

УТОЧНЕНИЙ РОЗРАХУНОК ПОКАЗНИКІВ БЕЗВІДМОВНОСТІ СКЛАДНИХ ТЕХНІЧНИХ ОБ'ЄКТІВ З УРАХУВАННЯМ УМОВ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ТА КРАЇНИ ВИРОБНИКА ЕЛЕМЕНТНОЇ БАЗИ

У статті проведений аналіз типових задач надійності та можливість їх вирішення із застосуванням різних математичних моделей. Встановлено, що дифузні розподіли мають переваги перед іншими математичними моделями надійності. Розглянуті загальні математичні моделі визначення інтенсивності відмови невідновлювальних елементів виробництва різних країн світу. Запропонована уточнена методика розрахунку показників безвідмовності складного об'єкту (системи) або їх складових частин з урахуванням умов експлуатації даного об'єкту. В якості математичної моделі безвідмовності запропоновано використовувати дифузний немонотонний розподіл (DN–розподіл).

Ключові слова: процеси деградації, імовірність безвідмовної роботи, середній час наробітку до відмови.

Вступ. Сучасний техногенний світ висуває багато вимог щодо безпечного використання різноманітних складних технічних об'єктів, у тому числі і об'єктів критичної інфраструктури, від яких залежить життя та добробут людства. В більшості, безпечна робота таких об'єктів залежить від надійної роботи складних електронних та радіоелектронних систем. В свою чергу, надійне функціонування таких систем забезпечується якісною роботою системи технічного обслуговування і ремонту (ТОіР).

Показники надійності та вартості експлуатації об'єктів залежать від властивостей

безвідмовності та ремонтпридатності самого об'єкта, а також від параметрів системи ТОіР. Таким чином, існує загальна проблема оптимізації характеристик надійності об'єкту в цілому, а також параметрів самої системи ТОіР. Для розв'язання загальної проблеми необхідно вирішити низку часткових задач, однією з яких є розробка методики автоматичного визначення показників безвідмовності конкретного об'єкту у цілому та його складових частин. Дані показники, у подальшому, необхідні для прогнозування показників безвідмовності об'єкту в різні моменти часу його експлуатації для вибору оптимальної стратегії проведення технічного обслуговування (ТО).

Відомо, що розрахунок показників надійності спирається на певну математичну модель. З однопараметричних моделей безвідмовності, на сьогоднішній час, найбільше розповсюдження отримала модель експоненціального розподілу. З двопараметричних моделей найчастіше використовуються розподіли Вейбула та логарифмічно-нормальний розподіл, менше – нормальний, гамма та альфа розподіли. Загальноприйнято використовувати експоненціальний розподіл для рішення задач надійності електронних виробів, а зазначені двопараметричні розподіли – для механічних систем. Розрахунок показників надійності з використанням однопараметричного експоненціального розподілу з одного боку спрощує рішення задач надійності, з другого – накладає на модель ряд суттєвих обмежень та робить її досить грубо наближеною. Експоненціальний розподіл не враховує старіння та знос виробів, має максимальну інтенсивність відмов в момент включення, що відповідає низькій технології та якості виготовлення елементної бази. Ще один недолік експоненціального розподілу проявляється при рішенні задач довгострокового прогнозу. Прогноз середнього ресурсу високонадійних виробів електронної техніки або прогноз гама-процентного ресурсу для дуже малих рівнів імовірності відмови, відрізняється від прогнозу з використанням більш адекватних двопараметричних моделей в 50-100 і більше разів, а оцінка середнього наробітку до відмови, при використанні експоненціального розподілу, занижується в \sqrt{n} разів, де n – число елементів в об'єкті дослідження (при представленні об'єкта послідовною структурною схемою надійності) [1–4].

Таким чином, необхідно використовувати такі математичні моделі надійності, які враховують фізичні процеси, що відбуваються в елементах радіоелектронного об'єкту та призводять до його відмови.

Постановка завдання. В статті запропонована удосконалена методика розрахунку показників безвідмовності скрадного електронного (радіоелектронного) об'єкту та його складових частин з урахуванням експлуатаційних умов на основі DN – розподілу. Удосконалення стосується визначення моделі експлуатаційної інтенсивності відмови елемента та поправочного коефіцієнту інтенсивності відмови.

Основний зміст. Природа як раптових та поступових відмов одна і та ж – це результат деградаційних процесів, які протікають у будь-якому об'єкті під час експлуатації, зберігання та випробуванні.

Проаналізувавши фізичні процеси, які протікають у радіоелектронних елементах, причини та механізми відмов можна дійти наступних висновків:

– більшість фізико-хімічних процесів деградації є термічно активними, тобто характеризуються певним значенням енергії активації та залежать від температури;

– зміна у часі значень визначаючих параметрів процесу деградації можуть мати монотонний або немонотонний характер. Відомо, що реалізації процесів старіння, зношування, втомленості руйнувань мають монотонний характер. Реалізації процесів деградації, які мають електричну природу (електронна міграція, електрохімічна корозія, електроліз, пробій діелектриків та ін.) мають немонотонний характер [5];

– відмови елементів є випадковими подіями, які є наслідком протікання різноманітних стохастичних процесів деградації, більшість з яких є термоактивними. В основі даних процесів деградації лежать перетворення теплової енергії в результаті броунівського руху. В свою чергу броунівський рух є марковським процесом дифузного типу, тому процеси деградації можна

апроксимувати неперервним марковським процесом дифузного типу [5].

З вищезазначеного випливає, що до вибору математичної моделі безвідмовності необхідно використовувати імовірнісно-фізичний підхід. Сутність даного методу полягає в тому, що він безпосередньо встановлює зв'язок імовірності досягнення граничного рівня з фізичним визначальним параметром, тобто зв'язує значення імовірності відмови і фізичного параметра, який цю відмову визвав. Функція розподілу наробітку до відмови є функцією деяких статистичних характеристик об'єкту або процесу деградації. Під визначальним параметром розуміємо «первинні» фізичні параметри, перевищення якими граничних значень призводить до відмови. Функціональні параметри, в більшості випадків, є «вторинними» характеристиками.

Після аналізу типових задач надійності, відповідно до [6], та можливості їх вирішення із застосуванням різних математичних моделей можна навести наступну таблицю 1.

Таблиця 1

Задачі надійності	Моделі відмов (розподіли)					
	<i>DN</i>	<i>DM</i>	<i>E</i>	<i>W</i>	<i>LN</i>	<i>A</i>
1	2	3	4	5	6	7
1. Розрахунок безвідмовності невідновлювальних і нерезервованих електронних систем	+	+	+	+	-	-
2. Розрахунок безвідмовності невідновлювальних і резервованих електронних систем	+	+	-	+	-	-
3. Розрахунок безвідмовності відновлювальних, нерезервованих електронних систем	+	-	+	-	-	-
4. Розрахунок безвідмовності відновлювальних, резервованих електронних систем	+	-	-	-	-	-
5. Розрахунок норм запасних частин електронних систем	+	+	+	-	-	-
6. Розрахунок показників довговічності невідновлювальних електронних систем	+	+	+	+	-	-
7. Розрахунок показників довговічності відновлюваних електронних систем	+	-	+	-	-	-
8. Розрахунок коефіцієнта готовності	+	+	+	-	-	-
9. Розрахунок коефіцієнта оперативної готовності	+	-	+	-	-	-
10. Розрахунок показників надійності (середнього і гамма-відсоткового ресурсу, імовірності безвідмовної роботи) механічних елементів на основі характеристик міцності й навантаження	+	+			+	
11. Розрахунок безвідмовності невідновлювальних і нерезервованих механічних систем	+	+	-	+	-	-
12. Розрахунок безвідмовності невідновлювальних і резервованих механічних систем	+	+	-	+	-	-
13. Розрахунок безвідмовності відновлюваних і нерезервованих механічних систем	+	-	-	-	-	-
14. Розрахунок безвідмовності відновлюваних і резервованих механічних систем	+	-	-	-	-	-
15. Розрахунок довговічності механічних систем	+	+	-	-	-	-
16. Розрахунок норми запасних частин механічних систем	+	+	-	-	-	-
17. Планування визначальних випробувань на надійність	+	+	+	+	+	+

1	2	3	4	5	6	7
18. Обробка результатів випробувань і отримання оцінок показників надійності при цензурованих вибірках	+	+	+	+	+	+
19. Планування контролю середніх показників надійності	+	+	+	+	+	+
20. Планування контролю гамма-відсоткових показників надійності	+	+	+	+	+	-
21. Планування контролю ймовірності безвідмовної роботи	+	+	+	+	+	-
22. Планування контролю коефіцієнта готовності	+	+	+	-	-	-
23. Планування прискорених (форсованих) випробувань на надійність	+	+	-	-	-	+
24. Оцінка показників надійності з урахуванням апріорної інформації за результатами випробувань одиничних зразків	+	+				+
25. Оцінка показників надійності (параметричної надійності) об'єктів в умовах відсутності відмов	+	+	-	-	-	+

З точки зору розрахунку показників безвідмовності, найбільш простим є експоненційний розподіл (E) та нормальний розподіл, а найбільш складним – альфа розподіл (A) та розподіл Вейбула (W). Функції логарифмічного нормального (LN) та дифузних розподілів (DN, DM), так само як і нормальний розподіл виражаються через табульовану функцію Лапласа, також є достатньо простими та відповідають вимогам інженерної практики [6].

Порівняльний аналіз математичних моделей безвідмовності показує, що усім вимогам (фізичність, адекватність, можливість розрахунку надійності, універсальність та практична придатність), які висуваються до моделей, дифузні розподіли мають переваги перед іншими математичними моделями.

DM – розподіл. Для компонентів технічних систем, у складі яких є електромеханічні та механічні елементи (контакти реле та роз'ємів, ковзаючи електричні контакти, підшипники, зубчасті передачі та ін.) домінуючими, з точки зору працездатності, є механічні процеси деградації.

Процес деградації механічних об'єктів внаслідок незворотності процесів руйнування (механічного зносу, втоми) необхідно розглядати як процес з монотонними реалізаціями.

Щільність розподілу наробітку до відмови визначається за виразом:

$$f_M(t) = f_M(t; \mu, \nu) = \frac{(t + \mu)}{2\nu t \sqrt{2\pi\mu t}} \exp\left[-\frac{(t - \mu)^2}{2\nu^2 at}\right], \text{ функція розподілу наробітку до відмови за}$$

$$\text{виразом: } F_M(t) = \Phi\left(\frac{t - \mu}{\nu\sqrt{\mu t}}\right), \text{ а ймовірність безвідмовної роботи: } R_M(t) = \Phi\left(\frac{\mu - t}{\nu\sqrt{\mu t}}\right) [5, 10].$$

де: Φ – функція нормованого нормального розподілу; μ – параметр масштабу (значення якого дорівнює зворотному значенню середньої швидкості процесу деградації); ν – параметр форми - коефіцієнт варіації процесу деградації (швидкості деградації).

DN – розподіл. Процеси деградації електронних об'єктів поряд з монотонними реалізаціями (механічне руйнування) внаслідок електричних явищ мають і немонотонні реалізації. Таким чином, процес деградації таких елементів необхідно розглядати як процес з немонотонними реалізаціями.

При даному розподілі, щільність розподілу наробітку до відмови визначається за

$$\text{виразом: } f_N(t) = f_N(t; \mu, \nu) = \frac{\sqrt{\mu}}{\nu t \sqrt{2\pi t}} \exp\left[-\frac{(t - \mu)^2}{2\nu^2 \mu t}\right], \text{ функція розподілу наробітку до відмови}$$

за виразом: $F_N(t) = \Phi\left(\frac{t-\mu}{v\sqrt{\mu t}}\right) + \exp\left(\frac{2}{v^2}\right)\Phi\left(-\frac{t+\mu}{v\sqrt{\mu t}}\right)$, а відповідно імовірність безвідмовної роботи: $R_N(t) = \Phi\left(\frac{\mu-t}{v\sqrt{\mu t}}\right) - \exp\left(\frac{2}{v^2}\right)\Phi\left(-\frac{\mu+t}{v\sqrt{\mu t}}\right)$.

Математична модель безвідмовності об'єкту в цілому визначається тільки типом математичних моделей безвідмовності його елементів.

Також, показники безвідмовності складного об'єкту залежать від обраної структурної схеми надійності (ССН). Дана залежність простежується через значення μ та v . Відповідно до [5], розрахункові оцінки параметру масштабу та параметру форми для DN -розподілу визначаються згідно таблиці 2.

Таблиця 2

Тип структури	Граничне значення	параметр масштабу – μ	параметр форми – v .
ССН-1	1	$1 / \sqrt{\sum_{i=1}^N \frac{n_i}{T_{0i}^2}}$	$\left[\frac{\sum_{i=1}^N n_i v_{0i}^2 T_{0i}^{-2}}{\sum_{i=1}^N n_i T_{0i}^{-2}} \right]^{\frac{1}{2}}$
ССН-2	n	$T_0 \sqrt{n}$	v_0 / \sqrt{n}
ССН-3	$n-k+1$	$T_0(n-k+1) / \sqrt{n}$	$v_0 / \sqrt{(n-k+1)}$
ССН-4	2	$2T_0 / \sqrt{5}$	$v_0 / \sqrt{2}$
ССН-5	$r+1$	$T_0(r+1)$	$v_0 / \sqrt{r+1}$

де ССН є різновидами структурних схем надійності, а саме:

– ССН-1 – об'єкт складається з послідовно з'єднаних елементів N типів по n_i , $i = \overline{1, N}$ елементів кожного типу. Відмова любого з елементів призводить до відмови об'єкту в цілому (послідовна ССН);

– ССН-2 – об'єкт складається з n паралельно з'єднаних однотипних елементів, а відмова об'єкту відбувається при відмові усіх елементів;

– ССН-3 – об'єкт складається з n паралельно з'єднаних однотипних елементів, при цьому мінімальне число працездатних елементів (структура типу “ k ” з “ n ”), відмова об'єкту відбувається при відмові $n-k+1$ елементів;

– ССН-4 – об'єкт складається з п'яти однотипних елементів, які з'єднані по мостовій схемі;

– ССН-5 – об'єкт складається з r резервних елементів, які перебувають у ненавантаженому режимі [5].

При розрахунку показників надійності, структури ССН-2–ССН-5, вважається, що усі елементи рівнонадійні, при ССН-2 значення граничного параметру прийняте за 2, але можливі випадки, коли відмова 2-х елементів не призводить до відмови об'єкту в цілому.

Під граничним значенням вважається граничне значення обраного нормованого визначального параметра.

При розрахунку показників безвідмовності радіоелектронних елементів, вихідним показником є відомі номінальні значення інтенсивностей відмов: $\lambda_{0i}(t_{ni})$ – інтенсивність відмов i -го типу елементу, яке визначене при тривалості випробувань – t_{ni} (значення t_{ni} відоме). Реальні значення, інтенсивностей відмов елементів істотно залежать від режимів навантаження й безлічі інших експлуатаційних факторів, які впливають на елементи, які використовуються у конкретній апаратурі. Такими експлуатаційними факторами є електричне навантаження, температура, вологість, тиск, радіація, вібрація й ін.

Фактичну інтенсивність відмов із врахуванням експлуатаційних факторів у загальному вигляді можна визначити згідно з виразом (1):

$$\lambda_{ei}(f) = \lambda_{0i}(t_{ni}) \pm \Delta\lambda_{eni} \pm \Delta\lambda_{t^0_i} \pm \Delta\lambda_{вол.i} \pm \Delta\lambda_{тиск.i} \pm \Delta\lambda_{рад.i} \pm \Delta\lambda_{віб.i} \pm \Delta\lambda_{ін.факт.i} \quad (1)$$

де f – узагальнене позначення факторів реальних умов експлуатації; $\Delta\lambda_i$ – поправка на значення інтенсивності відмов, що враховує i -й фактор.

На основі досліджень і досвіду експлуатації РЕТ [7] встановлено, що на надійність наземної апаратури найбільший вплив роблять два основних фактори: електричне навантаження і температура, тому інтенсивність відмов визначається:

$$\lambda_{ei}(k_n, t^0) = \lambda_{0i}(t_{ni}) \pm \Delta\lambda_{eni} \pm \Delta\lambda_{t^0_i}. \quad (2)$$

Якщо ввести відносний коефіцієнт $\alpha_i(k_n, t^0)$, який являє собою відносну залежність інтенсивностей відмов від коефіцієнта навантаження та температури, то експлуатаційну інтенсивність відмов може бути визначена:

$$\lambda_{ei}(k_n, t^0) = \alpha_i(k_n, t^0) \cdot \lambda_{0i}(t_{ni}), \quad (3)$$

$\lambda_{0i}(t_{ni})$ визначене при $k_n = 1$ та температурі $t^0 = 20^0C$. В довідковій літературі, коефіцієнти $\alpha_i(k_n, t^0)$ задані у вигляді графіків.

Вираз (3), являє собою найпростішу модель по визначенню значення інтенсивності відмови елемента при врахуванні експлуатаційних факторів.

При необхідності визначення інтенсивностей відмов елементів з більшою точністю необхідно використовувати інші моделі.

Моделі експлуатаційної безвідмовності елементів виробництва країн СНД

Значення експлуатаційної інтенсивності відмов $\lambda_e(t_n)$ більшості груп елементів розраховується по моделі (4):

$$\lambda_e(t_n) = \lambda_0(t_n) \prod_{j=1}^m K_j \quad (4)$$

де K_j – коефіцієнти, що враховують зміни експлуатаційної інтенсивності відмов в залежності від різних факторів, m – кількість факторів, що враховуються.

Для окремих груп складних радіоелектронних елементів, сумарний потік відмов яких складається з незалежних потоків відмов складових частин, модель розрахунку інтенсивності відмов визначається виразом:

$$\lambda_e(t_n) = \lambda_{01}(t_n) \prod_{j=1}^{m_1} K_j^1 + \dots + \lambda_{0k}(t_n) \prod_{j=1}^{m_1} K_j^k + \dots + \lambda_{0n}(t_n) \prod_{j=1}^{m_n} K_j^n, \quad (5)$$

де $\lambda_{0k}(t_n)$ – вихідна інтенсивність відмов k -ї складової частини елемента $k = \overline{1, n}$; n – кількість складових частин елемента; K_j^k – коефіцієнт, що враховує вплив k -го фактору на j -ту складову частину елемента. У виразі (5) припускається, що частини елемента можуть мати різні значення коефіцієнтів, які враховують вплив одного і того ж параметру [8].

Експлуатаційну інтенсивність відмов усіх радіоелектронних елементів, окрім елементів комутації, реле та плат зі наскрізними металізованими отворами, можна визначити за формулою (4), а останніх за формулою (5) [8]. Значення складових для виразів (4, 5) можна знайти у літературі [8–10].

Моделі експлуатаційної безвідмовності елементів виробництва не країн СНД

Моделі визначення експлуатаційної інтенсивності відмов елементів іноземного виробництва, по своїй суті не відрізняються від моделей, що описуються виразами (4, 5). Відмінність полягає лише в тому, для яких класів елементів необхідно застосовувати модель

(4), а для яких (5) та які значення приймають коефіцієнти K_j^k . При аналізі зазначених моделей за основу були взяті довідники та стандарти США, Франції та Китаю [8, 11-13]. Вибір тієї чи іншої моделі, із проаналізованих, наведено у таблиці 3.

Таблиця 3

Клас елементів	Тип моделі
Інтегральні мікросхеми	5
Мікросхеми ПАХ (SAW)	4
Напівпровідникові прилади	4
Оптоелектронні прилади	4
Резистори	4
Ємності	4

Значення складових виразів (4, 5), для елементів іноземного виробництва можна знайти у літературі [8, 11-13].

Відповідно до вищезазначеного, можна запропонувати методику визначення уточненого значення показників надійності об'єктів техніки або її складових частин. Вихідним параметром є $\lambda_{0i}(t_{ni})$ – відомі номінальні значення інтенсивності відмови елементів.

Уточнена методика розрахунку показників безвідмовності складного об'єкту та його складових частин з урахуванням експлуатаційних умов.

1. Визначаємо значення середнього напрацювання до відмови T_{0i} кожного елемента об'єкта дослідження з рівняння [5, 14]:

$$\ln T_{0i} - \frac{T_{0i}^2 + bT_{0i} + c}{aT_{0i}} = 0$$

$$\text{де: } a = t_{ni}v_{0i}^2; b = 2t_{ni}v_{0i}^2 \ln \lambda_{0i} + t_{ni}v_{0i}^2 \ln(2\pi v_{0i}^2 t_{ni}^3) - 2t_{ni}; c = t_{ni}^2;$$

t_{ni} – напрацювання (тривалість випробувань) якій відповідає значення λ_{0i} (значення відоме);

λ_{0i} – інтенсивність відмов i -го типу елемента в режимах експлуатації (випробуваннях) (значення відоме);

v_{0i} – коефіцієнт варіації напрацювання до відмови i -го типу елемента (параметр форми).

2. Для кожного елемента визначаємо поправочний коефіцієнт інтенсивності відмов K_i :

– для елементів, математична модель яких визначається згідно виразу (4) $K_i = \prod_{j=1}^m K_j$;

– для елементів, математична модель яких визначається згідно виразу (5) $K_i = \frac{\lambda_{ei}(t_{ni})}{\lambda_{0i}(t_{ni})}$.

3. Визначаємо наближене значення поправочного коефіцієнту середнього напрацювання до відмови D_i [5]:

$$K_i = \sqrt{D_i} \cdot \exp \left\{ \frac{T_{0i}}{2v_{0i}^2 t_{ni}} \left[1 - D_i + \frac{t_{ni}^2 (D_i - 1)}{T_{0i}^2 D_i} \right] \right\}.$$

4. Визначаємо уточнене значення середнього напрацювання до відмови $T_{0i}^{\text{уточн.}}$ кожного елемента об'єкта дослідження з рівняння:

$$T_{0i}^{\text{уточн.}} = D_i \cdot T_{0i}.$$

5. Визначаємо уточнене значення середнього напрацювання до відмови об'єкту (системи) $T_0^{\text{уточн.}}$:

$$T_0^{\text{уточн.}} = \left[\sum_{i=1}^N \left(\frac{T_{0i}^{\text{уточн.}}}{\sqrt{n_i}} \right)^{-2} \right]^{-1/2} = 1 / \sqrt{\sum_{i=1}^N \frac{n_i}{(T_{0i}^{\text{уточн.}})^2}},$$

n_i – кількість елементів i -го типу в об'єкті; N – кількість типів елементів в об'єкті.

6. Визначаємо параметр масштабу DN - розподілу: $\mu = T_0^{\text{уточн.}}$.

7. Визначаємо значення параметру форми DN - розподілу: $v = \left[\frac{\sum_{i=1}^N n_i v_{0i}^2 T_{0i}^{-2}}{\sum_{i=1}^N n_i T_{0i}^{-2}} \right]^{\frac{1}{2}}$,

значення v_{0i} табульовані [5, таб.8.5.], або їх можна визначити з виразу:

$$v_{0i} = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^M v_{0ij}^2 P_{0ij}^2}{\sum_{j=1}^M P_{0ij}^2}}; \quad \sum_{j=1}^M P_{0ij} = 1.$$

де: v_{0ij} – коефіцієнт варіації j -го типа процесу деградації i -го елемента;

P_{0ij} – долева участь варіації j -го типа процесу деградації у загальному процесі деградації i -го елемента; M – кількість процесів деградації i -го елемента.

8. Визначаємо імовірність безвідмовної роботи об'єкта дослідження на певний час напрацювання t :

$$R_N(t) = \Phi\left(\frac{\mu - t}{v\sqrt{\mu t}}\right) - \exp\left(\frac{2}{v^2}\right) \Phi\left(-\frac{\mu + t}{v\sqrt{\mu t}}\right).$$

Висновки. В роботі проведений аналіз типових задач надійності та можливість їх вирішення із застосуванням різних математичних моделей. Встановлено, що дифузні розподіли мають переваги перед іншими математичними моделями надійності. Розглянуті загальні математичні моделі визначення інтенсивності відмови невідновлювальних елементів виробництва різних країн світу. Запропонована уточнена методика розрахунку показників безвідмовності скрадного об'єкту (системи) або їх складових частин з урахуванням умов експлуатації даного об'єкту. Запропонована методика дозволяє визначати показники надійності з більшою точністю, але потребує більше машинного часу, у порівнянні з методикою, яке не враховує умови експлуатації. В якості математичної моделі безвідмовності запропоновано використовувати дифузний немонотонний розподіл (DN - розподіл).

ЛІТЕРАТУРА

1. Шор Я.Б. Статистические методы анализа и контроля качества надежности / Я.Б. Шор. – М.: Соврадио, 1962. – 252 с.
2. Погребинский С.Б. Проектирование и надежность многопроцессорных ЭВМ / С.Б. Погребинский, В.П. Стрельников. М.: Радио и связь, 1988. – 168 с.
3. Надежность и эффективность АСУ / Ю.Г. Заречный, Б.П. Креденцер и др. – К.: Техника, 1975. – 368 с.
4. Соловьев А.Д. Основы математической теории надежности / А.Д. Соловьев. – М.: Знание, 1975. – 103 с.
5. Стрельников В.П. Оценка и прогнозирование надежности электронных элементов и систем / В.П. Стрельников, А.В. Федухин. – К.: Логос, 2002. – 486 с.
6. Надежность в технике. Модели отказов. Основные положения: ГОСТ 27.005–97. – 45 с. – Введ. 01.01.99. – (Межгосударственный стандарт).
7. Основы надежности и технического обеспечения радиоэлектронных средств РТВ ПВО / А.Н. Буточнов, Б.П. Креденцер и др. Под ред. Б.П. Креденцера. – К.: КВИРТУ ПВО, 1982. – 228 с.
8. Боровиков С.М. Расчет показателей надежности радиоэлектронных средств / С.М. Боровиков, И.Н. Цырельчук, Ф.Д. Троян. – Минск: БГУИР, 2010. – 68 с.

9. Надежность электрорадиоизделий, 2002: справочник /С.Ф.Прытков и др. – М.:ФГУП «22ЦНИИ МО РФ», 2004. – 574 с.
10. Надежность электрорадиоизделий, 2006: справочник /С.Ф.Прытков и др. – М.:ФГУП «22ЦНИИ МО РФ», 2008. – 641 с.
11. Reliability prediction of electronic equipment; Military Handbook MIL-HDBK-217F. – Washington: Department of defense DC 20301, 1995. –205 p,
12. A universal model for reliability prediction of Electronics components, PCBs and equipment, RDF 2000: reliability data handbook / Paris: UTE C 80-810.2000. – 99p.
13. Reliability Prediction Model for Electronic Equipment: The Chinese Military / Commercial Standard GJB/z 299B. – Yuntong Forever ScL.-tek. Co Ltd China 299R.
14. Жиров Г.Б. Визначення показників надійності радіоелектронних об'єктів з урахуванням процесів деградації/ Г.Б. Жиров, Б.Г. Жиров // Збірник наукових праць Військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка. – 2013. – №43. – С.45–53.

REFERENCES:

1. Shor Ia.B. (1962). Statisticheskie metody analiza i kontrolya kachestva nadezhnosti. M.: Sovradio, 252 p.
2. Pogrebinskii S.B., Strelnikov V.P. (1988). Proektirovanie i nadezhnost' mnogoprotsessornykh EVM. M.:Radio i sviaz, 168 p.
3. Zarechnn Iu.G., Kredentser B.P. (1975). Nadezhnost i effektivnost ASU. K.:Tehnika, 368 p.
4. Solovev A.D. (1975). Osnovy matematicheskoi teorii nadezhnosti. M.: Znanie, 103 p.
5. Strelnikov V.P., Feduhin A.V. (2002). Otsenka i prognozirovanie nadezhnosti elektronnykh elementov i sistem. K.: Logos, 486 p.
6. Nadezhnost v tehnikе. Modeli otkazov. Osnovnye polozheniia: GOST 27.005–97.– 45 p.
7. Butochnov A.N., Kredentser B.P. (1982). Osnovy nadezhnosti i tehničeskogo obespecheniia radioelektronnykh sredstv RTV PVO. K.: KVIRTU PVO, 228 p.
8. Borovikov S.M., Tsyrelchuk I.N., Troian F.D. (2010). Raschet pokazatelei nadezhnosti radioelektronnykh sredstv. Minsk:BGUIR, 68 p.
9. Pрыtkov S.F. (2004). Nadezhnost elektroradioizdelii, 2002: spravochnik. M.:FGUP «22TsNIII MO RF», 574 p.
10. Pрыtkov S.F. (2008). Nadezhnost' elektroradioizdelii, 2006: spravochnik. M.:FGUP «22TsNIII MO RF», 641 p.
11. Reliability prediction of electronic equipment; Military Handbook MIL-HDBK-217F. (1995). Washington: Department of defense DC 20301, 205 p,
12. A universal model for reliability prediction of Electronics components, PCBs and equipment, RDF 2000: reliability data handbook. (2000). Paris: UTE C 80-810, 99 p.
13. Reliability Prediction Model for Electronic Equipment: The Chinese Military. Commercial Standard GJB/z 299B. Yuntong Forever ScL.-tek. Co Ltd China 299R.
14. Zhyrov G.B., Zhirov B.G. (2013). Viznachennia pokaznikov nadiinosti radioelektronnih ob'ektiv z urahuvanniam protsesiv degradatsii. Zbirnik naukovih prats' Viis'kovogo institutu Kiivs'kogo natsional'nogo universitetu imeni Tarasa Shevchenka, 43, 45–53.

Рецензент: д.т.н., проф. Ленков С.В., начальник науково-дослідного центру Військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка

к.т.н, с.н.с. Жиров Г.Б.

УТОЧНЕННЫЙ РАСЧЕТ ПОКАЗАТЕЛЯМ БЕЗОТКАЗНОСТИ СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ С УЧЕТОМ УСЛОВИЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ И СТРАНЫ ПРОИЗВОДИТЕЛЯ ЭЛЕМЕНТНОЙ БАЗЫ

В статье проведен анализ типовых задач надежности и возможность их решения с применением различных математических моделей. Установлено, что диффузные распределения имеют преимущества перед другими математическими моделями надежности. Рассмотрены общие математические модели определения интенсивности отказа невозстанавливаемых элементов производства разных стран мира. Предложенная уточнена методика расчета показателей безотказности сложного объекта (системы) или их составных частей с учетом

условий эксплуатации данного объекта. В качестве математической модели безотказности предложено использовать диффузный немонотонные распределение (DN- распределение).

Ключевые слова: процессы деградации, вероятность безотказной работы, среднее время наработки до отказа.

Ph.D. Zhyrov G.B.

REFINED CALCULATION OF RELIABILITY OF COMPLEX TECHNICAL OBJECTS IN VIEW OF CONDITIONS AND COUNTRY OF COMPONENTS

The article analyzed the typical problems of reliability and the ability to solve using various mathematical models. Found that diffuse distribution have advantages over other mathematical models of reliability. The general mathematical model for determining failure rate non-renewable elements of production around the world. The proposed refined methodology calculation of reliability skradnoho object (system) or their parts to the conditions of operation of the facility. As a mathematical model of reliability suggested to use a diffuse distribution nonmonotone (DN- distribution).

Keywords: degradation processes, probability uptime, mean time to failure operating time.