієнти можуть бути отримані та застосовані повною мірою.

Розрахункова інтенсивність відмов біполярних транзисторів  $\lambda_e$  [8, с. 15]

$$\lambda_p = \lambda_{0i} K_p K_{д.н} K_{зи} K_e,$$

де  $K_p$  – коефіцієнт режиму (електричне навантаження, температура);

$K_{д.н}$  залежить від величини максимально допустимого за ТУ навантаження (потужність, струм);

$K_{зи}$  залежить від відношення робочої напруги до максимально допустимої напруги;

$K_e$  залежить від умов експлуатації.

Для польових транзисторів вводиться коефіцієнт  $K_\phi$ , що враховує режим роботи приладу (лінійний, перемикальний і т. ін.).

Для тиристорів пропонується не користуватися коефіцієнтом  $K_{зи}$ .

Розрахункова інтенсивність відмов біполярних низькочастотних транзисторів малої потужності [10, с. 6]

$\lambda_p = \lambda_b \pi_T \pi_A \pi_R \pi_S \pi_Q \pi_E 10^{-6}$ , відмов/год, містить усі коефіцієнти, розглянуті вище для діодів, і не містить нових складових.

Висновки про розбіжності між методиками [8, с. 15] і [10, с. 6] є аналогічними висновкам, наведеним вище щодо діодів. Крім того, у довіднику [10, с. 6-16] транзистори класифіковані суттєво більш детально (наведено нижче).

Розрахункова інтенсивність відмов біполярних високочастотних транзисторів малої потужності та тиристорів [10, с. 6-10]

$\lambda_p = \lambda_b \pi_T \pi_A \pi_R \pi_S \pi_Q \pi_E 10^{-6}$ , відмов/год, аналогічно містить усі коефіцієнти, розглянуті вище для діодів, і не містить нових складових.

Розрахункова інтенсивність відмов біполярних височастотних транзисторів великої потужності та польових (FET) височастотних транзисторів

$$\lambda_p = \lambda_b \pi_T \pi_A \pi_M \pi_Q \pi_E 10^{-6}, \quad \text{відмов/год,}$$

аналогічно містить додатковий коефіцієнт  $\pi_M$ , що характеризує відповідність застосування приладу (вхідний, вихідний, інший).

Розрахункова інтенсивність відмов оптоелектронних приладів [10, с. 6-20]

$$\lambda_p = \lambda_b \pi_T \pi_Q \pi_E 10^{-6}, \quad \text{відмов/год,}$$

аналогічно містить усі коефіцієнти, розглянуті вище, і не містить нових складових. У роботі [8, с. 16] формули для цих приладів не наводяться.

Розрахункова інтенсивність відмов резисторів  $\lambda_e$  [8, с. 17]

$$\lambda_p = \lambda_{0i} K_r K_m K_p K_e,$$

де  $K_r$  – коефіцієнт, що залежить від величини номінального опору;

$K_m$  залежить від величини номінальної потужності.

Інші коефіцієнти були зазначені вище.

Розрахункова інтенсивність відмов [10, с. 9] постійних композитних, плівкових і дровових резисторів незалежно від їхньої потужності  $\lambda_p = \lambda_b \pi_R \pi_Q \pi_E 10^{-6}$ , відмов/год, аналогічно містить коефіцієнт  $\pi_R$ , значення якого відрізняється від коефіцієнта з аналогічним позначенням для діодів. Значення цього коефіцієнта залежить від номіналу резистора. Формула інтенсивності відмов для термісторів відрізняється відсутністю  $\pi_R$ .

Як проміжний висновок слід визнати, що в роботі [8, с. 17] не враховані особливості конструкції резистора. Крім того, там же не наведені дані про змінні резистори (щодо довідника [10, с. 9-13], то дані наведені нижче).

Інтенсивність відмов змінних дровових і бездротових резисторів містить більше складових:

$$\lambda_p = \lambda_b \pi_{TAPS} \pi_R \pi_V \pi_Q \pi_E 10^{-6},$$

де  $\pi_{TAPS}$  – так званий TAPS чинник (кількість виводів);

$\pi_V$  – коефіцієнт навантаження напругою.

Для точних резисторів додатково вводиться коефіцієнт  $\pi_C$ , що враховує особливості конструкції резистора.

Розрахункова інтенсивність відмов конденсаторів  $\lambda_e$  [8, с. 17]

$$\lambda_p = \lambda_{0i} K_c K_p K_e,$$

де  $K_c$  – коефіцієнт, що залежить від величини номінальної ємності.

Розрахункова інтенсивність відмов неелектролітичних конденсаторів усіх типів та електролітичних конденсаторів з нетвердим електролітом [10, с. 10], відмов/год,

$$\lambda_p = \lambda_b \pi_{CV} \pi_Q \pi_E 10^{-6},$$

де  $\pi_{CV}$  залежить від номіналу конденсатора.

Для електролітичних конденсаторів з твердим електролітом вводиться додатковий коефіцієнт  $\pi_{CR}$ , що залежить від відношення внутрішнього омичного опору конденсатора до його робочої напруги. Для змінних керамічних конденсаторів та індуктивних виробів, у т. ч. трансформаторів,

$$\lambda_p = \lambda_b \pi_Q \pi_E 10^{-6},$$

відмов/год.

Наступним проміжним висновком зазначимо, що в роботах [8, с. 17] і [10, с. 10] формули є приблизно ідентичними. Однак у

довіднику [10, с. 10] конденсатори класифіковані більш детально.

Розрахункова інтенсивність відмов обертових машин [10, с. 12] визначається за відношенням, відмов/год,

$$\lambda_p = \lambda_b \pi_s \pi_N \pi_E 10^{-6},$$

де  $\pi_s$  залежить від розміру машини;

$\pi_N$  залежить від кількості щіток статора машини.

У роботі [8] ця позиція не нормується й не наводиться.

Розрахункова інтенсивність відмов електромеханічних реле [10, с. 13] розраховується за формулою, відмов/год,

$$\lambda_p = \lambda_b \pi_L \pi_C \pi_{CUC} \pi_F \pi_Q \pi_E 10^{-6},$$

де  $\pi_L$  залежить від ступеня та особливостей навантаження;

$\pi_C$  залежить від кількості активних контактів, що проводять струм;

$\pi_{CUC}$  залежить від кількості циклів спрацювань за годину;

$\pi_F$  залежить від особливостей конструкції та застосування;

$\pi_Q$  залежить від якості виконання реле;

$\pi_E$  залежить від особливостей навколишнього середовища.

У роботі [8] ця позиція не наводиться.

Розрахункова інтенсивність відмов перемикачів і тумблерів  $\lambda_e$  [8, с. 7]

$$\lambda_p = \lambda_{0i} K_p K_{kk} K_e,$$

де  $K_{kk}$  – коефіцієнт, що залежить від кількості задіяних контактів.

Розрахункова інтенсивність відмов комутувальних приладів [10, с. 14] (перемикачі, тумблери, кнопки)  $\lambda = \lambda_p \pi_b \pi_L \pi_C \pi_{CUC} \pi_E 10^{-6}$ , відмов/год. Для

перемикачів обертового типу коефіцієнт  $\pi_C$  не застосовується.

Розрахункова інтенсивність відмов вимикачів  $\lambda_p = \lambda_b \pi_C \pi_U \pi_Q \pi_E 10^{-6}$ ,

відмов/год. Специфічними коефіцієнтами є:

$\pi_C$  – залежить від конфігурації вимикача (кількість і тип контактів);

$\pi_U$  – чинник застосування (розрив «сухих» або навантажених контактів).

Проміжний висновок – у роботі [8, с. 17] не врахований параметр «кількість задіяних контактів».

Розрахункова інтенсивність відмов з'єднувачів [10, с. 5]  $\lambda_p = \lambda_b \pi_C \pi_U \pi_Q \pi_E 10^{-6}$ , відмов/год. Специфічними коефіцієнтами є:

$\pi_C$  – залежить від інтенсивності використання (кількість циклів виймання/вставлення за певний проміжок часу – 1000 год);

$\pi_U$  – чинник навантаження (кількість задіяних активних контактів).

У роботі [8, с. 7] ця позиція не наводиться.

Розрахункова інтенсивність відмов вимірювальних приладів [10, с. 5]

$$\lambda_p = \lambda_b \pi_A \pi_F \pi_Q \pi_E 10^{-6}, \quad \text{відмов/год.}$$

Специфічними коефіцієнтами є:

$\pi_A$  – залежить від особливості використання (основні або резервні ланцюги);

$\pi_F$  – чинник функціонального призначення приладу (амперметр, вольтметр тощо).

У роботі [8, с. 7] ця позиція не наводиться.

Розрахункова інтенсивність відмов кварцових резонаторів [10, с. 19]

$$\lambda = \lambda_p \pi_b \pi_Q \pi_E 10^{-6}, \quad \text{відмов/год, специфічні}$$

коефіцієнти відсутні.

Розрахункова інтенсивність відмов ламп розжарювання описується виразом

$$\lambda_p = \lambda_b \pi_U \pi_A \pi_E 10^{-6}, \quad \text{відмов/год.}$$

Специфічним коефіцієнтом є  $\pi_U$ , що залежить від терміну придатності лампи.

У роботі [8] ця позиція не наводиться.

Розрахункова інтенсивність відмов електронних фільтрів, що не налаштовуються [10, с. 21],  $\lambda_p = \lambda_b \pi_Q \pi_E 10^{-6}$ ,

відмов/год, залежить тільки від якості фільтра та умов зовнішнього середовища.

У роботі [8] ця позиція не наводиться.

Розрахункова інтенсивність відмов запобіжників  $\lambda_e$  [8, с. 18]

$$\lambda_p = \lambda_{0i} K_i K_e,$$

де  $K_i$  – коефіцієнт, що залежить від величини номінального опору;

$K_e$  – залежить від температури навколишнього середовища.

Розрахункова інтенсивність відмов запобіжників [10, с. 22]  $\lambda_p = \lambda_b \pi_E 10^{-6}$ , відмов/год, залежить тільки від умов навколишнього середовища. Слід зауважити, що запобіжник не розсіює суттєву потужність, але може приймати температуру навколишнього середовища. Тому його температурний режим доцільно визначати саме через температуру навколишнього середовища.

Розрахункова інтенсивність відмов трансформаторів і дроселів  $\lambda_e$  [8, с. 18]

$$\lambda_e = \lambda_0 \frac{K_i}{K_{i.cp}} K_e,$$

де  $K_i$  і  $K_{i.cp}$  – коефіцієнти, що відповідають температурі навколишнього середовища і середній температурі експлуатації трансформаторів 50 °С.

Розрахункова інтенсивність відмов індуктивних приладів [10, с. 11]  $\lambda_p = \lambda_b \pi_Q \pi_E 10^{-6}$ , відмов/год. Коефіцієнт  $\pi_Q$  враховує тип і умови роботи приладу

(імпульсні кола, аудіо, кола великої потужності і т. ін.). Це не враховано в роботі [8].

Треба зауважити, що наведені вище дані та співвідношення не вичерпують наведене в довіднику [10, с. 5-23].

**Висновки з дослідження і перспективи.** Дослідженням встановлено, що довідник [10] є цілісним документом, скориставшись яким, можна розрахувати інтенсивність відмов широкого класу електронних та електромеханічних пристроїв, на відміну від якого, методика [8, с. 13-52] не є цілісною, практичне використання пов'язане з певними проблемами. По-перше, у методиці [8, с. 14-18] наведений достатньо обмежений перелік пристроїв і їхніх різновидів.

По-друге, методика [8, с. 13-52], на відміну від довідника [10, с. 5-23], фактично не містить конкретних цифрових даних про інтенсивності відмов і додаткові коефіцієнти. Там пропонується брати ці дані з довідника [8, с. 3–185]. Цей довідник не є розповсюдженим, видавався за часів СРСР (1989 р.) і містить статистичні дані про радянські електрорадіоелементи, що виготовлялися та застосовувалися радянською промисловістю до 1989 р. Такі елементи вже досить давно не використовуються сучасними розробниками та виробниками.

По-третє, не достатньо тільки зазначеної методики [8] для доведення функційної безпечності будь-якого типу електротехнічного обладнання залізничної автоматики, у тому числі й з електронними компонентами.

Щодо висновків та пропозицій.

1. Методики, наведені в довіднику [10], є цілком придатними для практичного використання в розрахунках показників надійності ЗА.

2. Статистичні дані, наведені в довіднику [10], є достатньо повними та охоплюють відмови всіх розповсюджених електрорадіоелементів ЗА.



3. Статистичні дані, наведені в довіднику [10], охоплюють відмови електрорадіоелементів різноманітного виконання, починаючи з мілітарного, включно з промисловим і побутовим.

4. Методику [8] доцільно відкорегувати з урахуванням інформації довідника [10].

Певним кроком вперед у вирішенні зазначених вище питань є використання норм і правил, що містять стандарти серії ДСТУ EN 61508, що охоплюють достатньо повний перелік різних питань, пов'язаних з функційною безпекою ЗА на всіх етапах їхнього життєвого циклу.

### Список використаних джерел

1. Теорія інформації (інформаційно-вимірювальні системи, похибки, ідентифікація): навч. посіб. / П. Д. Стухляк, О. В. Іванченко, А. В. Букетов, М. А. Долгов. Херсон: Айлант, 2011. 371 с.
2. Мойсеєнко В. І., Бутенко В. М. Безпечність спеціалізованих комп'ютерних систем: навч. посіб. Харків: УкрДУЗТ, 2021. 112 с.
3. The TGV Signaling System. URL: <http://www.railfaneurope.net/tgv/signals.html>.
4. Брабанд Й., Хирао Ю., Людеке Дж. Ф. Взаимосвязь между стандартами CENELEC в области железнодорожной сигнализации и другими стандартами по безопасности. *Информационная безопасность на транспорте*. 2012. URL: <http://www.ibtrans.ru/upload/iblock/252/25224179d2f031147bf4a113e91b4411.pdf>. Загл. с экрана (дата звернення 26.01.2022).
5. Moiseenko V., Kameniev O., Butenko V., Gaievskiy V. Determination model of the apparatus state for railway automatics with restrictive statistical data. *Procedia Comput. Sci.* 149, 185–194 (2019). ICTE in Transportation and Logistics 2018 (ICTE 2018).
6. Проблеми випробувань комплексів технічних засобів керування та регулювання руху поїздів /В. І. Мойсеєнко, В. М. Бутенко, О. В. Головка, С. Г. Чуб. *Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті*. 2020. Т. 25, № 3. С. 31 – 38. ISSN: 2413-3833.
7. ДСТУ 4178-2003. Комплекси технічних засобів систем керування та регулювання руху поїздів. Функційна безпечність і надійність. Вимоги та методи випробування. Каталог нормативних документів. Київ: *Держспоживстандарт України*, 2003. DSTU 4178-2003. 73 с.
8. Методика доказу функційної безпечності мікроелектронних комплексів систем керування та регулювання руху поїздів /Міністерство транспорту України; Державна адміністрація залізничного транспорту України. Київ, 2002. 16 с.
9. Надежность изделий электронной техники для устройств народнохозяйственного назначения. Справочник /Всесоюзный научно-исследовательский институт «Электростандарт». Москва, 1989. 188 с.
10. MIL-HDBK-217 F. Military handbook. *Reliability prediction of electronic equipment*. 1991.

Бутенко Володимир Михайлович, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри спеціалізованих комп'ютерних систем, Український державний університет залізничного транспорту.

ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-9958-3960>. Тел.: (057) 730-10-62. E-mail: [butenko@kart.edu.ua](mailto:butenko@kart.edu.ua).

Головка Олександра Володимирівна, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри обчислювальної техніки і систем управління, Український державний університет залізничного транспорту.

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-9880-428X>. Тел.: (057) 730-10-40. E-mail: [golovko@kart.edu.ua](mailto:golovko@kart.edu.ua).

Чуб Сергій Григорович, кандидат технічних наук, доцент, інженер державного випробувального центру з оцінки відповідності продукції ДП «Харківстандартметрологія». ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-4375-4676>. Тел.: 066-227-8666. E-mail: [chub.3.6.49@gmail.com](mailto:chub.3.6.49@gmail.com).

Butenko Volodymyr Associate professor, PhD technical sciences, department of specialized computer systems, Ukrainian State University of Railway Transport. ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-9958-3960>.

E-mail: [butenko@kart.edu.ua](mailto:butenko@kart.edu.ua).

Golovko Oleksandra Associate professor, PhD technical sciences, department of Computer Engineering and Control Systems, Ukrainian State University of Railway Transport. ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-9880-428X>.

E-mail: [golovko@kart.edu.ua](mailto:golovko@kart.edu.ua).

Chub Sergij Associate professor, PhD technical sciences, engineer of the state testing center for evaluating the conformity of products of SE «Kharkivstandardmetrologiya». ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-4375-4676>.

E-mail: [chub.3.6.49@gmail.com](mailto:chub.3.6.49@gmail.com).

Статтю прийнято 13.06.2023