

УДК 623.396

DOI: <https://doi.org/10.33577/2312-4458.20.2019.33-41>Л.М. Сакович¹, Є.В. Рижов², Я.Е. Небесна¹, С.В. Вовк³

¹ Інститут спеціального зв'язку та захисту інформації Національного технічного університету України "Київський політехнічний інститут" імені Ігоря Сікорського, Київ

² Національна академія сухопутних військ імені гетьмана Петра Сагайдачного, Львів

³ В/ч А2600, смт Старичі

МОДЕЛЬ КІЛЬКІСНОЇ ОЦІНКИ ЗНАЧЕНЬ ПОКАЗНИКІВ НАДІЙНОСТІ РАДІОСТАНЦІЙ ТАКТИЧНОЇ ЛАНКИ УПРАВЛІННЯ

У статті вперше запропонований підхід до підвищення точності кількісної оцінки показників надійності радіоелектронних засобів зі змінною структурою, які працюють в різноманітних режимах роботи з використанням окремих сукупностей елементів в кожному з них. У відомих роботах цю обставину не враховують і показники надійності виробу оцінюють в припущенні, що всі елементи працюють одночасно, що веде до зниження розрахункового значення наробітку на відмову. Завдання вирішується впровадженням коефіцієнта використання кожного конструктивного елементу виробу в усіх можливих режимах роботи. Приведено приклад використання отриманих результатів для кількісної оцінки наробітку на відмову радіостанції і показано ефект від уточнення розрахунків.

Надійність радіоелектронних засобів кількісно оцінюють показниками, головними з яких є наробіток виробу на відмову і середній час його відновлення. Вони визначають комплексний показник надійності – коефіцієнт готовності. Зниження розрахункового значення наробітку на відмову вимагає для забезпечення його потрібного значення використання більш надійної елементної бази, що веде до збільшення вартості виробу в цілому

В статті вперше отримана математична модель оцінки показників надійності, що враховує час роботи виробу в кожному із можливих режимів, а під час розрахунку показника ремонтпридатності враховано метрологічну надійність засобів вимірювальної техніки, які використовують в процесі діагностування при поточному ремонті радіостанцій.

Запропоновану модель оцінки значень показників надійності об'єктів зі змінною структурою доцільно використовувати на етапі проектування сучасних радіоелектронних засобів. Ефект від її впровадження полягає в забезпеченні заданих значень показників надійності багаторежимних радіоелектронних засобів при їх мінімальній вартості.

Ключові слова: радіоелектронні засоби зі змінною структурою, оцінка показників надійності, наробіток на відмову, середній час відновлення.

Постановка проблеми та аналіз останніх досліджень і публікацій

Радіоелектронні засоби (РЕЗ) різноманітного призначення безперервно розвиваються і удосконалюються в напрямку покращення показників якості відповідно до вимог споживачів за рахунок впровадження нових схемних і конструктивних рішень, а також використання сучасної елементної бази [1, 2]. Це викликає відповідне ускладнення виробів, яке не веде до покращення значень показників їх надійності. Тому питання забезпечення необхідного рівня надійності сучасних РЕЗ дуже важливе як для виробників, так і для споживачів.

Відомі методи забезпечення необхідних значень показників надійності РЕЗ за рахунок

резервування найменш надійних конструктивних одиниць, що збільшує їх вартість та масогабаритні показники, а також обсяг ЗІП для реалізації поточного ремонту агрегатним методом [3, 4]. Також досліджуються напрямки автоматизації розрахунків показників надійності РЕЗ та їх зміни з часом [5].

Перспективним напрямком розвитку РЕЗ в галузі зв'язку є впровадження програмно-керованих засобів [1, 2], якість програмного забезпечення яких також впливає на надійність окремих виробів і систем зв'язку в цілому [6].

На значення комплексного показника надійності РЕЗ – їх коефіцієнта готовності – суттєво впливає не тільки наробіток на відмову, а і середній час відновлення [7, 8], тому в спеціальній технічній літературі [9, 10], науково-дослідних і

дисертаційних роботах приділяється увага підвищенню якості діагностичного забезпечення ремонту. Але під час кількісної оцінки значень показників надійності РЕЗ, які визначаються завданнями на проектування, не враховують властивість багаторежимності, що веде до зміни структури об'єктів під час їх використання за призначенням.

У даний час відсутні не тільки інженерні методи, але й теоретичні розробки аналізу надійності технічних систем зі змінною структурою, яка обумовлена її багатофункціональністю та багаторежимністю, коли в окремих режимах роботи використовують відповідні сукупності елементів [4, 11]. Властивості багаторежимності використовують під час розробки діагностичного забезпечення [9, 10], але при оцінці надійності традиційно вважають, що всі елементи об'єкта працюють одночасно [7, 12], що суттєво занижує значення наробітку на відмову.

Сьогодні в сучасних вітчизняних і зарубіжних публікаціях з актуальних питань надійності складних технічних об'єктів і систем розглянуто окремі напрями підвищення значень показників їх надійності [13–17]. Але в цих виданнях зовсім не розглядаються питання комплексного врахування надійності окремих складових програмнокерованих багаторежимних засобів зв'язку зі змінною структурою під час оцінки їх показників як в процесі проектування, так і уточнення при дослідній експлуатації.

Мета статті – підвищення точності кількісної оцінки показників надійності радіоелектронних засобів зі змінною структурою за рахунок використання нової моделі, яка враховує час роботи окремих елементів об'єкта в різноманітних режимах роботи та підвищує точність розрахунків з урахуванням особливостей побудови і використання за призначенням цих об'єктів, до яких відносяться радіостанції тактичної ланки управління.

Виклад основного матеріалу

Завданням на розробку нормуються значення наробітку на відмову та середнього часу відновлення існуючих, які модернізуються, та перспективних зразків багаторежимних РЕЗ. Тому під час проектування обов'язково виконують розрахунок надійності з кількісною оцінкою всіх показників надійності, які потім перевіряють під час дослідної експлуатації.

Засоби зв'язку відносяться до класу об'єктів зі змінною структурою, які можуть бути одно і багатофункціональними, багаторежимними з фіксованою або довільною зміною режимів роботи.

Наприклад, радіостанція працює в режимі “прийом” або “передача”, причому порядок зміни режимів роботи не фіксований. Система управління функціонуванням радіопередавача великої

потужності послідовно в фіксованому порядку змінює кількість елементів в міру включення (ввід, охолодження, розжарювання, зміщення, висока напруга).

Для моделювання цих об'єктів використовують відомий математичний апарат теорії множин [3, 10, 11], але тільки під час розробки діагностичного забезпечення. Теоретико-множинні моделі дозволяють оцінити потужності множин елементів, які використовують в окремих режимах роботи, а також їх взаємозв'язок.

Наприклад, при фіксованій зміні режимів доцільно застосувати модель типу “гірлянда”, коли з кожним кроком кількість задіяних елементів об'єкта збільшується. Це веде до зниження напрацювання на відмову і збільшення середнього часу відновлення, що погіршує значення комплексного показника надійності – коефіцієнта готовності об'єкта.

При довільній зміні режимів роботи радіоприймача або радіостанції доцільно використовувати теоретико-множинну модель із перетинами підмножин елементів, які мають ядро (наприклад, підсилювачі, електроживлення або генераторне обладнання). У цьому разі на надійність окремих підмножин елементів суттєво впливає час їх роботи в заданому режимі (наприклад, час роботи радіостанції в режимі “прийом” в рази більший, ніж “передача”), тобто технічний ресурс елементів витрачається нерівномірно.

Для врахування цієї обставини пропонується застосовувати коефіцієнт використання за призначенням кожної підмножини елементів в можливих режимах роботи виробу, який розраховують як відношення часу роботи підмножини елементів до загального часу роботи виробу в усіх можливих режимах. Його значення можливо кількісно оцінити з аналізу використання засобів зв'язку, що відображено в апаратних журналах вузлів зв'язку.

Очевидно, чим більше кількість можливих режимів роботи виробу, тим точніше оцінка значення наробітку на відмову з врахуванням властивості багаторежимності. Проте це потребує додаткових вихідних даних за прогнозований час роботи виробу в кожному режимі.

Сьогодні при проектуванні нових або модернізації існуючих засобів РЕЗ і засобів спеціального зв'язку виконують орієнтовний та уточнений розрахунок показників надійності [3, 4].

В першому випадку усі елементи виробу поділяють на групи (резистори, конденсатори, транзистори, діоди, мікросхеми тощо) з приблизно однаковим значенням інтенсивності відмов, причому розглядають як мінімальні, так і максимальні значення, що отримані з довідників. Потім перемножують кількість елементів кожної

групи на граничні значення інтенсивності відмов і сумують результати. Таким чином отримують граничні значення параметра потоку відмов виробу і розраховують значення наробітку на відмову. Якщо необхідне значення попадає у ці межі, то виконують уточнений розрахунок надійності. Якщо ні, то потрібно змінити елементи на більш надійні і повторити розрахунок. Тут і далі під вибором розуміють радіостанції тактичної ланки управління.

При уточненому розрахунку надійності використовують середні значення інтенсивності відмов кожного елемента з врахуванням коефіцієнта його електричного навантаження, а також кліматичних умов (температура, вологість, тиск) та механічного навантаження (вібрації, удари) залежно від умов подальшої експлуатації виробів.

В обох випадках не враховують час роботи елементів в окремих режимах (T_{pi}), що занижує реальне значення наробітку на відмову [3-8] РЕЗ в цілому.

Наробіток на відмову РЕЗ в цілому (T) залежить від цього показника для окремих частин виробу, які використовують в різноманітних режимах роботи (T_i), який, в свою чергу, визначається параметром потоку відмов цієї підмножини елементів (Z_i) [5, 7, 12]

$$T_i = 1/Z_i.$$

Властивість багаторежимності РЕЗ враховується введенням коефіцієнта використання окремих сукупностей елементів залежно від відносного часу їх роботи (T_{pi})

$$u_i = T_{pi}/T_p; i = \overline{1, n};$$

де n – кількість підмножин елементів РЕЗ, що використовують в різноманітних режимах;

T_p – загальний час роботи РЕЗ.

В такому разі загальна кількість відмов виробу за час T_p складає

$$N = \sum_{i=1}^n \frac{T_{pi}}{T_i} = T_i \sum_{i=1}^n u_i Z_i,$$

а параметр потоку відмов РЕЗ в цілому дорівнює

$$T = \frac{T_p}{N} = 1 / \sum_{i=1}^n u_i Z_i = \frac{1}{Z};$$

де Z – параметр потоку відмов виробу.

Іншим показником надійності РЕЗ, що нормується і задається керівними документами, є середній час відновлення T_B . Він залежить від кваліфікації виконавців (t – середній час виконання

перевірки параметра, t_y – середній час усунення несправності), якості метрологічного та діагностичного забезпечення [8-12], потужності підмножин елементів, що використовують в окремих режимах роботи виробу, та ймовірності їх відмови.

При пошуку дефектів під час поточного ремонту за програмами, побудованими на основі використання умовних алгоритмів мінімальної форми, середня кількість перевірок [9, 10]

$$K_i = \log_2 L_i; i = \overline{1, n};$$

де K_i – середня кількість перевірок для пошуку дефектів в підмножині елементів L_i , серед яких необхідно визначити несправний.

Середня кількість перевірок при поточному ремонті виробу в цілому

$$K = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \log_2 L_i.$$

При цьому загальна кількість елементів РЕЗ

$$L = \sum_{i=1}^n L_i$$

за умови, що елементи підмножин використовуються тільки в окремих режимах роботи.

Ймовірність відмови виробу в наслідок появи дефекту серед елементів L_i дорівнює

$$\frac{N_i}{N} = \frac{T_{pi}}{T_i T_p \sum_{i=1}^n u_i Z_i} = \frac{u_i T_p}{Z_i T_p Z} = \frac{u_i Z_i}{Z},$$

при цьому

$$T \sum_{i=1}^n Z_i u_i = 1.$$

Середній час відновлення виробу – дискретна випадкова величина, математичне сподівання якої є сума добутків її можливих значень (K_i) на ймовірність їх появи ($u_i Z_i / Z$) [18]. Тоді розрахунковий час відновлення РЕЗ (без врахування метрологічної надійності засобів вимірювань) дорівнює

$$T_{BP} = t_y + \frac{t}{Z} \sum_{i=1}^n u_i Z_i \log_2 L_i.$$

В такому разі комплексний показник надійності виробу, коефіцієнт готовності, дорівнює

$$A = \frac{T}{T + T_{BP}} = 1 / \left[1 + t \sum_{i=1}^n u_i Z_i \log_2 L_i + t_y \sum_{i=1}^n u_i Z_i \right],$$

а коефіцієнт неготовності $U = 1 - A$.

Цей вираз не враховує ймовірність правильної постановки діагнозу $P = p^K$,

де p – ймовірність правильної оцінки результату виконання перевірки параметра РЕЗ, а також метрологічну надійність засобів вимірювань $P(\tau)$, τ – період перевірки засобів вимірювань [19, 20].

Таким чином, цільова функція досліджень – мінімізація значення комплексного показника надійності виробу – коефіцієнта неготовності при обмеженнях на припустимі значення наробітку на відмову (T_d) і середнього часу відновлення ($T_{вд}$), що визначаються керівними документами, при заданому режимі експлуатації (T_{pi}, u_i) приймає вигляд:

$$U(x) = \min U(x^*); x^* \in \Delta; x = (L_i, u_i, T_{pi}, Z_i, n, p, t, t_y, P(\tau), T, T_{вд});$$

$$T(T_{pi}, u_i, Z_i, n) \geq T_d; T_{вд}(t, t_y, K, p, P(\tau)) \leq T_{вд};$$

де x – параметри, що впливають на надійність виробу;

x^* – їх значення при рішення завдання;

Δ – область припустимих меж зміни значень параметрів.

Групи некерованих параметрів:

L_i, n, Z_i – залежать від схеми виробу і надійності елементної бази.

Групи керованих параметрів в умовах експлуатації:

T_{pi}, u_i – залежать від режиму експлуатації виробу;

t, t_y – залежать від кваліфікації виконавців і умов відновлення працездатності;

K – залежить від якості діагностичного забезпечення і форми умовних алгоритмів пошуку дефектів;

$p, P(\tau)$ – залежать від засобів вимірювальної техніки, які використовують під час поточного ремонту для оцінки значень сигналів в контрольних точках виробу.

В такому разі в якості показника ефективності доцільно використовувати відносне зниження коефіцієнта неготовності, значення якого розраховано при використанні відомих методик [7, 12-17] (U'), в порівнянні з отриманим за пропонуваною моделлю надійності об'єктів зі змінною структурою (U)

$$\eta = 100(U' - U) / U' \%.$$

Отримані результати зібрані в табл. 1, яка є математичною моделлю оцінки значень показників надійності радіоелектронних засобів зі змінною структурою.

Запропонована модель відрізняється від відомих врахуванням часу роботи виробу в окремих режимах, ймовірністю відмови в кожному режимі роботи і метрологічної надійності засобів вимірювальної техніки.

Адекватність моделі підтверджується тим, що отримані формули правого стовпця табл. 1 при $u_i = 1$ і $P(\tau) = 1$ без врахування ймовірності відмови підмножин елементів L_i перетворюються у вирази, які приведено в лівому стовпчику таблиці 1.

Розглянемо порядок використання отриманих результатів на прикладі оцінки значень показників надійності радіостанції п'ятого покоління [21]. Теоретико-множинну модель радіостанції приведено на рис. 1, де M_1 – множина елементів, що використовують в режимі «передача», M_2 – в режимі «прийм» M_{12} – ядро, що використовують в обох режимах роботи (підсистеми електроживлення, управління і функціонування, генераторне обладнання, антена).

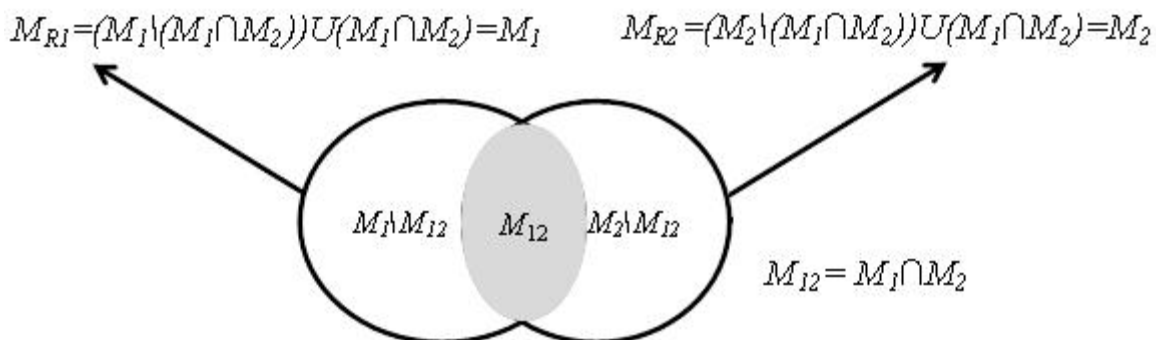


Рис. 1. Теоретико-множинна модель радіостанції тактичної ланки управління

Загальна кількість елементів радіостанції складає $L = 4096$, з яких в обох режимах використовується загальна кількість $L_3 = 512$

елементів, в режимі «прийому» $L_2 = 3072$ елемента і в режимі «передача» $L_1 = 1024$ елемента. При цьому $Z_1 = 307 \cdot 10^{-6} \text{ год}^{-1}$, $Z_2 = 532 \cdot 10^{-6} \text{ год}^{-2}$, $Z_3 = 154 \cdot 10^{-6} \text{ год}^{-1}$.

Без врахування властивостей багаторежимності отримаємо ($n=3$)

$$Z' = \sum_{i=1}^3 Z_i = 993 * 10^{-6} \text{ год}^{-1},$$

наробіток на відмову дорівнює $T' = 1007 \text{ год}$. Під час поточного ремонту радіостанції використовують засоби вимірювальної техніки з метрологічними характеристиками $p=0,997$ і $P(\tau)=0,96$ [19, 20]. Якщо під час поточного ремонту застосовують умовні алгоритми діагностування, то $K=8,86$. Вважаючи,

що кваліфікація фахівців забезпечує $t=3, 5$ хв і $t_y=8$ хв отримуємо середній час відновлення $T'_B = 43 \text{ хв}$. Ці показники повністю відповідають вимогам щодо надійності аналогічних об'єктів $T_{д} \geq 1000$ год. $iT_{дв} \leq 60 \text{ хв}$, при цьому $A'=0,9993$ ($U'=0,0007$).

Результати обчислень для тих самих вихідних даних за алгоритмом рис. 2 з використанням математичної моделі надійності табл. 1 при врахуванні властивості радіостанції роботи в двох режимах залежно від співвідношення часу роботи на "прийом" або "передачу" та керованих змінних наведено на рис. 3, 4.

Таблиця 1

Математична модель оцінки значень показників надійності радіоелектронних засобів зі змінною структурою

Показник	Функціональні залежності	
	Без врахування багаторежимності	З врахуванням багаторежимності
Параметр потоку відмов	$Z' = \sum_{i=1}^n Z_i$	$Z = \sum_{i=1}^n u_i Z_i$
Наробіток на відмову	$T' = 1/Z'$	$T = 1/Z$
Загальна кількість відмов за час T_p	$N' = T_p \sum_{i=1}^n Z_i$	$N = T_p \sum_{i=1}^n u_i Z_i$
Розрахунковий середній час відновлення	$T'_{BP} = t_y + \frac{t}{n} \sum_{i=1}^n \log_2 L_i$	$T_{BP} = t_y + \sum_{i=1}^n u_i Z_i \log_2 L_i$
Середня кількість перевірок	$K = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \log_2 L_i$	
Ймовірність правильної постановки діагнозу	$P = p^K$	
Середній час відновлення	$T'_B = \frac{T'_{BP}}{P}$	$T_B = \frac{T_{BP}}{P * P(\tau)}$
Коефіцієнт готовності виробу	$A' = \frac{T'}{T' + T'_B}$	$A = \frac{T}{T + T_B}$
Коефіцієнт неготовності виробу	$U' = \frac{T'_B}{T' + T'_B}$	$U = \frac{T_B}{T + T_B}$
Ефект від використання моделі	$\eta = \frac{U' - U}{U'} 100\%$	

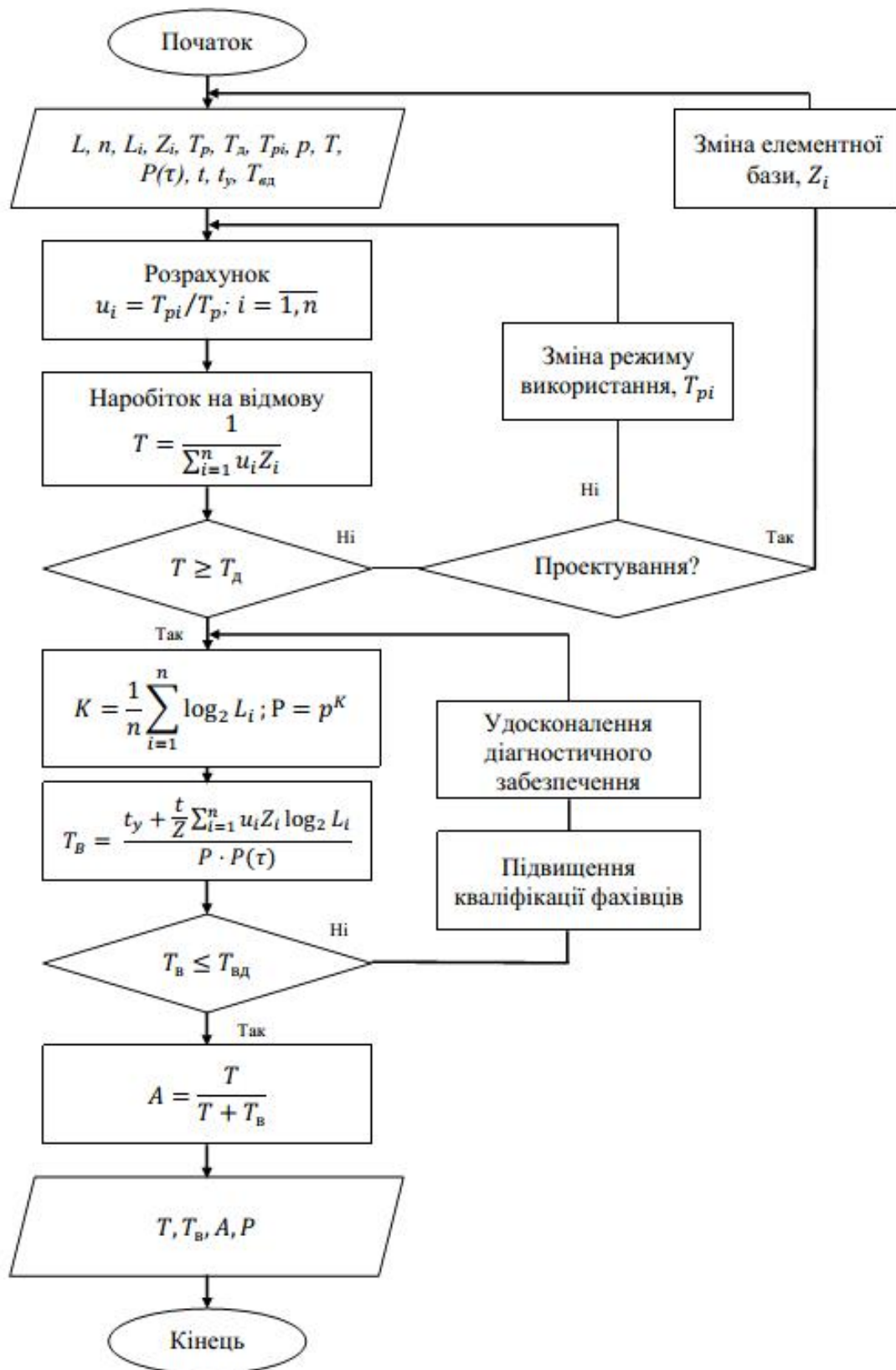


Рис. 2. Блок-схема алгоритму реалізації методу оцінки значень показників надійності об'єктів зі змінною структурою

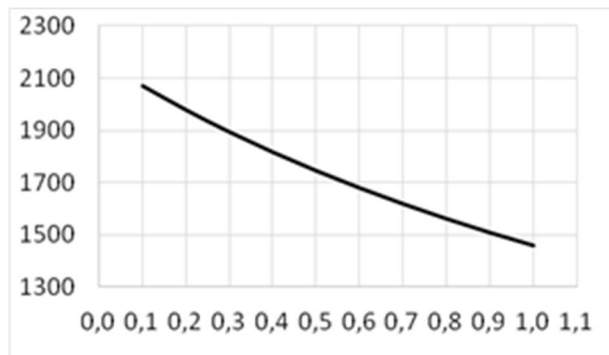


Рис. 3. Залежність наробітку на відмову радіостанції від відносного часу роботи в режимі «прийом»

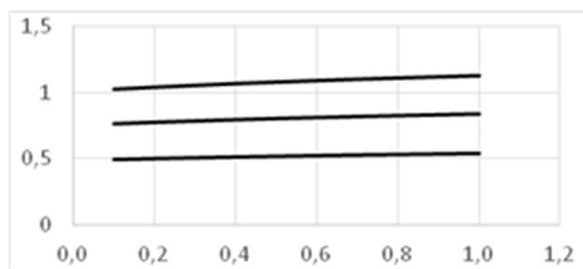


Рис. 4. Залежність середнього часу відновлення радіостанції від відносного часу роботи в режимі «прийом»

Аналіз отриманих залежностей показує, що зі збільшенням відносного часу роботи радіостанції в режимі «прийом»:

наробіток на відмову зменшується, оскільки в цьому режимі використовується більшість елементів радіостанції (рис. 3);

середній час відновлення також не суттєво збільшується оскільки зростає значення імовірності відмови в прийомній частині радіостанції, при чому ця закономірність зберігається в будь-якому часі виконання перевірки t (рис. 4);

внаслідок зменшення значення наробітку на відмову T і збільшення середнього часу відновлення T_v також зменшується комплексний показник надійності – коефіцієнт готовності A та, відповідно, зростає значення коефіцієнта неготовності U ;

при збільшенні метрологічної надійності $P(\tau)$ засобів вимірювань параметрів радіостанції на 6,7% значення коефіцієнта неготовності зменшується всього на 6,5%;

при скороченні середнього часу усунення несправності на 50% (з 10 до 5 хв) значення коефіцієнта неготовності зменшується всього на 11,2%;

при збільшенні значення ймовірності правильної оцінки результату виконання перевірки на 5,9% (з 0,941 до 0,997) значення коефіцієнта неготовності зменшується на 63,5%;

вказані тенденції зберігаються при будь-яких значеннях середнього часу виконання перевірки t , при чому його скорочення за рахунок підвищення

кваліфікації виконавців та удосконалення діагностичного забезпечення (вибір перевірок з меншими працевитратами) веде до підвищення коефіцієнта готовності (A).

Проведений аналіз показує, що найбільший ефект в підвищенні показників надійності досягається удосконаленням діагностичного і метрологічного забезпечення поточного ремонту радіостанції.

Порівняння результатів з прототипом (розрахунок аналогічних показників без врахування багаторежимності радіостанції) показує, що при 90% часу роботи радіостанції в режимі «прийом» ($u_2=0,9$), що найчастіше має місце на практиці, маємо уточнення часу наробітку на відмову на 33% ($T=1507$ год.), середнього часу відновлення на 14% ($T_v=50$ хв) і зниження коефіцієнта неготовності на 28% ($U=0,000548$).

Тобто, можливо було використовувати елементи меншої вартості для забезпечення необхідних вимог щодо надійності радіостанції під час її проектування і виробництва.

Висновки

Традиційна оцінка наробітку на відмову технічних об'єктів без врахування їх багаторежимності занижує значення цього показника надійності. Тобто, якщо воно задовольняє вимогам, то реальне значення наробітку на відмову буде більше, що впливає на вартість виробу. Врахування властивості багаторежимності радіоелектронних засобів дозволяє уточнити значення наробітку на відмову і середнього часу відновлення: існуючі моделі занижують значення наробітку на відмову та середній час відновлення.

Використання запропонованої моделі кількісної оцінки значень показників надійності радіоелектронних засобів зі змінною структурою дозволяє знизити вартість виробів при забезпеченні необхідних значень наробітку на відмову і середнього часу відновлення за рахунок зниження вимог до надійності елементної бази.

Отримані результати доцільно використовувати під час проектування перспективних засобів зв'язку при оцінці їх наробітку на відмову, що дозволить зменшити вартість виробів за рахунок раціонального вибору елементів багаторежимних об'єктів РЕЗ.

Подальші дослідження слід направити на розробку методу оцінки значень показників надійності об'єктів зі змінною структурою з використанням отриманої моделі, а також на оцінку показників надійності систем в цілому з їх використанням [22, 23].

Список літератури

1. Лаврут О.О. Стан та перспективи застосування сучасних технологій та засобів радіозв'язку в Збройних Силах України / О.О. Лаврут, О.К. Климович,

М.Л. Тарасюк, О.Л. Антонюк // Системи озброєння та військова техніка. – Х.: ХНУПС, 2017. – Вип. 1 (49). – С. 42–49.

2. Лаврут О.О. Новітні технології та засоби зв'язку у Збройних Силах України: шлях трансформації та перспективи розвитку / О.О. Лаврут, О.К. Климович, Т.В. Лаврут, Ю.М. Здоренко // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. – Х., 2019. – Вип. 1 (34). 91–101. <http://dx.doi.org/10.30748/nips.2019.34.13>.

3. Острейковский В.А. Теория надежности / В.А. Острейковский. – М.: Высш.шк., 2003. – 463 с.

4. Половко А.М. Основы теории надежности / А.М. Половко, С.В. Гуров. – СПб.: БХВ Петербург, 2006. – 704 с.

5. Бобало Ю.Я. Математичні моделі та методи аналізу надійності радіоелектронних, електротехнічних та програмних систем / Ю.Я. Бобало, Б.Ю. Волощій, О.Ю. Лозинський та ін. – Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2003. – 300 с.

6. Гнатюк С.Є. Показники надійності систем спеціального зв'язку / С.Є. Гнатюк. – Спеціальні телекомунікаційні системи та захист інформації // Зб. наук. праць. Вип. 1 (25). – К.: Держспецзв'язок, 2014. – С. 73 – 79.

7. Хабаров Б.П. Техническая диагностика и ремонт бытовой радиоэлектронной аппаратуры // Б.П. Хабаров, Г.В. Куликов, А.А. Парамонов. – М.: Горячая линия – Телеком, 2004. – 376 с.

8. ДСТУ 2860-94. Надійність техніки. Терміни і визначення. Чинний від 1996.01.01. – К.: Держстандарт України, 1995. – 89 с.

9. Ксенз С.П. Теоретические и прикладные задачи диагностирования средств связи и автоматизации / С.П. Ксенз, А.А. Вольнский, Л.Н. Сакович и другие. – Л.: ВАС, 1990. – 336 с.

10. Ксенз С.П. Борьба с диагностическими ошибками при техническом обслуживании и ремонте систем управления, связи и навигации / С.П. Ксенз, М.И. Полторжницкий, С.П. Алексеев, В.В. Минеев. – СПб.: ВАС, 2010. – 240 с.

11. Сакович Л.М. Оцінка надійності технічних об'єктів зі змінною структурою / Л.М. Сакович, Я.Е. Небесна / XXII всеукраїнська науково-практична конференція. Тези доповідей. – Житомир, ЖВІ ім. С.П.Корольова, 2018. – С.201–203.

12. Василюшин В.І. Основы теории надійності та експлуатації радіоелектронних систем / В.І. Василюшин, С.В. Женжера, О.В. Чечуй, А.П. Глушко. – Х.: ХНУПС, 2018. – 268 с.

13. Military handbook: reliability prediction of electronic equipment, MIL-HDBK-217F, (02-Dec-1991). 150 p.

14. Kharchenko V.A. (2015). “Problems of reliability of electronic components”, *Modern Electronic Materials, Volume 1, Issue 3*, pp. 88 – 92. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.moem.2016.03.002>.

15. Villanueva Ignacio, Lázaro Isidro, Anzures Juan. (2012). “Reliability analysis of LED-based electronic devices”, *Procedia Engineering, Volume 35, 2012*, pp. 260 – 269. DOI: 10.1016/j.proeng.2012.04.189.

16. M. Catelani, L. Ciani (2012). “Experimental tests and reliability assessment of electronic ballast system”, *Microelectronics Reliability, Volume 52, Issues 9–10*, pp. 1833 – 1836. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.microrel.2012.06.077>.

17. Yi Wan, Hailong Huang, Diganta Das, Michael Pecht (2016). “Thermal reliability prediction and analysis for high-density electronic systems based on the Markov process”, *Microelectronics Reliability, Volume 56*, pp. 182 – 188. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.microrel.2015.10.006>.

18. Вентцель Е.С. Теория вероятностей. – М.: Высш.шк., 2002. – 575 с.

19. Кононов В.Б. Основы эксплуатации засобів вимірювальної техніки військового призначення в умовах проведення АТО / В.Б. Кононов, С.В. Водолажко, С.В. Коваль, А.М. Науменко, І.І. Кондрашова. – Х.: ХНУПС, 2017. – 288 с.

20. Сакович Л.М. Оцінка впливу метрологічної надійності засобів вимірювань на час виконання технічного обслуговування засобів спеціального зв'язку / Л.М. Сакович, Г.Я. Криховецький, Я.Е. Небесна // Системи управління, навігації та зв'язку. – Полтава: ПНТУ імені Юрія Кондратюка, № 2 (48), 2018. – С. 164–166.

21. Єрохін В.Ф. Прогнозування основних характеристик перспективних радіостанцій силових структур / В.Ф. Єрохін, В.М. Раєвський // Зв'язок. – 2005. – С. 61–64.

22. Гнатюк С.Є. Методика оцінки показників надійності систем спеціального зв'язку / С.Є. Гнатюк, Л.М. Сакович // Озброєння та військова техніка. – № 1 (5). – 2015, С. 26–28.

23. Сакович Л.М. Комплексність підходу щодо оцінювання ефективності функціонування системи зв'язку за відповідними показниками якості / Л.М. Сакович, В.П. Романенко, С.Є. Гнатюк, І.Ю. Розум // Сучасні інформаційні технології в сфері безпеки та оборони. – № 1 (31). – К.: 2018, НУОУ імені Івана Черняхівського. – С. 95 – 103.

Рецензент: доктор технічних наук, старший науковий співробітник А.М. Зубков, Національна академія сухопутних військ імені гетьмана Петра Сагайдачного, Львів.

ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ РАДИОСТАНЦИЙ ТАКТИЧЕСКОГО ЗВЕНА УПРАВЛЕНИЯ

Л.Н. Сакович, Е.В. Рыжов, Я.Э. Небесная, С.В. Вовк

В статье впервые предложен подход к повышению точности количественной оценки показателей надежности радиоэлектронных средств с переменной структурой, работающих в различных режимах работы с использованием отдельных совокупностей элементов в каждом из них. В известных работах это обстоятельство не учитывают и показатели надежности изделия оценивают в предположении, что все элементы работают одновременно, что ведет к снижению расчетного значения наработки на отказ. Задача решается внедрением коэффициента использования каждого конструктивного элемента изделия во всех возможных режимах работы. Приведено пример использования полученных результатов для количественной оценки наработки на отказ радиостанции и показан эффект от уточнения расчетов.

Надежность радиоэлектронных средств количественно оценивают показателями, главными из которых являются наработка изделия на отказ и среднее время его восстановления. Они определяют комплексный показатель надежности – коэффициент готовности. Снижение расчетного значения наработки на отказ требует для обеспечения его нужного значения использования более надежной элементной базы, что ведет к увеличению стоимости изделия в целом.

В статье впервые получена математическая модель оценки показателей надежности, учитывающая время работы изделия в каждом из возможных режимов, а при расчете показателя ремонтпригодности учтена метрологическая надежность средств измерительной техники, которые используют в процессе диагностирования при текущем ремонте радиостанций.

Предложенную модель оценки значений показателей надежности объектов с переменной структурой целесообразно использовать на этапе проектирования современных радиоэлектронных средств. Эффект от ее внедрения заключается в обеспечении заданных значений показателей надежности многорежимных радиоэлектронных средств при их минимальной стоимости.

Ключевые слова: радиоэлектронные средства с переменной структурой, оценка показателей надежности, наработка на отказ, среднее время восстановления.

ASSESSMENT OF RELIABILITY OF TACTICAL LEVEL RADIO STATIONS

L. Sakovych, Y. Ryzhov, Ya. Nebesna, S. Vovk

The article first proposed an approach to improving the accuracy of quantitative assessment of reliability indicators of radio-electronic means with a variable structure, operating in different modes of operation using separate sets of elements in each of them. In the well-known works, this circumstance is not taken into account and there liability indicators of the product are estimated under the assumption that all elements operate simultaneously, which leads to a decrease in the calculated value of mean time to failure. The problem is solved by the introduction of the utilization rate of each structural element of the product in all possible modes of operation. An example of using the obtained results for the quantitative assessment of the time to failure of a radio station is given, and the effect of clarifying the calculations is shown.

Reliability of radio-electronic means is quantitatively evaluated by indicators, the main ones being the time between products failure and the average time of its recovery. They define a comprehensive measure of reliability - availability. Reducing the calculated value of time between failures requires, to ensure its desired value, the use of more reliable components, which leads to an increase in the value of the product as a whole.

The article for the first time obtained a mathematical model for assessing reliability indicators, taking into account the product operation time in each of the possible modes, and when calculating the maintainability index, metrological reliability of measuring equipment tools that are used in the process of diagnostics during radio repair is taken into account.

The proposed model for estimating the values of reliability indicators of objects with variable structure is advisable to use at the design stage of modern radio electronic equipment. The effect of its implementation is to provide the specified values of reliability indicators of multi-mode electronic means at their minimum cost.

Keywords: radio electronic means with variable structure, evaluation of reliability indicators, time to failure, average recovery time.
