

DOI: 10.18372/2310-5461.68.20734
УДК 681.396.6

В. В. Кузавков, д-р техн. наук, професор,
Військовий інститут телекомунікацій та
інформатизації імені Героїв Крут
<https://orcid.org/0000-0002-0655-9759>
E-mail: nevse@ukr.net;

А. В. Ланко
Військовий інститут телекомунікацій та
інформатизації імені Героїв Крут,
<https://orcid.org/0009-0001-1124-1526>
E-mail: mail-lav@ukr.net

МЕТОДИКА ОЦІНКИ ІНТЕНСИВНОСТІ ВІДМОВ РАДІОЕЛЕКТРОННОГО ОБЛАДНАННЯ НА ОСНОВІ ДОВІДКОВИХ ДАНИХ

Вступ

Ефективність функціонування радіоелектронного обладнання (РЕО) визначається низкою факторів, серед яких важливу роль відіграє його надійність.

Надійність, як властивість об'єкта зберігати в часі у встановлених межах значення всіх параметрів, характеризує здатність технічної системи виконувати необхідні функції в заданих режимах і умовах.

Під надійністю розуміють кількісні властивості, які включають: безвідмовність, довговічність, ремонтпридатність та збережуваність. Це охоплює широкий спектр наукових (фізичних, хімічних, математичних), інженерних (проектно-конструкторських, виробничо-технологічних, експлуатаційних) та економічних аспектів, що зумовлює появу нових наукових підходів визначення надійності РЕО.

Зазвичай, цей термін використовувався для позначення процесу застосування математичних моделей і даних про радіоелектронний компонент (РЕК) з метою оцінки надійності системи в польових умовах до того, як дані про відмови стануть доступними.

Властивість безвідмовності об'єкта характеризують такі показники: ймовірність безвідмовної роботи, щільність розподілу напрацювання до відмови, середнє напрацювання до відмови та інтенсивність відмов.

Інтенсивність відмов – це умовна щільність ймовірності виникнення відмови об'єкта, визначається за умови, що до розглянутого моменту часу відмова не виникла. Інтенсивність відмов є ключовим показником надійності РЕО. Статистично її визначають як частку виробів, які відмовляють в одиницю часу після моменту часу t .

Для більшості елементів радіоелектронної апаратури залежність інтенсивності відмов має три характерні області:

- початковий етап експлуатації технічного пристрою, коли його надійність нижча, ніж у період нормальної роботи;
- етап нормальної експлуатації, після усунення збоїв початкового періоду;
- етап старіння з монотонним зростанням інтенсивності відмов до повного виходу з ладу.

Інтенсивність відмов часто називають λ -характеристикою або кривою життя виробу.

Особливої актуальності задача визначення та оцінки надійності РЕО набула з моменту отримання сектором безпеки і оборони України радіоелектронного обладнання іноземного походження. Як правило, для цих зразків діє низка обмежень: інколи їх заборонено розбирати та ремонтувати на території іншої держави. Окрім того, спостерігається стійка тенденція застосування зразків подвійного призначення. В обох випадках фіксується відсутність або обмежена кількість технічної документації, а також відсутність методик контролю визначення технічного стану (ТС) та надійності.

Зазвичай, показники надійності радіоелектронного обладнання (ймовірність безвідмовної роботи, середній наробіток до відмови, інтенсивність відмов та коефіцієнт готовності), оцінюють через тести або статистичний аналіз. Однак, у сучасних умовах, за використання у військах технічних систем подвійного призначення іноземного виробництва з обмеженою вхідною інформацією, якісно оцінити ступінь надійності зразків неможливо.

З огляду на існуючі обмеження, існує задача створення комплексної методики визначення окремих показників надійності, яка включатиме доступні інженерні методики визначення надійності зразків РЕО та їх інтеграцію в існуючу систему технічного обслуговування.

Після надходження РЕО у війська, лабораторні випробування часто неможливо провести для визначення показників її надійності. Точне прогнозування надійності електронних виробів вимагає знання компонентів, конструкції, виробничого процесу та очікуваних умов експлуатації.

Авторами запропоновано одну з інженерних методик для розв'язання визначеної задачі.

Запропонована методика дозволяє визначити показник інтенсивності відмов. Кожна інша окрема методика надаватиме кількісне (якісне) значення іншого показника надійності об'єкта контролю (ОК) – одного одиничного, комплексного або їхньої комбінації. На основі узагальнення інформації можливе прийняття обґрунтованого рішення про ступінь надійності зразка РЕО.

Під поняттям «інженерна методика» слід розуміти методику (послідовність дій), застосування якої можливе на місці експлуатації (під час прийому на бази (склади) РЕО іноземного виробництва або волонтерської допомоги) за умови обмеженої вхідної інформації про об'єкт.

Інженерна методика – це не просто послідовність дій, а практичний стандартизований алгоритм, розроблений для швидкого отримання критично важливих технічних висновків про ОК в умовах обмеженої інформації, і метою якого є:

- мінімізація невизначеності: головна мета – швидко знизити рівень невизначеності щодо стану, функціональності та технічних характеристик ОК;

- прийняття рішення «тут і зараз»: методика забезпечує достатню інформаційну базу для прийняття оперативних рішень;

- уніфікація: вона стандартизує підхід для різних виконавців, забезпечуючи одноманітність отриманих результатів, незалежно від суб'єктивного досвіду інженерно-технічного складу.

Постановка проблеми

Надійність радіоелектронного обладнання (РЕО) є ключовим фактором забезпечення ефективного застосування систем під час проведення операцій у секторі безпеки та оборони. Сучасна ситуація із забезпеченням Збройних Сил зразками іноземного виробництва спонукає особовий склад до пошуку (розроблення) способів оцінки фактичного стану технічних засобів безпосередньо на місці експлуатації. Інша задача – інтеграція отриманого озброєння в існуючу систему ремонту та технічного забезпечення.

У 2022 році в Україні було зафіксовано випадки, коли отримані від партнерів зразки озброєння не могли бути введені в експлуатацію через відсутність даних про їхній технічний стан або не придатні взагалі [1, 2]. Брак інформації про

виготовлення, експлуатацію чи зберігання знижує ефективність використання обладнання, що може мати критичні наслідки під час бойових дій.

Для розв'язання такої задачі в роботі запропоновано інженерну методику оцінки інтенсивності відмов радіоелектронних засобів на основі довідкових даних. Створення окремих інженерних методик та використання методу узагальнення отриманих результатів дозволяє надалі приймати обґрунтовані рішення про ступінь надійності та фактичний стан отриманих систем в умовах обмеженої вхідної інформації.

Важливим фактором використання довідникових даних (зокрема, довідника MIL-HDBK-217) є врахування теплового фактора (визначення температур), якого зазнають радіоелектронні компоненти (РЕК). Оскільки надійність деталей чутлива до температури, тепловий аналіз будь-якої конструкції РЕО повинен досить точно забезпечувати визначення температур навколишнього середовища, необхідних для застосування моделей РЕК. Дана методика може бути використана як орієнтир для визначення температурних та інших коефіцієнтів РЕК.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Варто відмітити, що проблематика надійності РЕО перебуває в сфері наукових інтересів широкого кола як національних, так і зарубіжних учених, експертів та фахівців цієї галузі.

Для визначення надійності ОК класична теорія надійності передбачає розрахунок показників надійності РЕО (безвідмовність, довговічність, відновлюваність та збережуваність). Цьому присвячено низку робіт [3–7], однак усі вони ґрунтуються на статистичних дослідженнях РЕО. Як зазначається в [3], для розрахунку оцінок показників надійності виконують такі роботи: вибір плану випробувань на надійність, планування випробувань, збирання необхідної інформації та її статистичну обробку.

Зважаючи на галузь застосування технічних систем подвійного призначення, гостро постає питання визначення фактичного технічного стану та надійності таких зразків до початку їхнього використання. Часто отримане від волонтерських організацій та іноземних партнерів РЕО має обмежені достовірні відомості про умови виготовлення, випробувань, зберігання та транспортування технічних засобів, що ставить під сумнів їхню надійність.

У роботі авторів [4] визначено основні одиничні і комплексні показники надійності, наведено розрахункові співвідношення. Серед існуючих методів підвищення показників надійності обрано метод функціонального та навантажувального

резервування. У роботі [5] запропоновано узагальнений підхід до оцінювання показників надійності наземних радіоелектронних засобів при погіршенні їхнього технічного стану, пов'язаного з можливим вичерпанням встановленого ресурсу за часом. Зроблено висновок, що з точки зору статистики, проблеми, пов'язані з погіршенням технічного стану з точки зору показників надійності, можна поділити на дві групи: виявлення факту погіршення та оцінювання тенденції зміни показників надійності після його виявлення. Для встановлення факту зміни технічного стану на етапі експлуатації понад призначений термін служби в роботі пропонується використовувати методи статистичного виявлення, зокрема, засновані на критерії Неймана-Пірсона.

Наприклад, у [9] розглянуто вплив зовнішніх факторів на інтенсивність відмов радіоелектронних компонентів. Однак автори не знайшли публікацій, присвячених оцінюванню надійності РЕО або окремих її показників в умовах обмеженої інформації з використанням кількох інженерних методик. Міжнародні джерела [10, 11] описують методи визначення надійності, зокрема й інтенсивність відмов, але вони не адаптовані до обмеженої вхідної інформації про ОК.

Аналіз переваг визначення інтенсивності відмов із використанням довідника [12], показав таке:

- кількість даних, врахованих у довіднику [12], є суттєво більшою, ніж [13];
- у стандарті [13] не врахований суттєвий перелік параметрів, яким оперує довідник [12], зокрема складність мікросхем, температуру кристала напівпровідників, конструктивні особливості мікросхем (типи корпусу, кількість виводів);
- порівняно з стандарт [12], джерело [3] базується на радянській системі, є менш актуальним і не враховує РЕК іноземного походження;
- стандарт [14] більш пристосований для цивільного сектору в порівняно з [12], оскільки не враховує вплив вібрації, удару, прискорення, вологості та інших чинників, критичних для надійності військового РЕО.

Таким чином використання довідника [12] для РЕО військового призначення є більш практичним. Скориставшись ним, можна розрахувати інтенсивність відмов широкого класу РЕК для РЕО, тоді як стандарти (довідники) [3, 13, 14] не є цілісними та містять обмежені дані про РЕК, що можуть застосовуватися у військовому РЕО.

Стандарти (довідники) [3, 13, 14], на відміну від довідника [12], фактично не містять конкретних цифрових даних про інтенсивності відмов і додаткові коефіцієнти, притаманні РЕО в бойових умовах експлуатації. Статистичні дані довідника [12], охоплюють інтенсивність відмов РЕО різних

типів виконання: від військового призначення до промислового й побутового.

Таким чином, запропонований підхід є актуальним науковим дослідженням, а використання довідника [12] є цілком придатними та достатньо повними для визначення одного з показників надійності – інтенсивності відмов – для поширених зразків радіоелектронного обладнання, яке нині постачається в Україну країнами-партнерами у секторі безпеки та оборони.

Метою статті є розробка інженерної методики оцінки інтенсивності відмов радіоелектронних засобів іноземного виробництва на місці їх застосування (на пунктах видачі та розподілу) на основі довідкових даних із використанням довідника MIL-HDBK-217.

Виклад основного матеріалу

В роботі наведено приклад застосування інженерної методики оцінки інтенсивності відмов (λ) технічних засобів на основі довідкових даних. Приклад наведено для умовного РЕО, яке має у своєму складі найбільш поширені радіоелектронні компоненти (РЕК): мікросхеми (IC), резистори (R) та конденсатори (C). Методика придатна для РЕО різного призначення (радіостанції, радіолокаційні комплекси тощо).

Методика включає використання довідника MIL-HDBK-217 (U.S. Department of Defense Handbook) [12]. Довідник містить розрахункові дані (коефіцієнти) для РЕК різних видів з метою оцінювання їхньої інтенсивності відмов. У методиці враховано: тип РЕК; кількість РЕК певного типу; умови експлуатації (температура, вологість, вібрація) якість виробів тощо. Внаслідок цього визначається середня кількість відмов за одиницю часу роботи. Застосування запропонованого підходу є доцільним у випадках, коли неможливо провести діагностування (випробування) на відмову або коли економічно це недоцільно.

Довідник MIL-HDBK містить два методи прогнозування надійності:

- аналіз за коефіцієнтами навантаження елементів у конкретній схемі PSA (PSA – Stress Analysis);
- кількісний аналіз PCA (Parts Count Analysis).

Метод PSA потребує великого обсягу докладної інформації та, як правило, застосовується на завершальних стадіях розробки, коли у процесі перевірки надійності можуть бути використані дані й результати вимірювань попередніх випробувань. На відміну від нього, метод PCA передбачає наявність самої мінімальної інформації, такої як загальна кількість елементів, рівень їхньої якості та умови середовища експлуатації.

Найбільша перевага методології стандарту MIL HDBK 217 полягає в тому, що метод PCA забезпечує прогноз надійності, ґрунтуючись лише

на переліку елементів та області використання виробу. Стандарт MIL-HDBK-217 містить моделі надійності, розроблені на основі військових програм загального призначення. Наприклад в Табл. 1 наведено базові інтенсивності відмов для типо-

вих електронних компонентів, що демонструє вихідні довідкові дані, на основі яких здійснюються подальші розрахунки та показує, наскільки відрізняється базова інтенсивність відмов різних типів елементів. Використано умовні значення.

Таблиця 1

Базові інтенсивності відмов для типових електронних компонентів

Тип компонента	Базова інтенсивність відмов λ_0 відмови / 10^{-6} год	Примітки
Резистор (постійний)	0,001	Для вуглецевих резисторів, стаціонарні умови
Конденсатор (керамічний)	0,005	Високоякісні, стаціонарні умови
Транзистор (біполярний)	0,015	Загального призначення, кремнієвий
Операційний підсилювач	0,12	Для типових мікросхем SOIC корпусі
Світлодіод	0,008	Стандартний, низької потужності
Роз'єм (одна пара)	0,0005	Якісний, для друкованих плат

Однак великий вплив на його надійність надає область застосування. Якщо область застосування відома, то для розрахунку інтенсивності відмов може бути використаний поправочний коефіцієнт.

У табл. 2 наведено коефіцієнти умов експлуатації, які показують, як зовнішні фактори впливають на інтенсивність відмов, демонструючи важливість коефіцієнтів факторів впливу.

Таблиця 2

Коефіцієнти умов експлуатації

Назва коефіцієнта	Позначення	Діапазон значень	Приклад умов
Коефіцієнт температури	π_t	1,0–15,0	1.0 (25°C), 4.5 (70°C), 10.0 (100°C)
Коефіцієнт якості	π_Q	0,5–10,0	0.5 (Висока надійність), 1.0 (Військовий стандарт), 10.0 (Комерційний)
Коефіцієнт навколишнього середовища	π_e	1,0–20,0	1.0 (Наземне стаціонарне), 5.0 (Мобільне), 15.0 (Авіаційне)

Таблиця ілюструє, наскільки значущими є умови експлуатації РЕО, що можуть погіршити або покращити інтенсивність відмов РЕК. Вона підкреслює, що базова інтенсивність – лише відправна точка.

Підхід ґрунтується на статистичних дослідженнях відмов для аналогічних РЕК або систем у подібних умовах експлуатації.

Важливим фактором є також те, що довідник MIL-HDBK-217 містить довідкові дані саме для РЕК іноземного виробництва, які наразі становлять основу озброєння в секторі безпеки та оборони України.

Робиться припущення, що причини відмови системи або обладнання пов'язані з РЕК, відмови яких є незалежними одна від одної.

Запропонована методика включає наступні етапи, які наведено в табл. 3.

Обчислення сумарної інтенсивності відмов проводиться за виразом:

$$\lambda_{\text{сист}} = \sum_{i=1}^{i=n} N_i \lambda_i, \quad (1)$$

де λ_i – інтенсивність відмов i -го компонента, n – загальна кількість різних компонентів (елементів) у системі, N_i – кількість окремого i -го типу РЕК.

$$\lambda_i = \lambda_0 \times \pi_t \times \pi_e \times \pi_Q \times \pi_s. \quad (2)$$

де λ_0 – базова інтенсивність відмов для кожного типу РЕК (з довідника MIL-HDBK-217), π_i – відповідні коефіцієнти.

Необхідно провести аналіз чутливості до факторів, варіюючи λ_i межах $\pm 20\%$.

Таблиця 3

Етапи визначення інтенсивності відмов

№ дії	Етапи	Результати
1	Визначення типу РЕК у складі РЕО	Групування всіх РЕК на групи з приблизно однаковою інтенсивністю відмов, визначення наявності типів РЕК (мікросхеми, конденсатори тощо, та їх тип).
2	Визначення кількості РЕК (N_i) різних типів у складі РЕО	Чисельний склад груп РЕК
3	Співставлення значень відповідності до наявних РЕК з довідника MIL-HDBK-217	Базові значення λ_0 для РЕК у складі РЕО.

№ дії	Етапи	Результати
4	Визначення коефіцієнтів факторів впливу	Тмпературний (π_t), навколишнього середовища (π_e), якості (π_Q), навантаження (π_s) та інші
5	Обчислення сумарної інтенсивності відмов	$\lambda_{\text{сист}}$

Приклад розрахунку:

Варіант застосування методики: Об’єкт: Радіостанція із трьома РЕК одного типу: мікросхеми (IC) CMOS цифрова мікросхем з 100 вентилями (Gates) і найвищим рівнем якості з типом корпусу – керамічний CDIP-24, резистор (R) ER металоплівковий резистор Style RNR з номінальною потужністю 0.125 Вт або 0.25 Вт, конденсатора (C) керамічного, ємністю 0,00068 мкФ з робочою напругою 21В.

Умови: температура (40°C), наземне стаціонарне середовище ($\pi_e = 1.0$), стандартна якість ($\pi_Q = 1.0$), теплові коефіцієнти (π_t) для даного випадку різні.

Дані з довідника MIL-HDBK-217:

IC: $\lambda_{IC} = 0.002$ відмови / 10^{-6} год, $\pi_t = 1.5$.

R: $\lambda_R = 0.0001$ відмови / 10^{-6} год, $\pi_t = 1.0$.

C: $\lambda_C = 0.00036$ відмови / 10^{-6} год, $\pi_t = 1.2$.

Розрахунок інтенсивності відмов для РЕК:

$\lambda_{IC} = 0.002 \times 1.0 \times 1.0 \times 1.5 = 0.003$ відмови / 10^{-6} год.

$\lambda_R = 0.0001 \times 1.0 \times 1.0 \times 1.0 = 0.0001$ відмови / 10^{-6} год.

$\lambda_C = 0.00036 \times 1.0 \times 1.0 \times 1.2 = 0.00036$ відмови / 10^{-6} год.

$\lambda_{\text{сист}} = 0.003 + 0.0001 + 0.00036 = 0.00346$ відмови / 10^{-6} год.

Аналіз чутливості: при $\pm 20\%$ зміні λ_i , $\lambda_{\text{сист}}$ варіюється від 0.00277 до 0.00415 відмови / 10^{-6} год.

На рис. 1 наведені графічні результати розрахунків інтенсивності відмов для радіоелектронних компонентів.

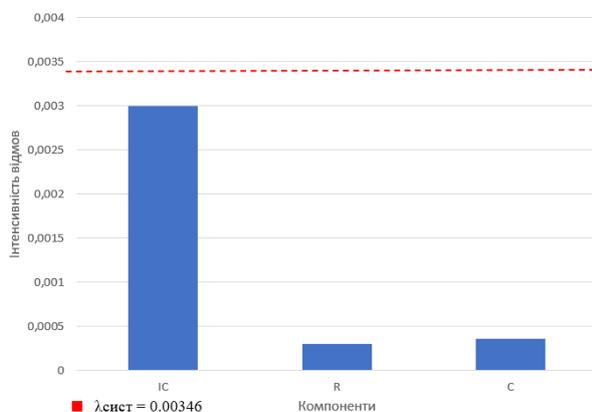


Рис. 1. Інтенсивність відмов для РЕК

Аналіз результатів

Найбільший показник відмов демонструють мікросхеми (IC) з $\lambda_{IC} 0.003$ відмови / 10^{-6} год, що становить 86,7 % від сумарної інтенсивності відмов системи. Високий температурний коефіцієнт ($\pi_t = 1,5$) дає підстави стверджувати про значний вплив температури навколишнього середовища на інтенсивність відмов мікросхем.

Резистори (R) мають $\lambda_R = 0.0001$ відмови / 10^{-6} найнижчу інтенсивність відмов, що становить 2,9 % від $\lambda_{\text{сист}}$. Це свідчить про їхню високу надійність і низьку чутливість до температурних умов.

Конденсатори (C) мають незначно більший показник інтенсивності відмов від резисторів $\lambda_C = 0.00036$ відмови / 10^{-6} год, приблизно 10,4 % від $\lambda_{\text{сист}}$, і має трохи більшу чутливість до температурного фактору ($\pi_t = 1,2$).

Сумарна інтенсивність відмов $\lambda_{\text{сист}} = 0.00346$ відмови / 10^{-6} год, що становить 3.46 відмови на мільйон годин роботи.

Висновки

Запропонована методика оцінювання інтенсивності відмов на основі довідкових даних є ефективним інструментом для роботи в умовах обмеженої вхідної інформації про об’єкт контролю. Вона дає змогу визначати інтенсивність відмов РЕК та системи в цілому, що забезпечує можливість прогнозування часу безвідмовної роботи.

Практична цінність методики підтверджується її придатністю для сектору безпеки та оборони України, де постачання обладнання без документації є поширеним явищем.

Дослідження показало, що довідник MIL-HDBK-217 є дієвим інструментом, який можна застосовувати для розрахунку інтенсивності відмов радіоелектронного обладнання як військового призначення, так і подвійного використання.

Подальші дослідження можуть бути спрямовані на автоматизацію опрацювання довідкових даних щодо РЕК та розроблення інженерних методик, які визначатимуть окремі показники надійності. Перспективним є також створення комплексної методики, яка узагальнюватиме показники надійності з різних інженерних підходів і дозволить формувати інтегральну оцінку загальної надійності об’єкта контролю.

ЛІТЕРАТУРА

- [1] In Rush to Arm Ukraine, Weapons Are Bought but Not Delivered, or Too Broken to Use. The New York Times. 2023. June 19. URL: <https://www.nytimes.com/2023/06/19/world/europe/ukraine-weapons-howitzers-contracts.html> (access data 25.08.2025)
- [2] Частина переданої Україні зброї непридатна, а частина сплаченої взагалі не надійшла. ТСН. 2023. 20 черв. URL: <https://tsn.ua/zbroya/chastina-peredanoyi-ukrayini-zbroyi-nepriyatna-a-chastina-oplachenoyi-vzagali-ne-nadiyshla-nyt-2353324.html> (дата звернення 25.08.2025)
- [3] Надійність техніки. Методи оцінки показників надійності за експериментальними даними: ДСТУ 3004:95. [Чинний від 1995-01-25]. Київ: Держстандарт України, 1994. 124 с. (Державний стандарт України).
- [4] Кузавков В. В., Михайлюк С. С., Погребняк С. В. Аналіз параметрів надійності об'єктів радіоелектронної техніки з надлишковістю. *Системи і технології зв'язку, інформатизації та кібербезпеки*. № 2 (2). 2022. С. 15–20. DOI: 10.58254/viti.2.2022.02.15
- [5] Solomentsev O., Zaliskyi M., Herasymenko T., Kozhokhina O., Petrova Y.: Data processing in case of radio equipment reliability parameters monitoring. In: 2018 Advances in Wireless and Optical Communications (RTUWO), pp. 219–222. IEEE, Riga, Latvia (2018). DOI: 10.1109/RTUWO.2018.8587882.
- [6] Надійність техніки. Моделі відмов: ДСТУ 3433:96 [Чинний від 1997-12-05]. Київ: Держстандарт України, 1996. 46 с.
- [7] Василюшин В. І. Основи теорії надійності та експлуатації радіоелектронних систем. Харків: ХНУПС, 2018. 268 с.
- [8] Уваров Б. М. Автоматизація визначення показників механічної витривалості, теплових режимів та надійності радіоелектронних апаратів. Київ: НТУУ «КПІ», 2015. 111 с.
- [9] Коренівська О. Л., Бенедицький В. Б. Надійність, експлуатація та ремонт радіоелектронної та телекомунікаційної техніки: навчальний посібник. Житомир: Житомирська політехніка, 2020. 185 с.
- [10] Li Y. «Deep learning based prognostics and health management for electronic devices: A review». *Applied Sciences*. 2020. Vol. 10. No. 17. pp. 5898.
- [11] Pankratova N., Nedashkovskaya N. Methods of evaluation and improvement of consistency of expert pairwise comparison judgments. *International Journal «Information Theories and Applications»*. Vol. 22. № 3. 2015. P. 203–223.
- [12] MIL-HDBK-217F. Reliability Prediction of Electronic Equipment: A Practical Guide. U.S. Department of Defense. URL: <https://www.quantarion.com/wp-content/uploads/2014/09/MIL-HDBK-217F.pdf?srsid=Afm-BOopru1lslzIXX9JJ3kmQaLbhRJCjpTwm-aqE6lnWuEiPXE9dgW1I> (access data 25.08.2025).
- [13] Telcordia Technologies, Inc., SR-332, Reliability Prediction Procedure for Electronic Equipment, Issue 4. Morristown, NJ, USA: Telcordia Technologies, Inc., 2011.
- [14] International Electrotechnical Commission, IEC 62380:2004, Reliability data handbook – Universal model for reliability prediction of electronics components, PCBs and equipment. Geneva, Switzerland: IEC, 2004.

Кузавков В. В., Ланко А. В.

МЕТОДИКА ОЦІНКИ ІНТЕНСИВНОСТІ ВІДМОВ РАДІОЕЛЕКТРОННОГО ОБЛАДНАННЯ НА ОСНОВІ ДОВІДКОВИХ ДАНИХ

Зазвичай, показники надійності радіоелектронного обладнання (ймовірність безвідмовної роботи, середній наробіток до відмови, інтенсивність відмов та коефіцієнт готовності) оцінюються через тести чи статистичний аналіз. Однак, у сучасних умовах застосування у військах технічних систем подвійного призначення іноземного виробництва з обмеженим обсягом вхідної інформації якісно оцінити ступінь їхньої надійності неможливо. У статті запропоновано методику оцінювання одного з показників надійності зразків радіоелектронного озброєння – інтенсивності відмов на основі довідкових даних. Актуальність роботи зумовлена широким використанням у військах технічних систем іноземного виробництва та зразків подвійного призначення. Для таких систем характерні такі ознаки: тривале зберігання на складах; обмежений обсяг технічної документації; відсутність систем контролю технічного стану та методики його визначення. Крім того, в більшості випадків, виробник не дозволяє здійснювати ремонт такого обладнання на території іншої держави. Тому користувачі обладнання (обслуговуючий персонал, інженерно-технічний склад) змушені шукати способи інтеграції отриманих зразків в існуючу систему технічного обслуговування та ремонту, а також підходи надійності устаткування.

Запропонований у роботі підхід дає можливість отримати значення показника інтенсивності відмов (як одного з ключових показників надійності), що характеризує властивість безвідмовності радіоелектронного обладнання. Методика знижує рівень суб'єктивності під час оцінювання ступеня надійності ОК та придатна для обладнання іноземного походження, яке надходить без інформації про умови виготовлення та випробувань.

Отримані результати можуть використовуватись у секторі безпеки та оборони України для інтеграції радіоелектронного обладнання в прийняту на озброєння систему технічного обслуговування та ремонту.

Наведено приклад розрахунку інтенсивності відмов умовного радіоелектронного обладнання, що містить радіоелектронні компоненти різних типів (мікросхеми, резистори, конденсатори) на основі довідника MIL-HDBK-217, а також проаналізовано його переваги над іншими довідниками.

Ключові слова: надійність; інженерна методика; радіоелектронне обладнання; показники надійності; інтенсивність відмов; безвідмовна робота.

Kuzavkov V., Lanko A.

METHOD OF EVALUATING RADIO-ELECTRONIC EQUIPMENT FAILURE RATES USING REFERENCE DATA

Reliability indicators of radio-electronic equipment (probability of failure-free operation, mean time to failure, failure rate, and availability factor) are typically evaluated through tests or statistical analysis. However, under current conditions, when foreign-made dual-use technical systems with limited input information are used by the armed forces, it's impossible to properly assess their reliability. This article proposes a method for evaluating one of the reliability indicators of radio-electronic armament samples—the failure rate—based on reference data.

The relevance of the work is due to the widespread use of foreign-made technical systems and dual-use samples in the armed forces. Such systems have the following characteristics: they have been stored in warehouses for a long time; they come with limited technical documentation; and there is a lack of technical condition monitoring systems and evaluation methods. Moreover, in most cases, the manufacturer of such systems does not permit repairs to be carried out on the territory of another country. Therefore, the equipment user (maintenance personnel, engineering and technical staff) is forced to find ways to integrate the received equipment into the existing maintenance and repair system and to find ways to assess its reliability.

The approach proposed in this work allows for obtaining a value for the failure rate (as one of the reliability indicators), which characterizes the failure-free property of radio-electronic equipment. The method helps to reduce the subjectivity of the reliability assessments obtained and is suitable for foreign-origin equipment supplied without information on manufacturing and testing conditions. The results can be applied in Ukraine's security and defense sector to integrate radio-electronic equipment into the adopted maintenance and repair system.

An example is provided for calculating the failure rate of a hypothetical radio-electronic equipment unit containing various types of radio-electronic components (integrated circuits, resistors, capacitors) based on the MIL-HDBK-217 handbook.

Keywords: reliability, engineering methodology, radio-electronic equipment, reliability indicators, failure rate, failure-free operation.

Стаття надійшла до редакції 23.08.2025 р.

Прийнято до друку 10.12.2025 р.