

Надійність

Надійність - це властивість ЕОА (і не тільки) виконувати свої функції, зберігаючи експлуатаційні показники напротязі заданого часу та можливості відновити функціонування втрачених можливостей.

або

Надійність є властивість виробу безвідмовно (справно) працювати напротязі заданого часу у відповідних експлуатаційних умовах.

Висока надійність виробів досягається на стадії їх проектування та реалізується в процесі виробництва, зберігання та експлуатації виробів. Недостатньо отримати хороше конструкторське рішення, що забезпечує високу запроєктовану надійність комплектувальних елементів ЕОА, необхідна також їх ефективна реалізація на практиці, яку досягають на основі узгоджених наукових, інженерно-конструкторських та організаційних заходів.

За період з 1950р. надійність елементів збільшена на 2-4 порядки, але безперервно йдучий процес ускладнення РЕА потребує подальшого підвищення їх надійності.

Поняття “надійні” та “ненадійні” елементи завжди відносні. Елементи, що надійні в одних умовах та режимах, можуть стати ненадійними в інших. *Надійність подібно будь-якій фізичній властивості проявляється завжди конкретно в часі та безпосередньо зв'язана з умовами навколишнього середовища та режимом роботи елементу.*

Задачі теорії та практики надійності можуть вирішуватися двома методами.

Перший метод оснований на вивченні статистичних закономірностей появи відмов елементів. При цьому відмови розглядаються як випадкові події, а всі різноманітні стани елементів зводяться до **двох** станів - **справний** та **несправний**. Ці стани описуються функціями надійності, що отримані статистичними методами.

Другий метод оснований на вивченні фізико-хімічних властивостей матеріалів, елементів та процесів, що в них відбуваються. Ці властивості та процеси описуються функціями, що відображають фізико-хімічні залежності появи відмов.

Простіше досліджувати сумарний вплив багатьох факторів на стан елементів. Тому в теперішній час найбільш розроблені **статистичні ймовірнісні методи**. Але вони не зв'язують показники надійності безпосередньо з фізичними характеристиками елементів та факторами, що на них впливають.

Актуальною задачею є встановлення прямих залежностей основних показників надійності елементів від випадкових факторів:

- фізичних властивостей та параметрів матеріалів і елементів
- фізико-хімічних процесів зміни їх властивостей та параметрів
- рівнів електро експлуатаційних навантажень
- рівнем зовнішніх експлуатаційних впливів

Використання ІС дозволяє підвищити надійність ЕОА, тому що безвідмовність ІС наблизилася до безвідмовності одного елементу. Тому **збільшення степені інтеграції** ще більш **збільшує** надійність.

Висока надійність роботи комплектувальних елементів досягається:

- правильним вибором типів схем з урахуванням особливостей електричної схеми та умов експлуатації
- проектуванням схем зі зворотними зв'язками (самонастроювальних), компенсуючими та стабілізуючими **дрейф параметрів** елементів.
- введенням навантажувального резервування шляхом зниження рівня електричних навантажень елементів
- захистом елементів від зовнішніх експлуатаційних впливів

Основні поняття теорії надійності

З точки зору теорії надійності будь-який **виріб** можна *характеризувати* його **властивостями** (параметрами), **технічним станом** та пристосованістю до **відновлення справності**

Найважливішим комплексом властивостей виробу є його надійність.

Надійністю називають властивість виробу виконувати задані функції, зберігаючи в часі значення встановлених експлуатаційних показників в заданих межах, що відповідають заданим режимам та умовам використання, технічного обслуговування (ТО), зберігання та транспортування.

Надійність включає в себе наступні властивості:

- безвідмовність
- довговічність
- збереженість
- ремонтпридатність

Справним станом виробу називають такий стан, при якому він відповідає всім вимогам, що встановлені ТУ (технічними умовами). Якщо виріб не відповідає хоча б одному з вимог ТУ, то він знаходиться **несправному стані** .

Якщо виріб знаходиться в стані, при якому він здатен *виконувати задані функції*, зберігаючи значення заданих параметрів визначених ТУ, то він знаходиться в **працездатному стані** .

Непрацездатним станом виробу називається стан, при якому значення хоча б одного параметру не відповідає ТУ.

Поняття **справності** ширше поняття **працездатності** . Виріб може бути несправним (*погнули кожух корпусу, ...*), але працездатним. *Справні вироби завжди працездатні.*

Відновлюваний виріб - виріб у випадку виникнення відмови підлягає відновленню у розгляданій ситуації.

Відмова - це подія, що полягає в порушенні працездатності виробу.

*Кількісні параметри надійності характеризуються **комплексом показників** або **одиничним показником** , тому що при визначенні надійності апаратуру поділяють на *невідновлювану та відновлювану*, то відповідно невідновлювана та відновлювана апаратура характеризується різними показниками.*

*До першої відмови вся апаратура **однакова** , а потім відновлення - **можемо / не можемо** .*

Невідновлювана ЕОА характеризується такими показниками:

- щільність розподілення часу безвідмовної роботи $f(t)$
- ймовірність безвідмовної роботи - $P(t)$
- ймовірність відмови - $Q(t)$
- інтенсивність відмов - $\lambda(t)$
- середній час напрацювання до першої відмови - T_{cp}

На практиці достатньо характеристика надійності визначається $\lambda(t)$ та T_{cp} .

$\lambda(t)$ визначається експериментально, випадковим чином. З виробів, що виготовляються, вибирається партія виробів в кількості N_0 штук, встановлюється час випробовувань - t . Встановлюються проміжки часу Δt , в яких буде перевірятися працездатність виробів. Природно буде якась кількість виробів працездатних та що вийшли з ладу - не працездатних.

Якщо в досліджений час t_x буде N_x працездатних виробів, то $n_x = N_0 - N_x$ що вийшли з ладу.

Дослідна статистична **ймовірність безвідмовної роботи** визначається

$$P^* = \frac{N_x}{N_0}$$

Дослідна статистична **ймовірність відмов** визначається

$$Q^* = \frac{N_0 - N_x}{N_0} = \frac{n_x}{N_0}$$

P^* , Q^* - характеризують частоту відповідно в даному досліді, випробуванні та є оцінками відповідних математичних ймовірностей.

Математичні ймовірності характеризують не окрему вибірку, а всю генеральну сукупність виробів, що випускаються.

Інтенсивність відмов визначається

$$\lambda(t) = \frac{dQ^*}{dt} \cdot \frac{1}{P^*}$$

і представляє собою ймовірність відмов виробів що випробовуються в одиницю часу при умові, що до моменту t відмов не було - *Для випробовування були завідомо вибрані всі справні вироби.*

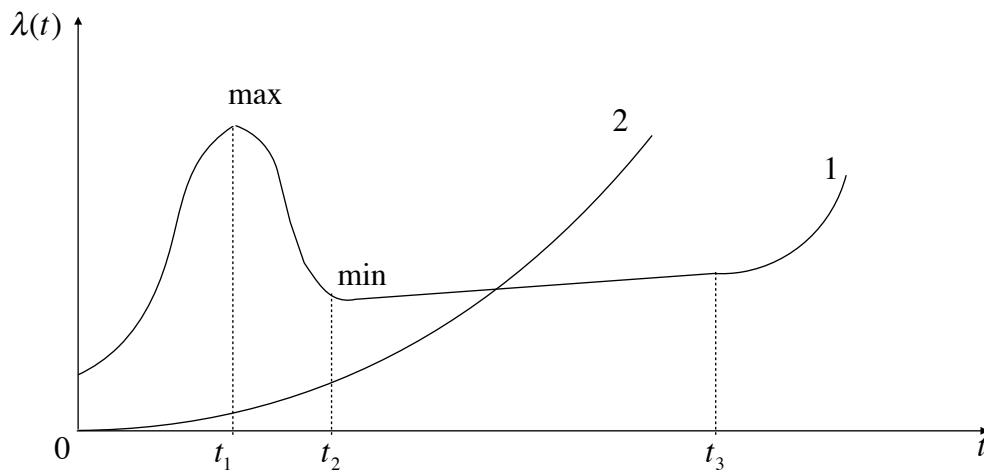
Таким чином по результатам статистичних випробовувань інтенсивність відмов в загальному випадку визначається наступним чином:

$$\lambda(t) = \frac{N(t) - N(t + \Delta t)}{N(t)\Delta t}, \text{ 1/год}$$

$N(t)$ та $N(t + \Delta t)$ - кількість виробів працездатних до моменту t та $(t + \Delta t)$ відповідно.

Δt - тривалість інтервалу випробовування

Залежність $\lambda(t)$ для раптових (1) та поступових (2) відмов має наступний вигляд



$[0 - t_2]$ - час напрацювання (*вигорає все зайве*). Для цього проміжку $\lambda(t)$ змінюється в широких межах

$[t_2 - t_3]$ - $\lambda(t) \approx const$ та відповідає мінімальному значенню. Цей проміжок часу відповідає нормальній роботі виробу з найвищою надійністю.

з t_3 $\lambda(t)$ різко росте, що пов'язано зі старінням на зносом деталей

Розрахунок надійності виконується для проміжку $[t_2 - t_3]$, якому відповідає експоненційний закон зщільності розподілення напрацювання до відмови

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t}$$

Ймовірність безвідмовної роботи, тобто ймовірність того, що не буде відмови в межах заданого напрацювання

$$P(t) = 1 - \int_0^t f(t) dt,$$

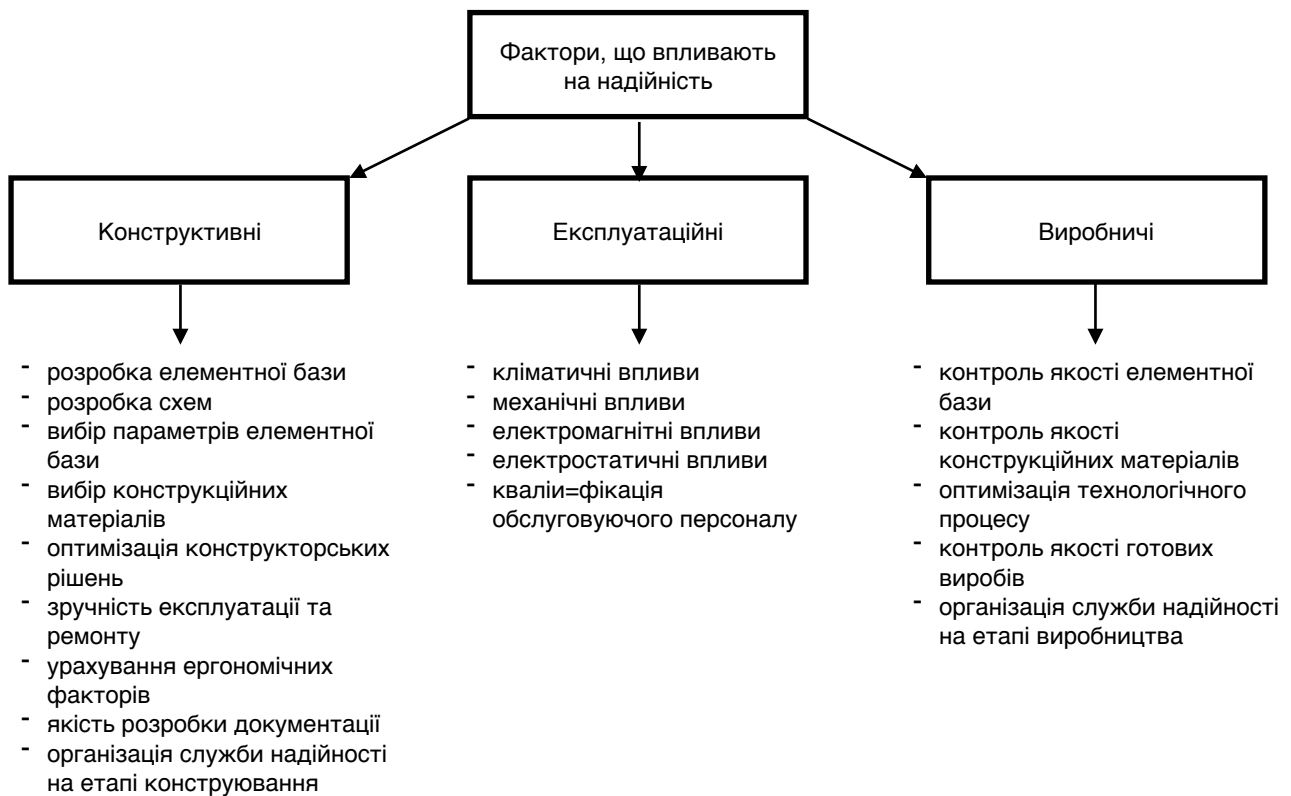
$$P(t) = e^{-\lambda t}$$

$$Q(t) = 1 - P(t)$$

$$T_{cp} = \frac{1}{\lambda}$$

Відновлення ЕОА характеризується такими показниками надійності:

- параметер потоку відмов - $w(t)$
- напрацювання на відмову - T_0
- напрацювання на збій - $T_{сб}$
- ймовірність безвідмовної роботи - $P(t, \tau)$
- середній час відновлення - $T_в$
- коефіцієнт технічний іспитів - $K_{т.і.}$
- коефіцієнт готовності - K_r



Експлуатаційні показники надійності елементів

Під *експлуатаційними показниками надійності* елементів розуміють численні значення показників, що визначені в реальних умовах експлуатації ЕОА

Номінальна інтенсивність відмов λ_n елементів визначається шляхом випробовувань їх при *електричних на зовнішніх навантаженнях* заданих ТУ.

Електричне навантаження характеризується робочими напругами та струмами, що протікають через елементи, а **зовнішні навантаження** - рівнем кліматичних, механічних та інших впливів.

Але в умовах реальної експлуатації елементів в складі ЕОА рівні навантажень можуть істотно відрізнятися від тих, при яких виконувалося визначення λ_n . тому експлуатаційна інтенсивність λ_e може значно відрізнятися від λ_n .

На надійність елементів може надавати істотний вплив також циклічність їх роботи (*кількість циклів вмикання під навантаження та вимкнення*)

При оцінці безвідмовності елементів необхідно враховувати інтенсивність відмов $\lambda_{\text{ц}}$ на один цикл ввімкнення/вимкнення, інтенсивність відмов $\lambda_0 \geq \lambda_n$, що визначається напрацюванням при заданих умовах експлуатації у ввімкненому стані, та інтенсивність відмов λ_x зберігання (вимкнений стан), Для випадку, коли $\lambda_{\text{ц}}$, λ_0 та λ_x постійні в часі та не залежать від $N_{\text{ц}}$, тоді можна показати, що

$$P_e(t) = e^{-(\lambda_0 t_p + \lambda_x t_x + \lambda_{\text{ц}} N_{\text{ц}})} = e^{-\lambda_e t}$$

t_p - сумарний час роботи у ввімкненому стані

t_x - сумарний час знаходження елементу у вимкненому стані за $N_{\text{ц}}$

$$t = t_p + t_x$$

З формули випливає λ_e відношення до часу t визначається сумою

$$\lambda_e = \lambda_0 \frac{t_p}{t} + \lambda_x \frac{t_x}{t} + \frac{\lambda_{\text{ц}} N_{\text{ц}}}{t} = \lambda_0 \frac{t_p}{t} + \lambda_x \frac{t_x}{t} + \lambda_{\text{ц}} F_{\text{ц}} \quad (10)$$

$N_{\text{ц}}$ - число циклів ввімкнення-вимкнення на час t

$F_{\text{ц}}$ - частота цих циклів, що визначена за той же час

$\lambda_{\text{ц}}$ - умовно назвна інтенсивність відмов на цикл роботи елементу, 1/цикл

Якщо елементи працюють в складі ЕОА, то λ_e називають **експлуатаційною інтенсивністю** відмов в масштабі часу роботи ЕОА.

Формулу (10) можна представити так:

$$\lambda_e = \frac{\lambda_0}{1 + \frac{t_x}{t_p}} + \frac{\lambda_x}{1 + \frac{t_p}{t_x}} + \lambda_{\text{ц}} F_{\text{ц}}$$

та впевнитися, що λ_e є функцією $\frac{t_x}{t_p}$ та $F_{\text{ц}}$

З формули (10) видно, що при збільшенні числа циклів $N_{\text{ц}}$ роботи елементів за фіксований t , даже при малому значенні $\lambda_{\text{ц}}$, що визване циклічним режимом роботи, третя складова (10) може суттєво перевищити перші дві. При цьому безвідмовність елементів в основному буде визначатися циклічним режимом роботи та знижуватися зі збільшенням числа $N_{\text{ц}}$.

Оскільки безвідмовність елементів в неперервному режимі роботи вище, чим при циклічному, то напрошується висновок, що ЕОА доцільно використовувати в режимі **тривалого ввімкнення** (проаналізувати).

Для сучасних елементів та ЕОА граничним значенням $F_{\text{ц}}$, вище якого циклічність роботи стає основною причиною відмов, рахують $F_{\text{ц.гр.}} = 1_{\text{цикл}}/\text{год}$.

Оскільки зазвичай $\lambda_x = (0.01 \div 0.001)$, то вплив другої складової в (10) на λ_e стає помітним лише при дуже тривалого зберігання та при великих рівнях впливів в цей період.

На значення λ_0 , λ_x та $\lambda_{\text{ц}}$ елементів, а відповідно й λ_e істотний вплив надають умови експлуатації. Уявлення про цей вплив дають приведені в таблиці відношення λ_e елементів в ЕОА різного призначення до $\lambda_{\text{ел.}}$, що визначається в лабораторних умовах, які відповідають найменшим рівням експлуатаційних впливів.

Відношення інтенсивності відмов елементів ЕА різного призначення до інтенсивності відмов елементів лабораторної ЕА

| Тип ЕОА | $\lambda_e / \lambda_{ел}$ |
|---------------------|----------------------------|
| стаціонарна наземна | 10 |
| корабельна | 17 |
| автомобільна | 95 |
| залізнодорожна | 25-30 |
| високогірна | 80 |
| літакова | 120-150 |

З таблиці випливає, що надійність елементів ЕОА може істотно знижатися зі збільшенням рівня експлуатаційних навантажень.

Інші показники експлуатаційні показники визначаються

$$P_e(t) = e^{-\lambda_e t}$$

$$Q_e(t) = 1 - e^{-\lambda_e t}$$

$$t_{ср. е} = \frac{1}{\lambda_e}$$

Величини λ_0 , λ_x та $\lambda_{ц}$ є складні функції характеру внутрішніх та зовнішніх навантажень, їх рівнів та комбінації видів навантажень, визначити які складно.

Тому в літературі для більшості типів елементів наводяться тільки дані про залежність інтенсивності відмов $\lambda_e = \lambda_0$ при $\lambda_x = 0$ та $F_{ц} = 0$ від різних рівнів електричного навантаження та температури навколишнього середовища. Ці фактори є головними, що визначають безвідмовність елементів.