

ВИЗНАЧЕННЯ ПОКАЗНИКІВ НАДІЙНОСТІ РАДІОЕЛЕКТРОННИХ ОБ'ЄКТІВ З УРАХУВАННЯМ ПРОЦЕСІВ ДЕГРАДАЦІЇ

У статті наводиться аналіз різних видів дефектів та процесів деградації, які постійно протікають в компонентах радіоелектронних об'єктів під час її експлуатації. Встановлено, що відмови є випадковими подіями, які є наслідком протікання різноманітних стохастичних процесів деградації, більшість з яких є термоактивними та характеризуються певним значенням енергії активізації. В основі даних процесів деградації лежить перетворення теплової енергії в результаті броунівського руху. Реалізація процесів деградації можуть мати як монотонний так і немонотонний характер. Встановлено, що процеси деградації, які мають електричну природу мають немонотонний характер, тому для визначення показників надійності, в якості математичної моделі безвідмовності пропонується використовувати DN -розподіл. Запропонована методика визначення параметрів безвідмовності радіоелектронних об'єктів з використанням DN -розподілу.

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

Вступ. Необхідність визначення показників надійності радіоелектронних об'єктів та систем з заданою достовірністю зумовлена рядом причин, головними з яких є: розробка нових виробів та порівняння їх характеристик з висунутими до неї вимогами, обґрунтування прийнятних конструктивних рішень, розробка нових методів підвищення надійності виробів, проектування відповідних діагностичних засобів та розробка діагностичних тестів та ін.

Відомо, що розрахунок показників надійності спирається на певну математичну модель безвідмовності. З однопараметричних моделей, на сьогоднішній день 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 вище двопараметричні – 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, якщо об'єкт представити послідовною структурною схемою надійності [1–4].

Таким чином, необхідно використовувати такі математичні моделі надійності, які б враховували фізичні процеси, які відбуваються в елементах радіоелектронного об'єкту та призводять до його відмови. Для цього необхідне розуміння фізичної природи відмов, їх причин та коректний математичний опис явищ, які лежать в основі природи відмов.

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.

Кожен процес деградації характеризується енергією активації E_{aj} та її дольовою

участю P_{0j} в загальному процесі деградації, а також коефіцієнтом варіації V_{0j} . При зміні температурного навантаження відносно температури використання об'єкту, відбувається перерозподіл її дольової участі по кожному процесу деградації.

До найбільш розповсюджених компонентів радіоелектронних об'єктів належать резистори, конденсатори та інтегральні мікросхеми.

Кількість резисторів в радіоелектронному об'єкті може сягати до 40-60% від загальної їх кількості [5].

Основними дефектами резисторів є: обрив резистивного дроту; переплутування витків; розрив зварки; неякісне закріплення витків; дефекти матеріалів; порушення контактування у пересувному контакті; розслаблення витків; обрив середнього виводу; неякісна пайка; неоднорідність поверхні керамічної основи, що викликає нерівномірність товщини провідного покриття, зміну питомих навантажень та локальний розігрів, руйнування слою лаку та оголення струмопровідного слою; нестабільність контактів з'єднувальних виводів металоплівкових і вуглецевих резисторів; низька якість півки. [5,6].

У дротяних резисторах найбільшу дольову участь у загальному процесі деградації складають наступні типи процесу деградації: електрохімічна корозія резистивного дроту та утворення інтерметалідів у пайці контактного вузла, у недротяних резисторах: електрохімічна корозія (електроліз) струмопровідних доріжок; окислення резистивного шару; утворення інтерметалідів у пайці контактного вузла.

До основних дефектів конденсаторів відносяться: порушення герметичності; випаровування рідких та консистентних матеріалів; обриви виводів або струмопровідних елементів; обриви аноду у електролітичних та окисно-напівпровідникових конденсаторах; відшарування електродів; забруднення танталового порошку при виробництві; потоншення або порожнечі у шарі діелектрика; пробій діелектрика; порушення герметичності; погана пайка; внутрішня напруга. [5, 7].

Найбільшу дольову участь у загальному процесі деградації конденсаторів складають наступні типи процесу деградації: тепловий пробій; електроліз обкладинок; втомленість контактів електричних з'єднань; кристалізація на поверхні обкладинок; сублімація діелектрика.

На сьогоднішній день, завдяки впровадженню високих технологій частка інтегральних мікросхем в радіоелектронній апаратурі, як загального так і військового призначення постійно збільшується. У деяких складових частинах зразків радіоелектронних об'єктів вона може сягати до 90% і більше.

Основними механізмами відмов кремнієвих інтегральних мікросхем є: формування поверхневих зарядів; локалізація струму в областях мікродефектів кристалу; утворення ділянок «помилкової» дифузії зблизу р-п переходів; утворення інтерметалідів у місцях контактів Au-Al; дифузія Al через дефекти у захисному окислі SiO_2 ; дифузія легуючих домішок; електроміграція; взаємна дифузія і фазоутворення Au-Al; електроміграція і взаємна дифузія Al-Si; окислення та механічна втомленість.

Наведені механізми відмов призводять до наступних видів відмов у інтегральних мікросхемах: нестабільність характеристик р-п переходів, коротке замикання елементів схеми, пробій та вигорання металізації, проплавлення кристалу, параметрична відмова, пробій р-п переходу, обрив (втрата) контактів, переплутування контактів, зменшення швидкодії, коротке замикання у сусідньому провіднику, обрив золотих провідників від контактних площадок, коротке замикання елементів напівпровідникової структури (р-п переходу), дрейф параметрів напилених резисторів, обрив з'єднань.

З усіх розглянутих видів відмов найбільше розповсюдження отримали відмови типу коротке замикання та переплутування, які в більшості призводять до того, що на виході мікросхеми встановлюється постійний рівень напруги, а для цифрових ІМС ще може змінюватись їх перемикальна функція [8].

Відповідно до розглянутих видів та механізмів відмов найбільшу дольову участь у загальному процесі деградації інтегральних мікросхем складають наступні типи процесу

деградації: утворення інтерметалідів у місцях контактів; утворення ділянок «помилкової» дифузії поблизу р-п переходів; електроміграція в плівках; локалізація струму в областях мікрodefектів кристалу.

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

1. Більшість фізико-хімічних процесів деградації є термічно активними, тобто характеризуються певним значенням енергії активації та залежать від температури.

2. Зміна у часі значень визначаючих параметрів процесу деградації можуть мати монотонний та немонотонний характер. Відомо, що реалізації процесів старіння, зношування, втомленосних руйнувань мають монотонний характер. Реалізації процесів деградації, які мають електричну природу (електроміграція, електрохімічна корозія, електроліз, пробій діелектриків та ін.) мають немонотонний характер [5].

3. 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 імовірно-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 певних граничних значень призводить до відмови. Функціональні параметри, в більшості випадків, є «вторинними» характеристиками.

Існує декілька схем формалізації моделей безвідмовності на основі аналізу динаміки визначальних параметрів, які призводять до відмови в радіоелектронному об'єкті. Віяловому випадковому процесу відповідає альфа-розподіл, гаусовському процесу відповідає нормальний параметричний розподіл, неперервному марковському процесу з монотонними реалізаціями відповідає DM – розподіл, а неперервному марковському процесу з немонотонними реалізаціями відповідає DN – розподіл [5].

Дифузні розподіли, а також альфа та нормальний параметричний розподіл, як імовірно-фізичні моделі надійності мають велику перевагу у порівнянні з суворо імовірно-фізичними моделями, в тому, що їх параметри можуть бути оцінені як на основі статистики відмов так і на основі аналізу статистичних характеристик фізичного процесу, який призводить до відмови а також при сумісному використанні статистичної інформації обох типів.

Альфа-розподіл. При альфа-розподілі зміна визначаючого параметра описується лінійним законом. Функція розподілу наробітку до заданого рівня визначального параметру має вигляд [5]:

$$F_{\alpha}(t) = \Phi\left(\frac{at-1}{vat}\right),$$

де: Φ – функція нормованого нормального розподілу; a – математичне очікування швидкості зміни визначального параметру, нормованого до граничного значення; v – коефіцієнт варіації швидкості зміни визначального параметру.

Нормальний параметричний розподіл. При нормальному параметричному розподілу вважається, що зміна дисперсії передбачається пропорціональною часу, а функція розподілу часу наробітку для великих значень зносу, асимптотично-нормальною [9]: $F_N(t) = \Phi\left(\frac{at-1}{v\sqrt{a}}\right)$.

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 як $f(t) = \frac{1+at}{2vt\sqrt{2\pi at}} \exp\left[-\frac{(1-at)^2}{2v^2 at}\right]$, а

функція розподілу наробітку до відмови визначається [5, 10] як $F(t) = \Phi\left(\frac{at-1}{v\sqrt{at}}\right)$

DN – розподіл. Процес деградації елементів аналогових пристроїв РЕЗО поряд з монотонними реалізаціями (механічне руйнування) внаслідок електричних явищ має 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:

$$f(t) = \frac{1}{vt\sqrt{2\pi at}} \exp\left[-\frac{(1-at)^2}{2v^2 at}\right],$$

А функція розподілу наробітку до відмови визначається:

$$F(t) = \Phi\left(\frac{at-1}{v\sqrt{at}}\right) + \exp\left(\frac{2}{v^2}\right) \Phi\left(-\frac{at+1}{v\sqrt{at}}\right).$$

Позначимо параметр масштабу, для дифузних розподілень, через μ , значення якого обернено пропорційно значенню середньої швидкості процесу деградації $\mu = \frac{1}{a}$. Параметр форми ν являє собою коефіцієнт варіації процесу деградації (швидкості деградації). Тоді щільність розподілу наробітку до відмови при *DN*-розподілу визначається:

$$f(t) = f_N(t; \mu, \nu) = \frac{\sqrt{\mu}}{vt\sqrt{2\pi t}} \exp\left[-\frac{(t-\mu)^2}{2\nu^2 \mu t}\right],$$

а імовірність безвідмовної роботи визначається:

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

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

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, в якості моделі відмов пропонується застосовувати *DM*-розподіл.

Якщо в ОД є хоча б один елемент, відмова якого обумовлюється електричними процесами, то в якості математичної моделі безвідмовності пропонується застосовувати *DN*-розподіл. Таким чином, задача визначення показників надійності (значення імовірності відмови) зводиться до оцінки двох параметрів даного розподілу, а саме: середньої швидкості деградації об'єкту та коефіцієнту варіації цієї швидкості.

З точки зору визначення імовірностно-фізичної моделі надійності об'єктів не має різниці, об'єкт є елементом, або складається з сукупності елементів. Математична модель відмов електронних систем визначається тільки типом математичних моделей відмов елементів. Таким чином, задача визначення показників надійності зводиться до оцінки двох параметрів даного розподілу, а саме: середньої швидкості деградації об'єкту – μ та коефіцієнту варіації цієї швидкості (коефіцієнт форми) [5].

Вважаємо, що процеси деградації елементів об'єкту незалежні та мають нормовані граничні значення. Щільність розподілу часу до відмови при DN - розподілу визначається:

$$f(t) = \frac{\sqrt{\mu\Pi}}{vt\sqrt{2\pi t}} \exp\left[-\frac{(t-\mu)^2}{2v^2\Pi\mu t}\right],$$

де: Π – граничне значення прийнятого визначального параметру; μ – параметр масштабу; v – параметр форми - коефіцієнт варіації швидкості зміни визначального параметру.

Будемо вважати, що радіоелектронний об'єкт дослідження представляється послідовною структурною схемою надійності, в даному випадку граничне значення прийнятого визначального параметру $\Pi=1$.

Таким чином, імовірність безвідмовної роботи об'єкту (системи, блоку, субблоку, елемента) визначається за наступною методикою:

1. Визначаємо значення середнього напрацювання до відмови кожного типу елемента об'єкта дослідження T_{0i} з рівняння:

$$\ln T_{0i} - \frac{T_{0i}^2 + bT_{0i} + c}{aT_{0i}} = 0, \quad (1)$$

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

t_{ni} – напрацювання (тривалість випробувань) якій відповідає значення $\lambda_{t_{ni}}$ (значення t_{ni} відоме);

$\lambda_{t_{ni}}$ – інтенсивність відмов i -го типу елемента в режимах експлуатації (випробуваннях) (значення $\lambda_{t_{ni}}$ відоме);

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

2. Визначаємо значення середнього напрацювання до відмови об'єкту T_0 :

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

де: T_{0i} – значення середнього напрацювання до відмови i -го типу елемента (визначене в п.1);

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

3. Визначаємо параметр масштабу DN - розподілу: $\mu = T_0$.

4. Визначаємо значення параметру форми DN - розподілу:

$$v = \left[\frac{\sum_{i=1}^N n_i v_{0i}^2 T_{0i}^{-2}}{\sum_{i=1}^N n_i T_{0i}^{-2}} \right]^{1/2}, \quad (3)$$

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.

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

$$P(t) = \Phi\left(\frac{\mu - t}{v\sqrt{\mu t}}\right) - \exp\left(\frac{2}{v^2}\right) \Phi\left(-\frac{\mu + t}{v\sqrt{\mu t}}\right). \quad (4)$$

Приклад. Необхідно визначити показники надійності (середню наробітку до відмови та імовірність безвідмовної роботи на момент часу $t=10000$ годин) субблоку ВС-106, принципова схема субблоку ВС-106 наведена на рис.1, а вихідні дані наведені в таблиці 1, стовбці 1-5.

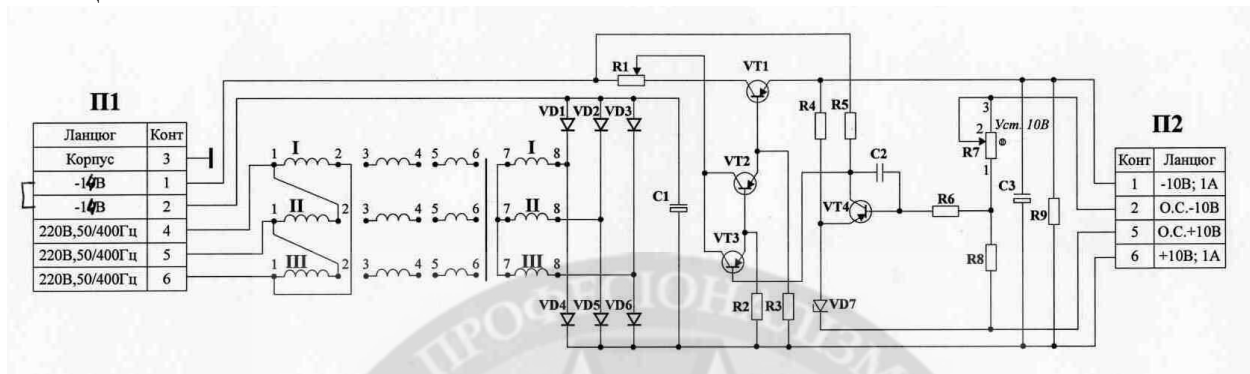


Рис. 1. Принципова схема субблоку ВС-106

Таблиця 1

Вихідні дані для розрахунку показників надійності

N	Найменування	$\lambda_{t_{ні}} \times 10^{-7}, 1/\text{ГОД.}$	$t_{ні}, \text{ГОД}$	$n, \text{ШТ.}$	v_0	$T_{0i}, \text{ГОД.}$
1	2	3	4	5	6	7
1	Резистор R1	3	25000	1	1,02	310000
2	Резистор R2	3	25000	1	1,02	310000
3	Резистор R3	5	25000	1	1,02	310000
4	Резистор R4	3	25000	1	1,02	310000
5	Резистор R5	3	25000	1	1,02	310000
6	Резистор R6	3	25000	1	1,02	310000
7	Резистор R7	3	25000	1	1,02	310000
8	Резистор R8	3	25000	1	1,02	310000
9	Резистор R9	15,6	25000	1	1,02	310000
10	Конденсатор C1	72	10000	1	0,75	80000
11	Конденсатор C2	2	10000	1	1,07	150000
12	Конденсатор C3	72	10000	1	0,75	80000
13	Трансформатор	12	10000	1	1	110000
14	Діод VD1- VD6	50	15000	6	0,79	110000
15	Роз'єм П1, П2	0,6	10000	10	0,62	180000
16	Транзистор VT1	12	15000	1	0,79	150000
17	Транзистор VT2	14	15000	1	0,79	150000
18	Транзистор VT3	18	15000	1	0,79	150000
19	Транзистор VT4	9	15000	1	0,79	150000
20	Діод VD7	55	15000	1	0,79	110000

Відповідно до виразу (1), або за відомими значеннями функції $\ln\lambda(t_n)$ (додаток А.3 в [5]), визначаємо значення середнього напрацювання до відмови кожного типу елемента T_{0i} , (стовбець 7 табл. 1).

За виразом (2) визначаємо значення середнього напрацювання до відмови об'єкту T_0 та

параметр масштабу DN – розподілу, $T_0 = \mu = 1 / \sqrt{\sum_{i=1}^N \frac{n_i}{T_{0i}^2}} = 24857,6$ год.

Визначаємо параметр масштабу DN – розподілу $v = 0,8273$.

Визначаємо імовірність безвідмовної роботи блоку живлення за виразом (4).

$$P(t) = \Phi\left(\frac{24857,6 - 100000}{0,8273 \sqrt{24857,6 \times 10000}}\right) - \exp\left(\frac{2}{0,8273^2}\right) \Phi\left(-\frac{24857,6 + 100000}{0,8273 \sqrt{24857,6 \times 10000}}\right) = \\ = 0,8708 - 18,57 \times (1 - 0,99632) = 0,80244.$$

При використанні в якості математичної моделі безвідмовності експоненційного розподілу, середнє напрацювання до відмови субблоку становить: $T_0 = 16297,3$ год., а імовірність безвідмовної роботи: $P(t) = 0,5414$.

Розходження у визначенні середнього напрацювання до відмови складає 65,6%, а імовірності безвідмовної роботи – 67,5%.

Висновки. В статті визначена методика розрахунку показників надійності радіоелектронного об'єкту, в якості математичної моделі безвідмовності запропоновано використовувати дифузний немонотонний розподіл (DN – розподіл). Запропонована методика дозволяє визначати показники надійності з більшою точністю у порівнянні з іншими математичними моделями надійності завдяки врахуванню процесів деградації.

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. Матера. Надежность компонентов. Часть 2. Практика обеспечения надежности // Энергия. – 1975. – №22. – С.14–18.
7. ДСТУ 2862-94. Надійність техніки. Методи розрахунків показників надійності. – К.: Держстандарт України, 1994. – 39 с.
8. Яролик В.Н. Контроль и диагностика цифровых узлов ЭВМ / В.Н. Яролик. – Мн.: Наука и техника, 1988. – 240 с.
9. Вероятностный анализ процесса изнашивания / Х.Б. Кордонский, Г.М. Харач, В.П. Артамоновский и др. – М.: Наука, 1968. – 56 с.
10. Ленков С.В. Оценка показателей безотказности сложного восстанавливаемого объекта РЭТ при произвольных законах распределения наработки до отказа элементов / С.В. Ленков, К.Ф. Борjak, В.Н. Цыцарев, Г.В. Банзак, В.В. Крыхта // Сучасна спеціальна техніка, 2010. – №3(22). – С 86 – 98.

Рецензент: д.т.н., проф. Жердєв М.К., провідний науковий співробітник науково-дослідного центру Військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка

к.т.н.,с.н.с. Жиров Г.Б., Жиров Б.Г.

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ
ОБЪЕКТОВ С УЧЕТОМ ПРОЦЕССОВ ДЕГРАДАЦИИ**

В статье приводится анализ различных видов дефектов и процессов деградации, которые постоянно протекают в компонентах радиоэлектронных объектов во время ее эксплуатации. Установлено, что отказы являются случайными событиями, которые являются следствием протекания различных стохастических процессов деградации, большинство из которых являются термореактивных и характеризуются определенным значением энергии активизации. В основе данных процессов деградации лежит преобразование тепловой энергии в результате броуновского движения. Реализация процессов деградации могут иметь как монотонный так и немонотонный характер. Установлено, что процессы деградации, которые имеют электрическую природу имеют немонотонный характер, поэтому для определения показателей надежности, в качестве математической модели безотказности предлагается использовать DN-распределение. Предложена методика определения параметров безотказности радиоэлектронных объектов с использованием DN - распределения.

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

Zhyrov G., Zhyrov B.

**DEFINITION OF INDICATORS OF RELIABILITY OF RADIO-ELECTRONIC OBJECTS
TAKING INTO ACCOUNT DEGRADATION PROCESSES**

This article provides an analysis of the different types of defects and degradation processes that constantly occur in the components of electronic objects during its operation. It is established that the failures are random events, which are a consequence of the flow of various stochastic processes of degradation, most of which are thermoset and characterized by a certain value of the activation energy. The basis of these processes lies degradation conversion of thermal energy due to Brownian motion. The implementation of the degradation processes can have both monotonous and non-monotonous character. Found that the degradation processes that are electrical in nature are nonmonotonic, so to determine the reliability, as a mathematical model of reliability is proposed to use the DN- distribution. The technique of determining the parameters of non-repudiation of electronic objects using DN - distribution.

Keywords: degradation processes, the probability of failure-free operation, mean time to failure.