

ДКТІ

Електронний підручник з дисципліни:

Надійність, діагностика та експлуатація
комп'ютерних систем та мереж

Салогуб М.В. .

2016

Зміст

	с
Змістовий модуль 1. Надійність, діагностика та експлуатація комп'ютерних систем.	5
Тема 1.1 Основні терміни та визначення теорії надійності	5
Вступ. Елементи математичної логіки	5
1.1.1 Випадкові величини, законі розподілення випадкових величин та їх узагальнені характеристики	9
1.1.2 Пошкодження і відмови. Класифікація відмов	19
1.1.3 Етапи аналізу й показники надійності	28
1.1.4 Апріорний та апостеріорний аналіз.	31
Контрольна робота за темою 1.1.	33
Тема 1.2 Закони розподілення випадкових величин при аналізі надійності	35
1.2.1 Залежність інтенсивності відмов від часу	35
1.2.2 Розподіл Вейбулла	38
1.2.3 Експонентний розподіл	40
1.2.4 Розподіл Релея	44
Практична робота №1	46
Контрольна робота за темою 1.2.	54
Семінарське заняття за темами 1.1 та 1.2	55
Тема 1.3 Аналіз структурних схем надійності	56
1.3.1 Способи й основні етапи визначення надійності проєктованих систем. Метод інтегральних рівнянь	56
1.3.2 Метод диференціальних рівнянь	60
1.3.3 Метод оцінки надійності по графі можливих станів системи	63
Контрольна робота за темою 1.3.	65
Тема 1.4 Методи розрахунку надійності електронних засобів	66

1.4.1 Закони розподілу відмов	66
1.4.2 Показники надійності невідновлюваних виробів	71
1.4.3 Показники надійності відновлюваних виробів	75
1.4.4 Оцінка показників надійності за статистичним даними при експлуатації й випробуваннях	78
Контрольна робота за темою 1.4.	80
Семінарське заняття за темами 1.3 та 1.4	81
Тема 1.5 Оцінка надійності апаратної частини комп'ютерних систем	82
1.5.1 Загальні відомості про резервування як про метод підвищення надійності	82
1.5.2 Загальне резервування з постійно включеним резервом і цілою кратністю	84
1.5.3 Роздільне резервування з постійно включеним резервом і цілою кратністю	86
1.5.4 Загальне й роздільне резервування заміщенням і цілою кратністю	88
Практична робота №2	92
Практична робота №3	100
Контрольна робота за темою 1.5.	108
Тема 1.6 Забезпечення надійності програмних засобів	110
1.6.1 Методи підвищення надійності. Забезпечення надійності засобів автоматизації й телемеханіки	110
1.6.2 Основні поняття, визначення й класифікація методів резервування ТС .	112
Практична робота №4	118
Практична робота №5	124
Контрольна робота за темою 1.6.	135
Семінарське заняття за темами 1.5 та 1.6	136
Змістовий модуль 2 Діагностика та експлуатація комп'ютерних мереж	136
Тема 2.1 Класифікація відмов та несправностей комп'ютерних мереж	137
2.1.1 Моделювання надійності комп'ютерної мережі	137

2.1.2	Методика оцінки надійності й захищеності розподілених комп'ютерних мереж.....	140
2.1.3	Марківські моделі надійності відновлюваних систем.....	143
2.1.4	Аналіз комплексних показників надійності локальних мереж.....	147
	Контрольна робота за темою 2.1.....	150
	Семінарське заняття за темою 2.1.....	151

Змістовий модуль 1. Надійність, діагностика та експлуатація комп'ютерних систем.

Тема 1.1 Основні терміни та визначення теорії надійності

Вступ. Елементи математичної логіки.

План:

- 1 Математична логіка;
- 2 Висловлення. Поняття про просте та складене висловлення;
- 3 Проблемне, достовірне ,умовне висловлення;
- 4 Логічні операції над висловленнями;

Математична логіка

Математична логіка – різновид формальної логіки, тобто науки, що вивчає умови з погляду їхньої формальної структури.

Сфера застосування математичної логіки дуже широка. З кожним роком зростає глибоке проникнення ідей та методів математичної логіки в інформатику, обчислювальну математику, лінгвістику, філософію. Потужним імпульсом для розвитку та розширення сфери застосування математичної логіки стала поява електронно-обчислювальних машин. Виявилось, що в рамках математичної логіки вже є готовий апарат для проектування обчислювальної техніки. Методи і поняття математичної логіки є основою, ядром інтелектуальних інформаційних систем. Засоби математичної логіки стали ефективним робочим інструментом для фахівців багатьох галузей науки і техніки.

Висловлення.Поняття про просте та складене висловлення

Висловленням називається речення, яке можна оцінити як істинне чи хибне. Аналогічно змінним звичайної алгебри висловлення позначають буквами якого-небудь алфавіту, наприклад латинського: А, В, Х тощо. Висловлення може набувати істинного або хибного значення. Наведемо приклад:

$A = \{\text{Київ - столиця України}\}$ - це істинне висловлювання, тобто $A=1$;
 $B = \{\text{Київ - столиця Франції}\}$ - хибне висловлювання, тобто $B=0$;
 $C = \{\text{Київ або столиця України, або столиця Франції}\}$ - не є простим висловлюванням, бо про нього не можна сказати чи воно істинне, чи воно хибне.

Висловлення за будовою може бути простим чи складеним. За своїм змістом висловлення містять одне яке-небудь повідомлення або твердження про існуючий світ. Таке висловлення називається **простим**: «діагноз – інфаркт міокарда»; «у пацієнта спостерігається порушення серцевого ритму»

З простих висловлень за допомогою зв'язок І, АБО та НЕ утворюються **складені** висловлення, які називають логічними функціями. Прості висловлення, з яких утворюється складене, називаються логічними аргументами. Речення «Хворий відчуває сильний біль в області щелепи, рот самостійно не закривається, важко ковтати і говорити» є складеним висловленням (логічною функцією «І»).

Проблемне, достовірне, умовне висловлення

Висловлення за своїм змістом може бути проблемним, достовірним або умовним.

Проблемне – це висловлення, в якому щось стверджується чи заперечується з певним ступенем припущення. Наприклад, «причиною головного болю є, ймовірно, підвищений тиск».

Достовірне – це висловлення, що містить знання, обґрунтовані та перевірені практикою. Наприклад, «життя без води неможливо».

Умовне – це висловлення, в якому відображається залежність того чи іншого явища від тих чи інших обставин і в якому підстава і наслідок з'єднуються за допомогою логічного сполучника “якщо ... , то ... « Наприклад, “якщо діагнозом є інфаркт міокарда, то спостерігається порушення серцевого ритму». Отже в умовному висловленні треба розрізняти *підставу* і *наслідок*.

Логічні операції над висловленнями:

Кон'юнкція – логічне множення, логічне «І». Позначається:

$$C=A\wedge B \text{ або } C=A\&B$$

Цей умовний запис читається так: «А і В». Кон'юнкція двох висловлювань істинна лише тоді, коли обидва висловлювання істинні.

A	B	A∧B
1	1	1
1	0	0
0	1	0
0	0	0
1	1	1
1	0	0

Диз'юнкція – логічне додавання, логічне «АБО». Позначається:

$$C=A+B \text{ або } C=A \vee B$$

0	1	1
0	0	0

Читається так: «А або В». Диз'юнкція двох висловлювань істинна лише тоді, коли хоча б одне з висловлювання істинне, або істинні обидва висловлювання одночасно.

Інверсія – логічне заперечення, Логічна операція НЕ позначається:

$$\bar{A} \text{ або } \neg A$$

Читається так: «не А». Інверсія - унарна операція над судженнями, результатом якої є судження «протилежне» початковому. **Унарні** операції використовують одну логічну змінну. **Бінарні** операції використовують дві логічні змінні.

A	\bar{A}
1	0
0	1

Імплікація – логічний наслідок, логічне «якщо ..., то ...».

Позначається:

$$A \rightarrow B \text{ або } A \Rightarrow B$$

Читається так: «якщо А то В». Імплікація має значення «хибність», тоді і тільки тоді, коли перше висловлювання істинне, а друге – хибне. Логічну імплікацію можна задати через інші логічні операції, наприклад:

$$A \rightarrow B = \bar{A} \vee B$$

A	B	$A \rightarrow B$
1	1	1
1	0	0
0	1	1
0	0	1

Еквівалентність – логічне порівняння, «...еквівалентно...». Позначається:

$$A \equiv B \text{ або } A \leftrightarrow B$$

Читається так: «А еквівалентно В». Еквівалентність має істинність лише коли обидва висловлювання одночасно хибні або істинні.

A	B	$A \leftrightarrow B$
1	1	1
1	0	0
0	1	0
0	0	1

Контрольні питання:

1. Що таке «Математична логіка»?
2. Що таке висловлювання? Чим просте висловлення відрізняється від складеного? Наведіть власні приклади.
3. Які висловлення називають проблемним? Наведіть власні приклади.
4. Які висловлення називають достовірними?
5. Які висловлювання називають умовними? Це прості чи складені висловлення? Наведіть власні приклади.

6. Які операції називають унарними? Наведіть приклад.
7. Для кожної операції побудуйте таблицю істинності:
а) $C=A \wedge B$ б) $C=A \vee B$ в) \bar{A} г) $A \rightarrow B$ д) $A \leftrightarrow B$

Тема 1.1.1 Випадкові величини, законі розподілення випадкових величин та їх узагальнені характеристики

План

- 1 Поняття випадкової величини. Дискретна випадкова величина;
- 2 Закон розподілу. Ряд розподілу. Функція розподілу. Крива розподілу;
- 3 Математичне сподівання. Мода та медіана;
- 4 Дисперсія. Середнє квадратичне відхилення. Початковий та центральний момент;

Поняття випадкової величини. Дискретна випадкова величина

Випадковою величиною називається така величина, яка в результаті спроби може прийняти те або інше заздалегідь невідоме значення. Приклад випадкової величини:

- число пасажирів в автобусі міського маршруту;
- поточне значення напруги в побутовій електричній мережі.

Розрізняють дискретні і безперервні випадкові величини.

Дискретною (перерваною) випадковою величиною називається така величина, різні значення якої можна заздалегідь перерахувати. Кількість значень дискретної випадкової величини може бути кінцевою, наприклад, число пасажирів у вагоні метро, або зчисленою, наприклад, кількість крапель дощу, що впали на дах дому за останні 50 років.

Безперервною називають випадкову величину, яка може набувати усіх значень з деякого кінцевого або нескінченного проміжку. Кількість можливих значень безперервної випадкової величини нескінченна.

Розглянемо дискретну випадкову величину X , значення якої x_1, x_2, \dots, x_n нам відомі. Знання про можливі значення випадкової величини ще не дає нам повний опис випадкової величини, бо ми не можемо сказати, як часто можуть з'явитися ті чи інші значення випадкової величини. Для цього необхідно знати закон розподілу ймовірностей випадкової величини.

Внаслідок проведення досліду випадкова величина X набуде одного із своїх можливих значень, тобто відбудеться одна подія із повної групи несумісних подій: $X=x_1, X=x_2, \dots, X=x_n$.

Позначимо ймовірності цих подій літерами p з відповідними індексами: $P(X=x_1)=p_1, P(X=x_2)=p_2, \dots, P(X=x_n)=p_n$

Сума ймовірностей всіх можливих значень випадкової величини X дорівнює одиниці.

$$\sum_{i=1}^n P(X = x_i) = \sum_{i=1}^n p_i = 1 \quad (1.1.1)$$

Ця сумарна ймовірність якимось чином розподілена між окремими значеннями випадкової величини. Дискретна випадкова величини буде повністю описана з точки зору ймовірності, якщо буде вказано, яку ймовірність має кожна з подій. Таким чином ми встановимо закон розподілу випадкової величини.

Закон розподілу. Ряд розподілу. Функція розподілу. Крива розподілу

Законом розподілу випадкової величини називають будь яке співвідношення, що встановлює зв'язок між можливими значеннями випадкової величини та відповідними ймовірностями.

Найпростішою формою завдання закону розподілу випадкової величини X є таблиця, у якій перелічені можливі значення випадкової величини з відповідними ймовірностями .

Таблиця 1.1 - Приклад запису закону розподілу

x_i	x_1	x_2	...	x_n
p_i	p_1	p_2	...	p_n

Така таблиця носить назву **ряду розподілу** випадкової величини X , її також можна представити графічно. Можливі значення випадкової величини відкладаємо по осі абсцис, а по осі ординат – відповідні ймовірності. Вершини з'єднують відрізками прямих, а таку фігуру називають багатокутником розподілу. Сума ординат багатокутника розподілу завжди дорівнює 1.

Розглянутий ряд розподілу являє собою дуже зручну форму уявлення закону розподілу для дискретної випадкової величини з скінченим числом можливих значень. Проте ряд розподілу взагалі не можна побудувати для неперервної випадкової величини.

Тобто необхідно мати таку характеристику розподілу ймовірності, що її можна було б застосовувати для найрізноманітніших випадкових величин.

Найзагальнішою формою закону розподілу випадкової величини X є, так звана, **функція розподілу**.

Функцією розподілу, або інтегральним законом розподілу випадкової величини X називається завдання ймовірності виконання нерівності $X < x$, що розглядається як функція від аргументу x :

$$F(x) = P(X < x) \quad (1.2)$$

Функція розподілу повністю характеризує випадкову величину з точки зору ймовірності, тому вона є однією з форм закону розподілу.

Для дискретної випадкової величини функція розподілу матиме вигляд:

$$F(x) = \sum_{x_i < x} P(X = x_i) \quad (1.1.3)$$

З цього виразу можна побачити, що функція розподілу дискретної випадкової величини стрибкоподібно зростає.

Загальні властивості функції розподілу:

1) $F(x)$ – невід’ємна функція із значеннями між нулем та одиницею.

$$0 \leq F(x) \leq 1$$

2) Ймовірність появи випадкової величини на інтервалі $[a, b)$, дорівнює різниці значень функції розподілу на кінцях інтервалу, тобто

$$P(a \leq X < b) = F(b) - F(a) \quad (*)$$

Нехай маємо неперервну випадкову величину X та задану її функцію розподілу $F(x)$. Обчислимо ймовірність потрапляння цієї випадкової величини на елементарний відрізок $(x, x + \Delta x)$. Тоді маємо

$$P(x < X < x + \Delta x) = F(x + \Delta x) - F(x); \quad (1.1.4)$$

Складемо відношення цієї ймовірності до довжини відрізка Δx .

$$P(x < X < x + \Delta x) / \Delta x = (F(x + \Delta x) - F(x)) / \Delta x; \quad (1.1.5)$$

Отримане співвідношення носить назву **середньої ймовірності**, яка припадає на одиницю довжини даного інтервалу. Будемо вважати, що функція розподілу $F(x)$ диференційована, тому у рівності перейдемо до границі при $\Delta x \rightarrow 0$.

$$\lim_{\Delta x \rightarrow 0} \frac{P(x < X < x + \Delta x)}{\Delta x} = \lim_{\Delta x \rightarrow 0} \frac{F(x + \Delta x) - F(x)}{\Delta x} = F'(x) ; (1.1.6)$$

Границя відношення ймовірності потрапляння неперервної випадкової величини на елементарний відрізок від x до $x + \Delta x$ до довжини цього відрізка Δx , коли $\Delta x \rightarrow 0$, називається щільністю розподілу випадкової величини у точці x та позначається $f(x)$ (або $\varphi(x)$).

$$f(x) = F'(x) ; (1.1.7)$$

Сенс щільності ймовірності полягає в тому, що вона демонструє те, як часто з'являється випадкова величина X у деякому околі точки x при повторенні дослідів.

Крива, що зображає щільність розподілу $f(x)$ випадкової величини, називається **кривою розподілу**.

Випадкова величина X називається **неперервною**, якщо її функція розподілу $F(x)$ неперервна на всій осі Ox , а щільність розподілу $f(x)$ існує скрізь, окрім, можливо, скінченної кількості точок.

Властивості щільності розподілу:

1. Щільність розподілу невід'ємна.

$$F(x) \geq 0$$

2. Функція розподілу випадкової величини дорівнює інтегралу від щільності в інтервалі $(-\infty, x)$

$$F(x) = \int_{-\infty}^x f(x) dx$$

3. Ймовірність попадання неперервної випадкової величини X на інтервал (a, b) дорівнює інтегралу від щільності розподілу, що його взято по цьому інтервалу, тобто

$$P(a < X < b) = \int_a^b f(x) dx$$

4. Інтеграл з нескінченними границями від щільності ймовірності дорівнює 1.

$$\int_{-\infty}^{\infty} f(x) dx = 1$$

Закон розподілу повністю характеризує випадкову величину з точки зору ймовірності. Однак, при вирішенні багатьох практичних задач немає необхідності характеризувати випадкову величину повністю, а достатньо мати тільки деяке загальне уявлення. В теорії ймовірності для загальної характеристики випадкової величини використовують деякі величини, які носять назву числових характеристик випадкової величини. Їх призначення – у стислій формі показати найбільш суттєві особливості того чи іншого розподілу.

Про кожну випадкову величину необхідно знати перш за все її деяке середнє значення, біля якого групуються можливі значення випадкової величини, а також якесь число, що характеризує ступінь розкиду цих значень відносно середнього. Крім цих характеристик використовують деякі інші.

Математичне сподівання. Мода та медіана

Математичне сподівання випадкової величини (характеристика положення) іноді називають просто середнім значенням випадкової величини.

Спочатку розглянемо дискретну випадкову величину X , яка має значення x_1, x_2, \dots, x_n , з ймовірностями p_1, p_2, \dots, p_n . Тоді математичне сподівання випадкової величини X визначається рівністю

$$M[X] = x_1 p_1 + x_2 p_2 + \dots + x_n p_n = \sum_{i=1}^n x_i p_i \quad (1.1.8)$$

Якщо дискретна величина X може приймати нескінчену кількість значень, то її математичне сподівання визначається рівністю

$$M[X] = \sum_{i=1}^{\infty} x_i p_i \quad (1.1.9)$$

Математичним сподіванням випадкової величини X називається сума добутоків всіх можливих значень випадкової величини на ймовірності цих значень.

У подальшому поряд з $M[X]$ будемо використовувати m_x .

Розглянемо неперервну випадкову величину X , всі можливі значення якої належать проміжку $[a, b]$. Нехай $f(x)$ – щільність розподілу величини X . Розіб'ємо проміжок на n відрізків, довжини яких позначимо відповідно $\Delta x_1, \Delta x_2, \dots, \Delta x_n$. Візьмемо у кожному відрізку по одній точці, абсциси яких позначимо відповідно x_1, x_2, \dots, x_n .

Так як добуток $f(x_i)\Delta x_i$ наближено дорівнює ймовірності попадання випадкової величини X на елементарний відрізок Δx_i , то сума добутоків

$$\sum_{i=1}^n x_i f(x_i) \Delta x_i, \tag{1.1.10}$$

що складена за аналогією з визначенням математичного сподівання для дискретної випадкової величини, наближено дорівнює математичному сподіванню неперервної випадкової величини X .

Якщо перейти до границі у рівності (3.1) при $\max \Delta x_i \rightarrow 0$, отримаємо визначений інтеграл

$$\lim_{\max \Delta x_i \rightarrow 0} \sum_{i=1}^n x_i f(x_i) \Delta x_i = \int_a^b x f(x) dx \tag{1.1.11}$$

його вважають рівним за визначенням математичному сподіванню неперервної випадкової величини X .

Тобто, математичним сподіванням неперервної випадкової величини X , можливі значення якої належать відріжку $[a, b]$, називають визначений інтеграл:

$$M[x] = \int_a^b x f(x) dx \tag{1.1.12}$$

Якщо можливі значення неперервної випадкової величини X належать усій числовій осі, то математичне сподівання визначається інтегралом

$$M[x] = \int_{-\infty}^{\infty} x f(x) dx \tag{1.1.13}$$

Слід зауважити, що зустрічаються такі випадкові величини, для яких відповідна сума або інтеграл не збігаються.

Властивості:

- 1 Математичне сподівання постійної величини дорівнює самій постійній.

$$M[C]=C$$

- 2 Постійний множник можна виносити за знак математичного сподівання.

$$M[C X]=C M [X]$$

Окрім математичного сподівання, яке є головною числовою характеристикою розташування випадкової величини, на практиці застосовують й інші характеристики.

Модою M_0 дискретної випадкової величини називається її найімовірніше значення.

Для неперервної випадкової величини мода є таким значенням випадкової величини, для якого щільність розподілу має максимум, тобто $f(M_0)=\max$.

Якщо багатокутник розподілу (крива розподілу) має два або більше максимумів, то такий розподіл називають двомодальним, багатомодальним.

Іноді зустрічаються розподіли, у яких немає максимуму, проте є мінімум. Такі розподіли називають антимодальними.

Медіаною M_D випадкової величини X називається таке її значення, відносно якого рівноімовірне отримання більшого або меншого значення випадкової величини, тобто

$$P(X < M_D) = P(X > M_D) \quad (1.1.14)$$

Геометрично медіана – це абсциса точки, у якій площа, що обмежена кривою розподілу ділиться навпіл. Кожна з цих площ $= 0,5$, тому функція розподілу у точці M_D

$$F(M_D) = P(X < M_D) = 0,5 \quad (1.1.15)$$

Звернімо увагу, що якщо розподіл одномодальний та симетричний, то всі три характеристики положення випадкової величини співпадають.

Для того, щоб охарактеризувати випадкову величину, недостатньо знати тільки числові характеристики розташування. Значення випадкових величин, що спостерігаються на практиці завжди більше або менше коливаються навколо середнього значення. Таке явище називається розсіюванням випадкової величини навколо свого середнього значення.

Головними характеристиками розсіювання випадкової величини є дисперсія та середнє квадратичне відхилення.

При визначення таких характеристик використовують різницю між випадковою величиною X та її математичним сподіванням, тобто $X - m_x$, така різниця називається центрованою випадковою величиною (X^*).

Видно, що закон розподілу центрованої випадкової величини співпадає з законом розподілу відповідної випадкової величини X .

Математичне сподівання такої величини дорівнює 0.

Для дискретної випадкової величини

$$M[X^*] = M[X - m_x] = \sum_{i=1}^n (x_i - m_x) p_i = \sum_{i=1}^n x_i p_i - \sum_{i=1}^n m_x p_i = m_x - m_x \sum_{i=1}^n p_i = m_x - m_x = 0 \quad (1.1.16)$$

Для неперервної випадкової величини

$$M[X^*] = M[X - m_x] = \int_{-\infty}^{\infty} (x - m_x) f(x) dx = \int_{-\infty}^{\infty} x f(x) dx - m_x \int_{-\infty}^{\infty} f(x) dx = m_x - m_x = 0 \quad (1.1.17)$$

Тобто, якщо математичне сподівання центрованої випадкової величини дорівнює нулю для будь-якої випадкової величини X , то воно ні як не характеризує розсіювання її значень (а лише вказує на те, що значення відхилення – числа з різними знаками).

Тому, у якості міри розсіювання беруть математичне сподівання квадрату відхилення випадкової величини від її математичного сподівання

$$M[(X - m_x)^2], \quad (1.1.18)$$

яке називають дисперсією випадкової величини X , та позначають $D[X]$ або Dx .

Дисперсія. Середнє квадратичне відхилення. Початковий та центральний момент

Дисперсією випадкової величини називається математичне сподівання квадрата відхилення величини від її математичного сподівання.

$$D[X] = M[(X - m_x)^2] \quad (1.1.19)$$

Для дискретної випадкової величини дисперсія дорівнює:

$$D[X] = \sum_{i=1}^n (x_i - m_x)^2 p_i \quad , (1.1.20)$$

а для неперервної:

$$D[X] = \int_{-\infty}^{\infty} (x - m_x)^2 f(x) dx \quad . (1.1.21)$$

Дисперсія випадкової величини є досить зручною характеристикою розсіювання можливих значень випадкової величини. Проте, в неї немає наочності, так як вона має розмірність квадрата випадкової величини. Для більшої зручності треба мати характеристику, що своєю розмірністю співпадає з розмірністю випадкової величини.

Такою характеристикою є **середнє квадратичне відхилення**, яке являє собою **корінь квадратний з її дисперсії**. Позначається σ_x .

Властивості дисперсії.

1 Дисперсія постійної величини дорівнює 0.

$$D[C]=0$$

2 Дисперсія добутку постійної величини на випадкову величину дорівнює добутку квадрата постійної на дисперсію випадкової величини.

$$D(CX)=C^2D(X)$$

3 Дисперсія випадкової величини дорівнює різниці математичного сподівання квадрата випадкової величини та квадрата її математичного сподівання.

$$D(X)=M(X^2) - (m_x)^2$$

Узагальненням основних числових характеристик випадкових величин є поняття моментів випадкової величини. В теорії ймовірностей розрізняють моменти двох видів: початкові та центральні.

Початковим моментом k-го порядку випадкової величини X називають математичне сподівання величини X^k , тобто

$$\alpha_k = M[X^k]. \quad (1.1.22)$$

Відповідно, для дискретної випадкової величини:

$$\alpha_k = \sum_{i=1}^n x_i^k p_i \quad (1.1.23)$$

а для неперервної:

$$\alpha_k = \int_{-\infty}^{\infty} x^k f(x) dx \quad (1.1.24)$$

З визначення можна побачити, що початковий момент першого порядку – математичне сподівання.

Центральним моментом k-го порядку випадкової величини X називають математичне сподівання величини $(X-m_x)^k$,

$$\mu_k = M[(X - m_x)^k]. \quad (1.1.25)$$

Для дискретної випадкової величини :

$$\mu_k = \sum_{i=1}^n (x_i - m_X)^k p_i \quad (1.1.26)$$

Для неперервної :

$$\mu_k = \int_{-\infty}^{\infty} (x - m_X)^k f(x) dx \quad (1.1.27)$$

Очевидно, що центральний момент першого порядку дорівнює нулю, а другого – являє собою дисперсію випадкової величини .

У теорії ймовірності широко застосовується поняття центрального моменту третього та четвертого порядку.

Третій центральний момент μ_3 є характеристикою для асиметрії (похилості) розподілу. Якщо випадкова величина розподілена симетрично відносно свого математичного сподівання, то третій центральний момент дорівнює нулю. Величина $a_x = \mu_3 / \sigma_x^3$ носить назву коефіцієнту асиметрії (и $a_x > 0$ крива розподілу має додатну симетрію, а при $a_x < 0$ – від'ємну).

Четвертий центральний момент використовують для характеристик вершин розподілу. Ці властивості описують за допомогою ексцесу $\varepsilon_X = \frac{\mu_4}{\sigma_x^4} - 3$. Криві з гострими вершинами мають додатний ексцес, з плоскими – від'ємний.

Контрольні питання:

1. Що таке випадкова величина? Що таке дискретна випадкова величина?
2. Що таке закон розподілу? Що таке ряд розподілу?
3. Що таке функція розподілу? Назвіть її властивості.
4. Що таке математичне сподівання? Назвіть його властивості.
5. Що таке мода? Що таке медіана?
6. Що таке дисперсія? Який взаємозв'язок між дисперсією та середнім квадратичним відхиленням?
7. Що таке початковий момент? Що таке центральний момент?
8. Яку ознаку розподілу характеризує третій центральний момент?
9. Яку ознаку розподілу характеризує четвертий центральний момент?

Тема 1.1.2 Пошкодження і відмови. Класифікація відмов

План

- 1 Базове поняття надійності;
- 2 Відмови та пошкодження. Непрацездатність та дефекти;
- 3 Класифікація відмов;
- 4 Надлишковість;

Базове поняття надійності

Надійністю називають властивість технічного об'єкту (ТО) зберігання в часі і встановлених межах значення всіх параметрів, які характеризують властивість ТО виконувати свої функції в заданих режимах і умовах.

Ще на стадії проектування, коли значення параметрів майбутнього ТО тільки вибираються, конструктори беруть до уваги і повинні забезпечити, щоб у даного ТО був визначений запас надійності, і закладають цей запас в конструкцію.

Технологи контролюють процеси виготовлення, монтажу і зборки та забезпечують втілення закладених в проект якостей.

Коли готовий ТО потрапляє на виробництво, то відповідальність за його надійність бере технічна служба, яка намагається дотримуватися всіх правил експлуатації, своєчасно контролювати стан ТО, займатися його ремонтом і випробовуванням після ремонту.

Надійність тісно пов'язана з різними сторонами експлуатації ТО. Найбільш просто і коротко надійність можна визначити як властивість ТО не виходити з ладу і виконувати свої функції в повному об'ємі. Іншими словами, добре спроектований, якісно виготовлений, детально і всесторонньо випробуваний до початку експлуатації та при самій експлуатації згідно технічних умов (ТУ) ТО на протязі всього часу повинен працювати без будь-яких зупинок, крім передбачених в плановому порядку, або викликаних організаційними факторами.

Пошкодження та відмови. Непрацездатність та дефекти

Пошкодженням називається подія, що полягає в порушенні справності ТС або її складових частин із-за впливу зовнішніх умов, що перевищують рівні, встановлені НТД.

Відмова – це випадкова подія, що полягає в порушенні працездатності ТС під впливом ряду випадкових чинників.

Пошкодження може бути **істотним** і з'явитися причиною відмови і **неістотним**, при якому працездатність ТС зберігається.

Стосовно до відмов і пошкодження розглядають **критерій, причину, ознаки прояву, характер і наслідки**.

Працездатний стан ТС визначаються безліччю заданих параметрів і допусками на них – допустимими межами їх зміни.

Надійність розглядається як самостійна властивість ТО, яка відображає випадкові події, пов'язані з його відмовами при використанні. Основу чисельного визначення показників надійності складає така наука як теорія ймовірності (розділ математики, що вивчає закономірності, яким підпорядковуються випадкові явища).

Основним поняттям теорії ймовірності є дослід і подія, а також їх ймовірність. Під **дослідом** в теорії ймовірності розуміють сукупність явищ, при яких може спостерігатися деякий кількісний або якісний результат, що називається наслідком. **Подія** – очікуваний результат дослідів, який спостерігається.

Ймовірністю події називається таке число, яке тим більше, чим більша ймовірність цієї події.

В теорії надійності як подія розглядається **відмова**, тобто подія, наслідком (результатом) якої є перехід ТО в непрацездатний стан.

Непрацездатним називається стан, при якому ТО не в змозі виконувати задані функції, а **працездатним** – стан, при якому він виконує свої функції.

Причинами відмови можуть бути **дефекти**, які мали місце при конструюванні, виробництві і ремонтах, порушеннях правил експлуатації, природні процеси зносу та старіння.

Класифікація відмов

За характером виникнення відмови можна класифікувати наступним чином (таблиця 1.5)

Таблиця 1.5 – Класифікація відмов

Ознаки відмови	Вид відмови	Характеристика відмови
Характер зміни параметра до моменту виникнення відмови	Раптова	Стрибокподібна зміна значень одного або декількох параметрів ТС
	Поступова	Поступова зміна одного або декількох параметрів за рахунок повільного, поступового погіршення якості ТС. (Наприклад, знос поршневих кілець в циліндрах двигуна внутрішнього згорання - поступова відмова)
Зв'язок з відмовами інших елементів(вузлів)	Незалежна (первинна)	Відмова не обумовлена пошкодженнями або відхиленнями інших елементів (вузлів)
	Залежна (вторинна)	Відмова обумовлена пошкодженнями або відмовами інших елементів (вузлів, пристроїв).
Можливість використання елемента після відмови	Повна	Повна втрата працездатності, що виключає використання ТС за призначенням
	Часткова	Подальше використання системи можливе, але з меншою ефективністю
Характер прояви відмови	Збій	Відмова, що самоусувається, приводить до короткочасного порушення роботоздатності

	Переміжна	Багаторазовий виникаючий збій одного і того ж характеру (то виникає, то зникає), пов'язаний із зворотними випадковими змінами режимів роботи і параметрів пристрою.
	Стійка (остаточна)	Відмова, що усувається тільки в результаті проведення відновних робіт, є наслідком необоротних процесів в деталях і матеріалах. (Наприклад, вихід з ладу пристрою із-за обриву нитки напруження електронної лампи)
Причина виникнення відмови	Конструкційна	Виникає унаслідок порушення встановлених правил і норм конструювання
	Виробнича	Виникає із-за порушення або недосконалості технологічного процесу виготовлення або ремонту ТС
	Експлуатаційна	Виникає унаслідок порушення встановлених правил і умов експлуатації ТС
Час виникнення відмови	Період придобання	Обумовлена прихованими виробничими дефектами, не виявленими в процесі контролю
	Період норм експлуатації	Обумовлена недосконалістю конструкції, прихованими виробничими дефектами і експлуатаційними навантаженнями
	Період старіння	Обумовлена процесами старіння і зносу матеріалів і елементів ТС
Можливості виявлення відмов	Очевидні (явні)	

	Приховані (неявні)	
--	-----------------------	--

Поступові відмови виникають в результаті протікання того чи іншого процесу старіння, який погіршує початкові параметри ТО або його елементів. Основною ознакою поступової відмови є те, що ймовірність її виникнення на протязі заданого періоду часу залежить від тривалості попередньої експлуатації. Чим довше експлуатувався ТО, тим більша ймовірність виникнення відмови. До цього виду відмов відносяться більшість відмов ТО. Вони пов'язані з процесами зносу, старіння, корозії, втоми і повзучості матеріалів (знос робочих коліс відцентрового насоса, підшипників ковзання його привідного двигуна тощо).

Раптові відмови виникають в результаті поєднання несприятливих факторів і випадкових зовнішніх впливів, які перевищують можливість ТО до їх сприйняття. Основною ознакою раптової відмови є незалежність ймовірності її виникнення на протязі заданого періоду часу від тривалості попередньої експлуатації ТО (обрив і падіння вузлів заглибної електроустановки для видобутку нафти (ЗЕУ) на вибій свердловини, коротке замикання обмоток статора електродвигуна тощо). Вихід з ладу при цьому проходить, як правило, раптово, без попередніх симптомів руйнування ТО чи його елементів.

У випадку, коли після виникнення відмови використання ТО за його призначенням неможливе до відновлення його працездатності, відмова буває **повною** (електропробій силового кабелю). Відмова, яка настала в результаті виходу параметру (параметрів) за встановлені межі, але на призвела до повної втрати ТО здатності виконувати потрібні функції, вважається **частковою** (двигун працює не на всіх циліндрах). **Переміжна відмова** або **збій** – це відмова ТО, яка полягає в тому, що в результаті зміни параметрів елементів ТО під впливом внутрішніх або зовнішніх причин ТО (або елемент) на протязі деякого часу перестає виконувати свої функції. Правильна робота ТО в цьому випадку відновлюється самостійно без втручання ззовні. Така відмова часто є повторювана. Відмова, після настання якої можна відновити працездатність ТО вважається **зворотною**. Відмова, в результаті якої застосування будь-яких міроприємств не призведе до відновлення працездатності ТО, називається **незворотною** (обрив ЗЕУ для видобутку нафти по корпусу електродвигуна чи насоса з падінням їх на вибій свердловини). По зв'язку з попередніми відмовами вони поділяються на **незалежні**, які не є наслідком відмов, що виникли раніше, і **залежні** – є наслідком попередніх відмов (більшість відмов електричних виконавчих механізмів СУ є залежними, оскільки виникли внаслідок

перевантаження по струму в силових ланцюгах електродвигуна при одночасному неспрацюванні захисту, що призводить до перегорання обмоток електродвигуна).

Явні або **очевидні відмови** – це ті відмови ТО, які виявляються безпосередньо після їх виникнення. Для явних відмов часом їх виявлення (інтервал часу між моментом відмови і моментом, коли про цю відмову стає відомо обслуговуючому персоналу) можна знехтувати. **Неявні (скриті) відмови** – це ті відмови ТО, які не можуть бути виявлені безпосередньо після їх виникнення. Для скритих відмов суттєвим є час їх виявлення (вихід нормованих метрологічних характеристик засобів вимірювання за межі допустимих значень може бути виявлено не в момент виявлення, а лише при перевірках за допомогою спеціальних операцій, які вимагають застосування взірцевих засобів вимірювання). Відмови, які виникли внаслідок недосконалості прийнятих методів проектування або помилок конструктора називаються **конструктивними**, внаслідок порушення технічних умов (ТУ) на процес виготовлення, ремонту технологічного обладнання і ТО, або помилок технолога – **виробничими**, а внаслідок порушення ТУ на експлуатацію або помилок обслуговуючого персоналу – **експлуатаційними**.

За часом появи розрізняють відмови ТО, які виникають під час роботи і зберігання. Зокрема, час роботи, як правило, розбивають на три інтервали: припрацювання, нормальної експлуатації, зносу (старіння). Для переважаючої більшості елементів ТО кількість відмов в інтервалах припрацювання і зносу значно більша, ніж в інтервалі експлуатації. У випадку, коли ТО відмовив і його працездатність може бути відновлена ремонтним персоналом, ціна відмови – **простій**. Якщо в результаті відмови – падіння ЗЕУ на вибій свердловини та проведеного підземного ремонту свердловини її не вдається підняти на поверхню і свердловину закривають, ціна відмови – **невиконання задачі**.

Ефективність

Надійність є лише однією з властивостей ТО, яка відрізняється від решти властивостей тим, що проявляє себе лише в процесі експлуатації. Іншими словами, надійність – це здатність ТО, розвернута в часі. Надійність – комплексна властивість, яка, в залежності від специфіки ТО і умов його експлуатації, включає в себе: безвідмовність, довговічність, ремонтпридатність та зберігаємість окремо, або у визначеному поєднанні, причому, як для ТО, так і для його окремих частин.

Безвідмовність – це властивість ТО зберігати працездатний стан на протязі визначеного (заданого) часу при нормальних умовах експлуатації.

Ремонтопридатність характеризує надійнісні властивості ТО, які вже втратили працездатний стан.

Довговічність – властивість зберігати працездатний стан до настання граничного стану при відповідному обслуговуванні і, можливо, при багаторазових ремонтах.

Для ТО, які рідко використовуються, але довго зберігаються, розглядають ще одну складову надійності.

Збереженість – це властивість ТО зберігати працездатний стан незалежно від впливу несприятливих умов при тривалому зберіганні і транспортуванні.

Таким чином, поняття надійності є фундаментальним поняттям, яке охоплює всі етапи технічної експлуатації ТО. В першу чергу, надійність є складовою частиною більш широкого поняття – **ефективності**.

Під ефективністю розуміють властивість ТО виконувати задані функції з потрібною якістю. Ефективність ТС - це властивість системи виконувати задані функції з необхідною якістю. Причому на ефективність функціонування ТС разом з надійністю впливають і інші характеристики, такі як точність, швидкодія, перешкодостійкість і т.д.

Таким чином, основним завданням при проектуванні ТС різного призначення можна назвати підвищення ефективності і якості, а, отже, поліпшення таких характеристик ТС, як надійність, міцність, швидкодія і т.д.

З метою забезпечення надійності в ТО широко використовується внесення надлишковості.

Надлишковість

Надлишковість – додаткові засоби і можливості зверх мінімально необхідних для виконання ТО заданих функцій.

Одним з методів підвищення надійності, широко використовуваним при проектуванні ТС, є резервування - метод підвищення надійності за рахунок введення надмірності. Під надмірністю розуміють додаткові засоби і можливості мінімально необхідні для виконання ТС заданих функцій.

Резервування – метод підвищення надійності шляхом внесення надлишковості.

Розрізняють надлишковість навантажувальну, параметричну, функціональну і структурну.

Навантажувальна надлишковість з'являється лише тоді, коли в ТО вносяться елементи з визначеним запасом потужності, робочої напруги, струму і інш. При цьому коефіцієнт навантаження елементів K_H знижується, зменшуючи інтенсивність відмов:

$$K_H = \frac{X_p}{X_{\text{нр}}}, (1.1.28)$$

де X_p , $X_{\text{нр}}$ – відповідно робоче і потрібне навантаження.

Параметрична надлишковість забезпечує вибір початкових значень параметрів елементів таким чином, щоб час їх перебування в області допустимих значень виявився максимальним (наприклад, потужність передавача 100 Вт і чутливість 5 мкВ; розрахувавши передавач на 1500 Вт і чутливістю 3 мкВ, підвищено надійність).

Функціональна надлишковість – може бути результатом використання неосновних (побічних) функцій, які компенсують відмови, що виникли в ТО (гальмування коробкою передач може в деякій мірі компенсувати відмову гальм автомобіля).

Структурну надлишковість отримують внесенням додаткових постійно ввімкнутих елементів (паралельне ввімкнення резисторів і одночасна робота двох генераторів в той час, коли для забезпечення всіх споживачів потрібен один).

Резервування відрізняється тим, що додаткові (резервні) елементи включаються в роботу тільки після виходу з ладу основних.

Контрольні питання:

1. Дайте визначення Надійності.
2. Що таке відмова? Що таке пошкодження? Чим вони різняться?
3. Що таке непрацездатний стан. Чому він виникає?
4. Дайте визначення таких різновидів відмов:
 - а) Поступові та раптові відмови
 - б) Повна, переміжна та часткова відмови. Чим переміжна відмова відрізняється від збою?
 - в) Зворотня та незворотня відмови.
 - г) Залежна та незалежна відмови.
5. Що таке ефективність? Назвіть та охарактеризуйте її складники.
6. Що таке надлишковість? Назвіть її різновиди.

7. Що таке резервування? Чим резервування відрізняється від надлишковості?

Тема 1.1.3 Етапи аналізу і показники надійності

План:

- 1 Визначення показників надійності;
- 2 Основні типи впливу на надійність;

Визначення показників надійності

Показниками надійності (ПН) називаються кількісні характеристики одного або декількох властивостей, що визначають надійність елемента (системи).

Одиничний ПН - це кількісна характеристика однієї з розглянутих раніше властивостей надійності.

Комплексний ПН - це кількісна характеристика, що визначає дві або більше властивості надійності одночасно.

Вибір ПН багато в чому залежить від призначення ТС і характеру її функціонування. При виборі ПН слід мати на увазі, що ці показники повинні достатньо повно описувати надійні властивості системи, бути зручними для аналітичного розрахунку і експериментальної перевірки за наслідками випробувань, повинні мати розумний фізичний сенс і, нарешті, допускати можливість переходу до показників якості і ефективності.

Кількісна оцінка надійності елементів ТС і ТС в цілому проводиться зазвичай за допомогою одиничних ПН безвідмовності, відновлюваності і довговічності, а також комплексних ПН, що визначають властивості безвідмовності і відновлюваності.

Основні типи впливу на надійність

До основних факторів, які впливають на надійність ТО відносяться: суб'єктивні, які залежать від діяльності людини та об'єктивні, які включають внутрішні (за рахунок зносу або старіння) і зовнішні.

Після достатньо тривалої експлуатації (десятки тисяч годин роботи) на стан ТО починає здійснювати вплив старіння (знос). ТО починають раніше відмовляти.

Швидкість зносу і старіння визначається режимами роботи і інтенсивністю впливу інших факторів. В процесі експлуатації на ТО здійснюють вплив всі види енергії, що може призвести до зміни параметрів окремих елементів і ТО в цілому. При цьому мають місце наступні основні джерела впливів:

- вплив енергії навколишнього середовища (об’єктивні зовнішні фактори), включаючи діяльність людини-оператора (ЛЮ) чи ремонтника (суб’єктивні фактори);
- внутрішні джерела енергії (об’єктивні внутрішні фактори), зв’язані як з робочими процесами, що протікають в ТО, так і з роботою окремих його елементів;
- потенціальна енергія, накопичена в матеріалах і елементах ТО в процесі їх виготовлення (внутрішні напруження в відливці, монтажні напруження тощо) – об’єктивні внутрішні фактори.

Механічна енергія, яка не лише передається по всіх елементах ТО в процесі експлуатації, але і впливає на нього у вигляді статичних чи динамічних навантажень від взаємодії із зовнішнім середовищем. Механічна енергія в ТО може виникнути і як наслідок тих втрат енергії, які мали місце при виготовленні елементів ТО і збереглися в них у потенціальній формі. Наприклад, деформація частин при перерозподілі внутрішніх напружень, зміна об’єму деталі після її термічної обробки проходять без всяких зовнішніх впливів.

Теплова енергія здійснює вплив на ТО і його елементи при коливаннях температури навколишнього середовища (сонячна енергія і найближчі об’єкти, які змінюють температуру) та окремими елементами ТО, які випромінюють тепло в процесі функціонування.

Хімічна енергія також впливає на роботу ТО. Навіть повітря, яке містить вологу і агресивні складові, може спричинити корозію окремих елементів ТО.

Електромагнітна енергія у вигляді радіохвиль (електромагнітні коливання) пронизує весь простір навколо ТО і може здійснювати вплив на роботу електронного обладнання.

Таким чином, розглянуті види енергії впливають на ТО чи його елементи у вигляді об’єктивних факторів і викликають в ньому цілий ряд небажаних процесів та створюють умови для погіршення технічних характеристик ТО.

Контрольні питання:

1. Що таке показник надійності?
2. Що значить одиничний показник, комплексний показник?
3. Наведіть приклади одиничних показників надійності.

4. Наведіть приклади комплексних показників надійності.
5. Які основні джерела впливів на надійність?
6. Дайте характеристику впливу кожного різновиду енергії.

Тема 1.1.4 Априорний та апостеріорний аналіз

План:

- 1 Априорний аналіз
- 2 Апостеріорний аналіз

Априорний аналіз

Аналіз надійності має два етапи. Перший етап називається **априорним аналізом надійності** і зазвичай проводиться на стадії проектування ТС. Цей аналіз – априорі припускає відомими кількісні характеристики надійності всіх використовуваних елементів системи. Для елементів (особливо нових), у яких ще немає достатніх кількісних характеристик надійності, їх задають по аналогії з характеристиками аналогічних елементів, що застосовуються.

Таким чином, априорний аналіз базується на априорних (імовірнісних) характеристиках надійності, які лише приблизно відображають дійсні процеси в апаратурі ТС.

Проте, цей аналіз дозволяє на стадії проектування виявити слабкі з погляду надійності місця в конструкції, прийняти необхідні заходи до їх усунення, а так само відвернути незадовільні варіанти побудови ТС. Тому априорний аналіз (або розрахунок) надійності має істотне значення в практиці проектування ТС і складає невід'ємну частину технічних проектів.

Апостеріорний аналіз

Другий етап називається **апостеріорним аналізом надійності**. Його проводять на підставі статистичної обробки експериментальних даних про працездатність і відновлюваність ТС, отриманих в процесі їх відробітку, випробувань і експлуатації. Метою таких випробувань є отримання оцінок показників надійності ТС і її елементів.

Ці оцінки отримують методами математичної статистики за наслідками спостережень (обмеженого об'єму). При цьому найчастіше припускають, що результати спостережень є випадковими величинами, які підкоряються певному закону розподілу з невідомими параметрами.

В даний час для деяких видів апаратури існує обов'язковий етап випробувань на надійність, що включає оцінки ряду показників надійності.

У будь-якому випадку під аналізом надійності ТС розумітимемо визначення (обчислення) конкретних значень показників надійності (апріорний аналіз), або статистичних оцінок показників надійності (апостеріорний аналіз).

Контрольні питання :

1. Що таке апріорний аналіз?
2. Назвіть основні принципи апріорного аналізу.
3. Назвіть значення апріорного аналізу.
4. Що таке апостеріорний аналіз?
5. Назвіть основні принципи апостеріорного аналізу.
6. Назвіть значення апостеріорного аналізу.
7. Що таке аналіз надійності в цілому?

Контрольна робота за темою 1.1

Дайте відповіді на наступні запитання:

1. Дайте визначення Надійності.
2. Дайте визначення таких різновидів відмов:
 - а) Поступові та раптові відмови.
 - б) Повна, переміжна та часткова відмови.
 - в) Зворотня та незворотня відмови.
 - г) Залежна та незалежна відмови.
3. Для кожної операції побудуйте таблицю істинності:
4. Що таке «Математична логіка»?
5. Що таке випадкова величина? Що таке дискретна випадкова величина?
6. Що таке висловлювання? Чим просте висловлення відрізняється від складеного? Наведіть власні приклади.
7. Що таке відмова? Що таке пошкодження? Чим вони різняться?
8. Що таке дисперсія? Який взаємозв'язок між дисперсією та середнім квадратичним відхиленням?
9. Що таке ефективність? Назвіть та охарактеризуйте її складники.
10. Що таке закон розподілу? Що таке ряд розподілу?
11. Що таке математичне сподівання? Назвіть його властивості.
12. Що таке мода? Що таке медіана?
13. Що таке надлишковість? Назвіть її різновиди.
14. Що таке непрацевдатний стан. Чому він виникає?
15. Що таке початковий момент? Що таке центральний момент?
16. Що таке резервування? Чим резервування відрізняється від надлишковості?
17. Що таке функція розподілу? Назвіть її властивості.
18. Які висловлення називають достовірними?
19. Які висловлення називають проблемним? Наведіть власні приклади.
20. Які висловлювання називають умовними? Це прості чи складені висловлення? Наведіть власні приклади.
21. Які операції називають унарними? Наведіть приклад.
22. Яку ознаку розподілу характеризує третій центральний момент?
23. Яку ознаку розподілу характеризує четвертий центральний момент?
24. Що таке показник надійності?

25. Що значить одиничний показник, комплексний показник?
26. Наведіть приклади одиничних показників надійності.
27. Наведіть приклади комплексних показників надійності.
28. Які основні джерела впливів на надійність?
29. Дайте характеристику впливу кожного різновиду енергії на надійність.
30. Що таке апіорний аналіз?
31. Назвіть основні принципи апіорного аналізу.
32. Назвіть значення апіорного аналізу.
33. Що таке апостеріорний аналіз?
34. Назвіть основні принципи апостеріорного аналізу.
35. Назвіть значення апостеріорного аналізу.
36. Що таке аналіз надійності в цілому?

Тема 1.2 Закони розподілення випадкових величин при аналізі надійності

Тема 1.2.1 Залежність інтенсивності відмов від часу

План:

- 1 Загальна інформація про безвідмовність;
- 2 Періоди роботи ТС;

Загальна інформація про криву інтенсивності відмов

З'ясуємо, як змінюється безвідмовність ТС при їх експлуатації, що дозволить класифікувати моделі і визначити можливості їх застосування. Досвід експлуатації показує, що зміна інтенсивності відмов $\lambda(t)$ переважної більшості систем описується U-подібною кривою (рис. 1.1). Криву (рис. 1.1) можна умовно розділити на три найбільш характерних періоди роботи:

- 1) припрацювання (1);
- 2) нормальна експлуатація (2);
- 3) старіння чи знос (3).

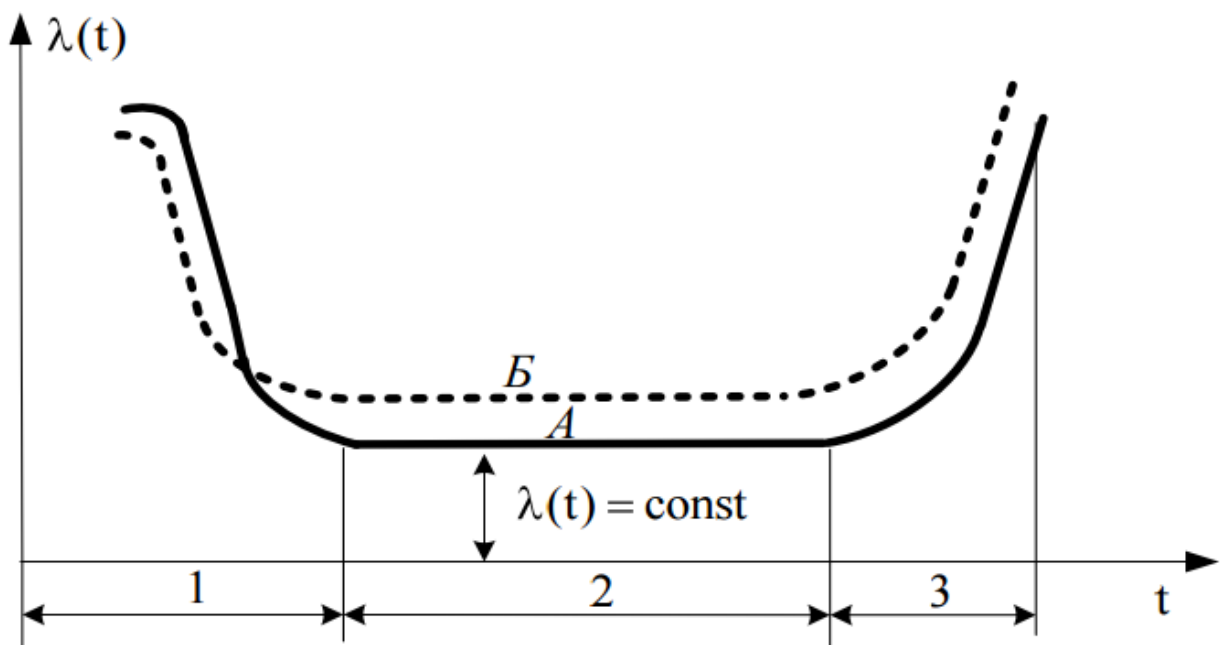


Рис 1.1 – Залежність інтенсивності відмов від часу роботи системи

Періоди роботи ТС

Період припрацювання характеризується високою інтенсивністю відмов, викликаних відхиленням від вимог конструкторсько-технологічної документації, що розподіляються за законом розподілу Вейбулла й усуваються за рахунок введення технологічного припрацювання («технологічного прогону»). Як видно з рис. 1.1, інтенсивність відмов на першому періоді монотонно зменшується.

Період нормальної експлуатації характеризується мінімальною і постійною інтенсивностями відмов. Ці відмови називаються раптовими, носять випадковий характер і розподіляються, як правило, за експоненціальним законом розподілу. Тут інтенсивність відмов залишається приблизно однаковою (див. рис. 1.1).

Період старіння або зносу характеризується різким збільшенням інтенсивності зносних відмов, що розподіляються за нормальним законом розподілу (законом Гаусса). На третьому періоді, як видно з рис. 1.1, інтенсивність відмов постійно зростає.

Збільшення жорсткості режиму експлуатації викликає переміщення кривої інтенсивності відмов вгору по осі ординат і вліво по осі абсцис (крива Б на рис. 1.1). Це пов'язано з тим, що більш жорсткий режим експлуатації прискорює вихід з ладу ТС в період припрацювання і час припрацювання скорочується, крім того, більш жорсткий режим експлуатації викликає ріст інтенсивності відмов на всіх ділянках кривої.

На практиці за результатами розрахунків значень функцій $P(t)$ і $a(t)$ в моменти контролю справності ТС, що випробовуються, будуються гістограми вказаних функцій. Потім проводять згладжувальну криву та підбирають теоретичний закон розподілу (доцільно підбирати за критерієм Колмогорова або за критеріями χ^2 -квадрат Пірсона, Неймана та ін.), який найбільш точно описував би експериментально отриману криву, визначають параметри цього закону. В подальшому знайдений закон використовують при розрахунках.

Виходячи з вище викладеного розглянемо детальніше найчастіше використовувані для розрахунку надійності ТС закони розподілу.

Контрольні питання:

1. Яку форму має крива безвідмовності?
2. Назвіть причини відмов у період припрацювання.
3. Назвіть вирішення для відмов у період припрацювання.
4. Назвіть причини відмов у період нормальної роботи.
5. Назвіть вирішення для відмов у період нормальної роботи.
6. Назвіть причини відмов у період припрацювання.

7. Назвіть вирішення для відмов у період припрацювання.

Тема 1.2.2 Розподіл Вейбулла

План

- 1 Функція розподілу для закону розподілу Вейбулла;
- 2 Інші параметри розподілу Вейбулла;

Функція розподілу для закону розподілу Вейбулла

Досвід експлуатації дуже багатьох електронних приладів і значної кількості електромеханічної апаратури показує, що для них характерні три види залежностей інтенсивності відмов від часу (рис. 1.1), що відповідають трьом періодам життя цих пристроїв.

Графік функції $\lambda(t)$ відповідає закону Вейбулла. Зазначені три види залежностей інтенсивності відмов від часу можна отримати, використовуючи для імовірнісного опису випадкової напрацювання до відмови двопараметричного розподіл Вейбулла. Згідно з цим розподілом щільність ймовірності моменту відмови:

$$f(t) = \lambda \delta t^{\delta-1} \cdot e^{-(\lambda t^\delta)}, \quad (1.2.1)$$

де δ - параметр форми (визначається підбором в результаті обробки експериментальних даних, $\delta > 0$); λ - параметр масштабу,

$$\lambda = \frac{1}{\hat{T}_1}$$

Основні показники за розподілом Вейбулла

Інтенсивність відмов визначається за виразом:

$$\lambda(t) = \lambda \cdot \delta \cdot t^{\delta-1}. \quad (1.2.2)$$

Імовірність безвідмовної роботи:

$$P(t) = \int_0^t e^{-\lambda(t)dt} = e^{-\lambda t^\delta}, \quad (1.2.3)$$

А середнє напрацювання до відмови:

$$T_1 = \int_0^{\infty} P(t) dt = \int_0^{\infty} e^{-\lambda t^{\delta}} dt, \quad (1.2.4)$$

Відзначимо, що при параметрі $\delta = 1$ розподіл Вейбулла переходить в експоненціальний, а при $\delta = 2$ - в розподіл Релея.

При $\delta < 1$ інтенсивність відмов монотонно убуває (період підробітки), а при $\delta > 1$ монотонно зростає (період зношування), див. Рис. 1.1. Отже, шляхом підбору параметра δ можна отримати, на кожному з трьох ділянок, таку теоретичну криву $\lambda(t)$, яка досить близько збігається з експериментальною кривою, і тоді розрахунок необхідних показників надійності можна виробляти на основі відомої закономірності.

Розподіл Вейбулла досить близько підходить для ряду механічних об'єктів (наприклад, шарикопідшипників), він може бути використаний при прискорених випробуваннях об'єктів у форсованому режимі.

Контрольні питання:

1. Назвіть два основні параметри розподілу. Поясніть їх значення.
2. Запишіть формулу функції розподілу для розподілу Вейбулла.
3. Запишіть формулу визначення інтенсивності відмов для розподілу Вейбулла.
4. Запишіть формулу визначення імовірності безвідмовної роботи для розподілу Вейбулла.
5. Запишіть формулу середнього напрацювання до відмови для розподілу Вейбулла.
6. Для чого підходить розподіл Вейбулла найбільше?

Тема 1.2.3 Експоненціальний розподіл

План:

- 1 Суть експоненційного розподілу;
- 2 Основні показники за експоненціальним розподілом;
- 3 Основна відмінність експоненціального розподілу

Суть експоненціального розподілу

Експоненціальний розподіл ймовірності безвідмовної роботи є окремим випадком розподілу Вейбулла, коли параметр форми $\delta = 1$. Цей розподіл однопараметричний, тобто для запису розрахункового виразу досить одного параметра $\lambda = \text{const}$. Для цього закону вірно і зворотне твердження: якщо інтенсивність відмов постійна, то ймовірність безвідмовної роботи як функція часу підпорядковується експоненціальному закону:

$$P(t) = e^{-\lambda \cdot t}, \quad (1.2.5)$$

Основні показники за експоненціальним розподілом

Середній час безвідмовної роботи при експоненційному законі розподілу інтервалу безвідмовної роботи виражається формулою:

$$T_1 = \int_0^{\infty} e^{-\lambda \cdot t} dt = \frac{1}{\lambda}, \quad (1.2.6)$$

Замінивши у виразі (1.2.5) величину λ величиною $1 / T_1$, отримаємо:

$$P(t) = e^{-\frac{t}{T_1}}, \quad (1.2.7)$$

Таким чином, знаючи середній час безвідмовної роботи T_1 (або постійну інтенсивність відмов λ), можна в разі експоненціального розподілу знайти ймовірність безвідмовної роботи для інтервалу часу від моменту включення об'єкта до будь-якого заданого моменту t .

Відзначимо, що ймовірність безвідмовної роботи на інтервалі, що перевищує середній час T_1 , при експоненційному розподілі буде менш 0,368: $P(T_1) = e^{-1} = 0,368$ (рис. 1.2).

Тривалість періоду нормальної експлуатації до настання старіння може виявитися істотно менше T_1 , тобто інтервал часу на якому допустимо користування експоненційної

моделлю, часто буває меншим середнього часу безвідмовної роботи, обчисленого для цієї моделі. Це легко довести, скориставшись дисперсією часу безвідмовної роботи. Як відомо, якщо для випадкової величини t задана щільність ймовірності $f(t)$ і визначено середнє значення (математичне очікування) T_1 , то дисперсія часу безвідмовної роботи знаходиться за виразом:

$$\sigma_{T_1}^2 = D[T_1] = \int_0^{\infty} (t - T_1)^2 \cdot f(t) dt \quad (1.2.8)$$

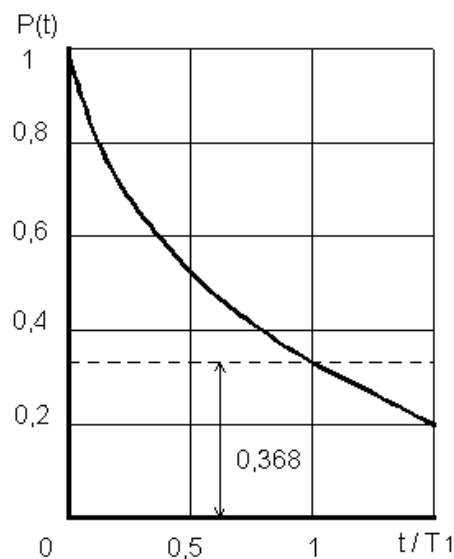


Рис 1.2 Графік експоненціального розподілу

Для експоненціального розподілу відповідно дорівнює:

$$D[T_1] = - \int_0^{\infty} (t - T_1)^2 \cdot P'(t) dt = - \int_0^{\infty} (t - T_1)^2 \lambda \cdot e^{(-\lambda t)} dt \quad (1.2.9)$$

Після деяких перетворень отримаємо:

$$D[T_1] = \frac{1}{\lambda^2} = T_1^2 \quad (1.2.10)$$

Таким чином, найбільш імовірні значення напрацювання, що групуються в околиці T_1 , лежать в діапазоні $T_1 \pm \sqrt{D[T_1]} = T_1 \pm T_1$, тобто в діапазоні від $t = 0$ до $t = 2T_1$. Як бачимо, об'єкт може відпрацювати і малий відрізок часу і час $t = 2T_1$, зберігши $\lambda = \text{const}$. Але ймовірність безвідмовної роботи на інтервалі $2T_1$ критично низька:

$$P(2T_1) = e^{-\lambda \cdot 2T_1} = e^{\left(-\frac{1}{T_1} \cdot 2T_1\right)} = e^{-2} = 0.135$$

Важливо відзначити, що якщо об'єкт відпрацював припустимо, час τ без відмови, зберігши $\lambda = \text{const}$, то подальший розподіл часу безвідмовної роботи буде таким, як в момент першого включення $\lambda = \text{const}$.

Основна відмінність експоненціального розподілу

Таким чином, відключення працездатного об'єкта в кінці інтервалу і нове його включення на такий же інтервал безліч разів призведе до пилкоподібної кривої $P(\tau) = e^{-\lambda\tau}$

Інші розподіли не мають зазначеного властивості. З розглянутого випливає на перший погляд парадоксальний висновок: оскільки за весь час t пристрій не старіє (не змінює своїх властивостей), то недоцільно проводити профілактику або заміну пристроїв для попередження раптових відмов, що підкоряються експоненціальним законом. Звичайно, ніякої парадоксальності цей висновок не містить, так як припущення про експоненційний розподіл інтервалу безвідмовної роботи означає, що пристрій не старіє. З іншого боку, очевидно, що чим більше час, на яке включається пристрій, тим більше всіляких випадкових причин, які можуть викликати відмову пристрою. Це дуже важливо для експлуатації пристроїв, коли доводиться вибирати інтервали, через які слід проводити профілактичні роботи з тим, щоб зберегти високу надійність роботи пристрою.

Модель експоненціального розподілу часто використовується для апріорного аналізу, так як дозволяє не дуже складними розрахунками отримати прості співвідношення для різних варіантів створюваної системи. На стадії апостеріорного аналізу (досвідчених даних) повинна проводитися перевірка відповідності експоненційної моделі результатами випробувань. Зокрема, якщо при обробці результатів випробувань виявиться, що $T_1 = \sqrt{D[T_1]}$.

На практиці часто буває, що $\lambda \neq \text{const}$, однак, і в цьому випадку його можна застосовувати для обмежених відрізків часу. Це припущення виправдовується тим, що при обмеженому періоді часу змінну інтенсивність відмов без великої помилки можна замінити середнім значенням: $\lambda(t) \forall \lambda \text{cp}(t) = \text{const}$.

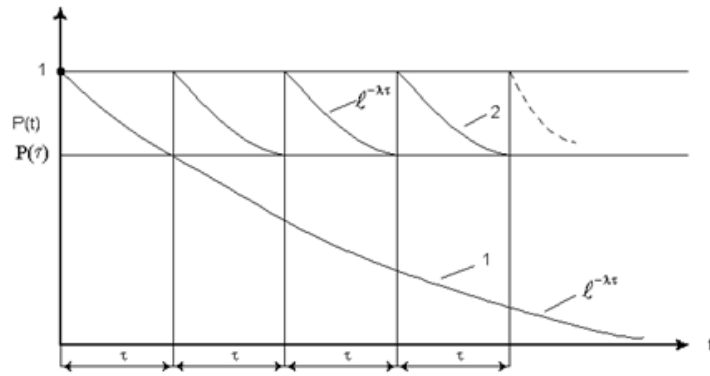


Рис 1.3 Імовірність безвідмовно роботи: 1 – безперервна робота за час t ; 2 – робота з інтервалами τ ;

Контрольні питання:

1. Назвіть основні параметри розподілу. Поясніть їх значення.
2. Запишіть формулу ймовірності безвідмовної роботи для експоненціального розподілу.
3. Запишіть формулу визначення середнього часу безвідмовної роботи для експоненціального розподілу.
4. Запишіть формулу дисперсії для експоненціального розподілу.
5. Для чого підходить експоненціальний розподіл найбільше?
6. В чому відмінність експоненціального розподілу від інших?

Тема 1.2.4 Розподіл Релея

План:

- 1 Щільність розподілу Релея;
- 2 Основні показники за законом Релея;

Щільність розподілу Релея

Щільність ймовірності в законі Релея (див. Рис. 1.4) має наступний вигляд:

$$f(t) = \frac{t}{\delta_*^2} e^{\left(-\frac{t^2}{2\delta_*^2}\right)}, \quad (1.2.11)$$

де δ_* - параметр розподілу Релея (дорівнює моді цього розподілу). Його не потрібно плутати із середньоквадратичним відхиленням:

$$\sigma_t = \sqrt{D[T_1]}$$

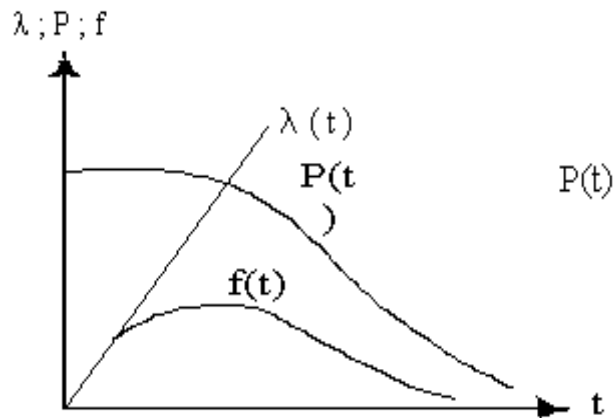


Рис. 1.4 Розподіл Релея

Основні показники за законом Релея

Інтенсивність відмов дорівнює:

$$\lambda(t) = \frac{1}{\delta_*^2} \cdot t \quad (1.2.12)$$

Характерною ознакою розподілу Релея є пряма лінія графіка $\lambda(t)$, що починається з початку координат.

Імовірність безвідмовної роботи об'єкта в цьому випадку визначиться за вираженням:

$$P(t) = e^{\left[-\int_0^t \lambda(t) dt\right]} = e^{\left(\frac{-t^2}{2\delta_*^2}\right)} \quad (1.2.13)$$

Середнє напрацювання до відмови:

$$T_1 = \int_0^{\infty} P(t) dt = \sqrt{\frac{\pi}{2}} \cdot \delta_* \quad , (1.2.14)$$

Контрольні питання:

1. Запишіть формулу щільності ймовірності для розподілу Релея;
2. Намалюйте типовий графік розподілу Релея;
3. Чому дорівнює середнє квадратичне відхилення за розподілом Релея?
4. Чому дорівнює інтенсивність відмов за розподілом Релея?
5. Чому дорівнює ймовірність безвідмовної роботи за розподілом Релея?
6. Як визначити середнє напрацювання до відмови за параметрами закону Релея?

Практична робота №1

Тема: «Оцінка надійності комп'ютерних мереж»

Мета: Навчитися оцінювати критерії надійності комп'ютерних мереж.

Хід роботи:

Теоретичний матеріал

1 Характеристика політики безпеки КМ, огляд її елементів

Політика безпеки - набір законів, правил і норм поведінки, що визначають, як організація обробляє, захищає і поширює інформацію. Зокрема, правила визначають, в яких випадках користувач має право оперувати з певними наборами даних. Чим надійніше система, тим суворіше і різноманітніше має бути політика безпеки. Залежно від сформульованої політики можна вибирати конкретні механізми, що забезпечують безпеку системи. Політика безпеки - це активний компонент захисту, що включає в себе аналіз можливих загроз і вибір заходів протидії. Гарантованість міра довіри, яка може бути надана архітектурі та реалізації системи. Гарантованість може виникати як з тестування, так і з перевірки (формальної чи ні) загального задуму і виконання системи в цілому і її компонентів.

Гарантованість показує, наскільки коректні механізми, що відповідають за проведення в життя політики безпеки. Гарантованість можна вважати пасивним компонентом захисту, що наглядає за самими захисниками.

Важливим засобом забезпечення безпеки є механізм підзвітності (протоколювання). Надійна система повинна фіксувати всі події, що стосуються безпеки. Ведення протоколів повинно доповнюватися аудитом, тобто аналізом реєстраційної інформації.

Концепція надійної обчислювальної бази є центральною при оцінці ступеня гарантованості, з якою систему можна вважати надійною. Надійна обчислювальна база - це сукупність захисних механізмів комп'ютерної системи (включаючи апаратне і програмне забезпечення), що відповідають за проведення в життя політики безпеки. Надійність обчислювальної бази визначається виключно її реалізацією і коректністю вихідних даних, які вводить адміністративний персонал (наприклад, це можуть бути дані про ступінь благонадійності користувачів).

Взагалі кажучи, компоненти поза обчислювальної бази можуть не бути надійними, однак це не повинно впливати на безпеку системи в цілому. В результаті, для оцінки

надійності комп'ютерної системи досить розглянути тільки її обчислювальну базу, яка, як можна сподіватися, досить компактна.

Основне призначення надійної обчислювальної бази - виконувати функції монітора звернень, тобто контролювати допустимість виконання суб'єктами певних операцій над об'єктами. Монітор перевіряє кожне звернення користувача до програм або даними на предмет узгодженості зі списком дій, допустимих для користувача. Від монітора звернень потрібне виконання трьох властивостей:

- Ізольованість. Монітор повинен бути захищений від відстеження своєї роботи;
- Повнота. Монітор повинен викликатися при кожному зверненні, не повинно бути способів його обходу;
- Верифіковані. Монітор повинен бути компактным, щоб його можна було проаналізувати і протестувати, будучи впевненим у повноті тестування.

Реалізація монітора звернень називається ядром безпеки. Ядро безпеки - це основа, на якій будуються всі захисні механізми. Крім перерахованих вище властивостей монітора звернень, ядро має гарантувати власну незмінність.

Кордон надійної обчислювальної бази називають периметром безпеки. Як уже вказувалося, від компонентів, що лежать поза периметром безпеки, взагалі кажучи, не потрібно надійності. З розвитком розподілених систем поняттю "периметр безпеки" все частіше надають інший сенс, маючи на увазі кордон володінь певної організації. Те, що всередині володінь, вважається надійним, а те, що поза - ні. Зв'язок між внутрішнім і зовнішнім світами здійснюють за допомогою шлюзової системи, яка за ідеєю здатна протистояти потенційно ненадійному або навіть ворожому оточенню.

Згідно "Помаранчевій книзі", політика безпеки повинна включати в себе принаймні такі елементи:

- Довільне керування доступом;
- Безпека повторного використання об'єктів;
- Мітки безпеки;
- Примусове управління доступом.

Довільне керування доступом

Довільне керування доступом - це метод обмеження доступу до об'єктів, заснований на обліку особистості суб'єкта або групи, в яку суб'єкт входить. Довільність управління

полягає в тому, що деяка особа (зазвичай власник об'єкта) може на свій розсуд давати іншим суб'єктам або відбирати у них права доступу до об'єкта.

З концептуальної точки зору поточний стан прав доступу при довільному управлінні описується матрицею, у рядках якій перераховані суб'єкти, а у стовпцях - об'єкти. У клітинах, розташованих на перетині рядків і стовпців, записуються способи доступу, допустимі для суб'єкта по відношенню до об'єкта - наприклад, читання, запис, виконання, можливість передачі прав іншим суб'єктам і т.п.

Очевидно, прямолінійне уявлення подібної матриці неможливо (оскільки вона дуже велика), та й не потрібно (оскільки вона розріджена, тобто більшість клітин в ній порожні). В операційних системах більш компактне представлення матриці доступу ґрунтується або на структурованні сукупності суб'єктів (власник / група / інші в ОС UNIX), або на механізмі списків управління доступом, тобто на уявленні матриці по стовпцях, коли для кожного об'єкта перераховуються суб'єкти разом з їх правами доступу. За рахунок використання метасимволів можна компактно описувати групи суб'єктів, утримуючи тим самим розміри списків управління доступом в розумних рамках.

Більшість операційних систем і систем управління базами даних реалізують саме довільне керування доступом. Головна його перевага - гнучкість, головні недоліки - рассредоточеність управління і складність централізованого контролю, а також відірваність прав доступу від даних, що дозволяє копіювати секретну інформацію в загальнодоступні файли

2. Безпека повторного використання об'єктів

Безпека повторного використання об'єктів - важливе на практиці додаток засобів управління доступом, що охороняє від випадкового або навмисного вилучення секретної інформації з "сміття". Безпека повторного використання повинна гарантуватися для областей оперативної пам'яті (зокрема, для буферів з образами екрана, розшифрованими паролями і т.п.), для дискових блоків і магнітних носіїв в цілому.

Важливо звернути увагу на наступний момент. Оскільки інформація про суб'єктів також являє собою об'єкт, необхідно подбати про безпеку "повторного використання суб'єктів". Коли користувач залишає організацію, слід не тільки позбавити його можливості входу в систему, але й заборонити доступ до всіх об'єктів. В іншому випадку, новий співробітник може отримати раніше використовувався ідентифікатор а з ним і всі права свого попередника. Сучасні інтелектуальні периферійні пристрої ускладнюють забезпечення

безпеки повторного використання об'єктів. Дійсно, принтер може буферизувати кілька сторінок документа, які залишаються в пам'яті навіть після закінчення друку. Необхідно вжити спеціальні заходи, щоб "виштовхнути" їх звідти.

Втім, іноді організації захищаються від повторного використання занадто ретельно - шляхом знищення магнітних носіїв. На практиці свідомо достатньо триразової записи випадкових послідовностей біт.

3. Огляд міток безпеки

Для реалізації примусового управління доступом з суб'єктами і об'єктами асоціюються мітки безпеки. Мітка суб'єкта описує його благонадійність, мітка об'єкта - ступінь закритості міститься в ньому інформації.

Згідно "Помаранчевої книзі", мітки безпеки складаються з двох частин - рівня секретності і списку категорій. Рівні секретності, підтримувані системою, утворюють впорядковану безліч, яке може виглядати, наприклад, так:

- цілком таємно;
- секретно;
- конфіденційно;
- нетаємно.

Втім, для різних систем набір рівнів секретності може розрізнятися.

Категорії утворюють невпорядкований набір. Їх призначення - описати предметну область, до якої відносяться дані. У військовому оточенні кожна категорія може відповідати, наприклад, певного виду озброєнь. Механізм категорій дозволяє розділити інформацію по відсіках, що сприяє кращій захищеності. У Розд. Примусове управління доступом ми докладно розглянемо правила примусового управління доступом, тут же відзначимо, що суб'єкт не може отримати доступ до "чужих" категорій, навіть якщо його рівень благонадійності - "цілком таємно". Спеціаліст по танках не впізнає тактико-технічні дані літаків.

Головна проблема, яку необхідно вирішувати у зв'язку з мітками, це забезпечення їх цілісності. По-перше, не повинно бути непомічених суб'єктів і об'єктів, інакше в меточного безпеки з'являться легко використовувані проломи. По-друге, при будь-яких операціях з даними мітки повинні залишатися правильними. Особливо це відноситься до експорту та імпорту даних. Наприклад, друкований документ повинен відкриватися заголовком, що містить текстове та /або графічне представлення мітки безпеки. Аналогічно, при передачі

файлу по каналу зв'язку повинна передаватися і асоційована з ним мітка, причому в такому вигляді, щоб віддалена система могла її протракувати, незважаючи на можливі розбіжності у рівнях секретності і наборі категорій.

Одним із засобів забезпечення цілісності міток безпеки є поділ пристроїв на багаторівневі і однорівневі. На багаторівневих пристроях може зберігатися інформація різного рівня секретності (точніше, що лежить в певному діапазоні рівнів). Однорівневі пристрій можна розглядати як вироджений випадок багаторівневого, коли допустимий діапазон складається з одного рівня. Знаючи рівень пристрою, система може вирішити, чи припустимо записувати на нього інформацію з певною міткою. Наприклад, спроба надрукувати цілком таємну інформацію на принтері загального користування з рівнем "нетаємно" потерпить невдачу.

Мітки безпеки, асоційовані з суб'єктами, більш рухливі, ніж мітки об'єктів. Суб'єкт може протягом сеансу роботи з системою змінювати свою мітку, природно, не виходячи за зумовлені для нього рамки. Іншими словами, він може свідомо занижувати свій рівень благонадійності, щоб зменшити ймовірність ненавмисної помилки. Взагалі, принцип мінімізації привілеїв - вельми розумний засіб захисту.

Примусове управління доступом

Примусове управління доступом ґрунтується на зіставленні міток безпеки суб'єкта та об'єкта.

Суб'єкт може читати інформацію з об'єкта, якщо рівень секретності суб'єкта не нижче, ніж в об'єкта, а всі категорії, перераховані в мітці безпеки об'єкта, присутні в мітці суб'єкта. У такому випадку говорять, що мітка суб'єкта домінує над міткою об'єкта. Сенса сформульованого правила зрозумілий - читати можна тільки те, що належить. Суб'єкт може записувати інформацію в об'єкт, якщо мітка безпеки об'єкта домінує над міткою суб'єкта. Зокрема, "конфіденційний" суб'єкт може писати в секретні файли, але не може - в несекретні (зрозуміло, повинні також виконуватися обмеження на набір категорій). На перший погляд подібне обмеження може здатися дивним, проте воно цілком розумно. Ні за яких операцій рівень секретності інформації не повинен знижуватися, хоча зворотний процес цілком можливий. Стороння людина може випадково дізнатися секретні відомості і повідомити їх куди слід, однак особа, допущена до роботи з секретними документами, не має права розкривати їхній зміст простому смертному.

Описаний спосіб управління доступом називається примусовим, оскільки він не залежить від волі суб'єктів (навіть системних адміністраторів). Після того, як зафіксовані мітки безпеки суб'єктів і об'єктів, виявляються зафіксованими і права доступу. У термінах примусового управління не можна висловити пропозицію "дозволити доступ до об'єкта X ще й для користувача Y". Звісно, можна змінити мітку безпеки користувача Y, але тоді він швидше за все, отримає доступ до багатьох додатковим об'єктам, а не тільки до X.

Примусове управління доступом реалізовано в багатьох варіантах операційних систем і СУБД, що відрізняються підвищеними заходами безпеки. Незалежно від практичного використання, принципи примусового управління є зручним методологічним базисом для початкової класифікації інформації та розподілу прав доступу. Зручніше мислити в термінах рівнів секретності і категорій, ніж заповнювати неструктуровану матрицю доступу. Втім, в реальному житті довільне і примусове управління доступом поєднується в рамках однієї системи, що дозволяє використовувати сильні сторони обох підходів.

4.Поняття про підзвітність

Якщо розуміти політику безпеки вузько, тобто як правила розмежування доступу, то механізм підзвітності є доповненням подібної політики. Мета підзвітності - у кожен момент часу знати, хто працює в системі і що він робить. Засоби підзвітності діляться на три категорії:

Ідентифікація та аутентифікація

Кожен користувач, перш ніж отримати право вчиняти будь-які дії в системі, повинен ідентифікувати себе. Звичайний спосіб ідентифікації - введення імені користувача при вході в систему. У свою чергу, система повинна перевірити справжність особистості користувача, тобто що він є саме тим, за кого себе видає. Стандартний засіб перевірки автентичності (аутентифікації) - пароль, хоча в принципі можуть використовуватися також різного роду особисті карточки, біометричні пристрої (сканування рогівки або відбитків пальців) або їх комбінація.

Ідентифікація та аутентифікація - перший і найважливіший програмно-технічний рубіж інформаційної безпеки. Якщо не становить проблеми отримати доступ до системи під будь-яким ім'ям, то інші механізми безпеки, наприклад, управління доступом, очевидно, втрачають сенс. Очевидно і те, що без ідентифікації користувачів неможливо протоколювання їх дій. В силу перерахованих причин перевірка автентичності має надаватися першочергове значення. Існує ціла серія публікацій урядових відомств США, які

роз'яснюють питання аутентифікації і, зокрема, проблеми, пов'язані з паролями. Наприклад, декларується, що користувачеві повинно бути дозволено змінювати свій пароль, що паролі, як правило, повинні бути машинно-згенеровані (а не вибраними "вручну"), що користувачеві повинна надаватися деяка реєстраційна інформація (дата і час останнього входу в систему і т.п.).

5. Аналіз реєстраційної інформації

Аудит має справу з діями (подіями), так чи інакше зачіпають безпеку системи. До числа таких подій відносяться:

- Вхід в систему (успішний чи ні);
- Вихід з системи;
- Звернення до віддаленої системи;
- Операції з файлами (відкрити, закрити, перейменувати, видалити);
- Зміна привілеїв чи інших атрибутів безпеки (режиму доступу, рівня благонадійності користувача і т.п.).

Можна назвати й інші події - наприклад, зміну набору реєстрованих дій. Повний перелік подій, які потенційно підлягають реєстрації, залежить від обраної політики безпеки та від специфіки системи.

Якщо фіксувати всі події, обсяг реєстраційної інформації, швидше за все, буде рости занадто швидко, а її ефективний аналіз стане неможливим. "Помаранчева книга" передбачає наявність засобів вибіркового протоколювання, як щодо користувачів (уважно стежити тільки за підозрілими), так і щодо подій. Протоколювання допомагає стежити за користувачами і реконструювати минулі події. Стеження важливе в першу чергу як профілактичний засіб. Можна сподіватися, що багато користувачів утримаються від порушень безпеки, знаючи, що їхні дії фіксуються. Реконструкція подій дозволяє проаналізувати випадки порушень, зрозуміти, чому вони стали можливі, оцінити розміри збитку і вжити заходів щодо недопущення подібних порушень у майбутньому.

При протоколюванні події записується принаймні наступна інформація:

- Дата та час події;
- Унікальний ідентифікатор користувача - ініціатора дії;
- Тип події;
- Результат дії (успіх або невдача);
- Джерело запиту (наприклад, ім'я терміналу);

- Імена порушених об'єктів (наприклад, що відкриваються або файлів, що видаляються);
- Опис змін, внесених до бази даних захисту (наприклад, нова мітка безпеки об'єкта);
- Мітки безпеки суб'єктів і об'єктів події.

Необхідно підкреслити важливість не тільки збору інформації, але і її регулярного і цілеспрямованого аналізу. У плані аналізу вигідне становище займають засоби аудиту СУБД, оскільки до реєстраційної інформації можуть природним чином застосовуватися довільні SQL-запити. Отже, з'являється можливість для виявлення підозрілих дій застосовувати складні евристики.

Питання для самоперевірки:

1. Що таке політика безпеки? назвіть основні складники політики безпеки.
2. Що таке довільне керування доступом? Назвіть його переваги та недоліки.
3. Що являє собою безпека повторного використання об'єктів? Поясніть її суть.
4. Що таке мітки безпеки? З чого вони складаються?
5. Що таке аутентифікація та ідентифікація? Опишіть механізм їх роботи.
6. Для чого використовують аналіз реєстраційної інформації?
7. Наведіть необхідну інформацію при її записі для подальшого аналізу.

Контрольна робота за темою 1.2

Дайте відповідь на наступні питання:

1. Назвіть основні параметри розподілу. Поясніть їх значення.
2. Запишіть формулу ймовірності безвідмовної роботи для експоненціального розподілу.
3. Запишіть формулу визначення середнього часу безвідмовної роботи для експоненціального розподілу.
4. Запишіть формулу дисперсії для експоненціального розподілу.
5. Для чого підходить експоненціальний розподіл найбільше?
6. В чому відмінність експоненціального розподілу від інших?
7. Запишіть формулу щільності ймовірності для розподілу Релея;
8. Намалюйте типовий графік розподілу Релея;
9. Чому дорівнює середнє квадратичне відхилення за розподілом Релея?
10. Чому дорівнює інтенсивність відмов за розподілом Релея?
11. Чому дорівнює ймовірність безвідмовної роботи за розподілом Релея?
12. Як визначити середнє напрацювання до відмови за параметрами закону Релея?
13. Яку форму має крива безвідмовності?
14. Назвіть причини відмов у період припрацювання.
15. Назвіть вирішення для відмов у період припрацювання.
16. Назвіть причини відмов у період нормальної роботи.
17. Назвіть вирішення для відмов у період нормальної роботи.
18. Назвіть причини відмов у період припрацювання.
19. Назвіть вирішення для відмов у період припрацювання.
20. Назвіть два основні параметри розподілу. Поясніть їх значення.
21. Запишіть формулу функції розподілу для розподілу Вейбулла.
22. Запишіть формулу визначення інтенсивності відмов для розподілу Вейбулла..
23. Запишіть формулу визначення ймовірності безвідмовної роботи для розподілу Вейбулла.
24. Запишіть формулу середнього напрацювання до відмови для розподілу Вейбулла.
25. Для чого підходить розподіл Вейбулла найбільше?

Семінарське заняття за темами 1.1 та 1.2

Студенти можуть взяти одну з наступних тем для самостійної підготовки та презентації:

- Елементи теорії імовірності й мат.статистики;
- Елементи математичної логіки;
- Випадкові величини, закони розподілу випадкових величин;
- Статистичні методи розпізнавання;
- Гамма-розподіл;
- Трикутний розподіл;
- Сума (суперпозиція) розподілів;
- Нормального й усічене нормальне розподілу;
- Експонентний розподіл тривалості відновлення;
- Закони розподілу дискретних випадкових величин;

Презентація обранної теми повинна бути короткою та вичерпною.

Тема 1.3 Аналіз структурних схем надійності

Тема 1.3.1 Способи і основні етапи визначення надійності проєктованих систем. Метод інтегральних рівнянь.

План:

- 1 Цілі та методи визначення надійності;
- 2 Метод інтегральних рівнянь;

Цілі та методи визначення надійності

Якщо існують відомості про надійність елементів і зв'язки між елементами, то за цими даними можна визначити значення показників надійності систем.

Визначення надійності систем або системи в цілому переслідує такі цілі:

1. Визначити, чи досяжна задана надійність на сучасному рівні розвитку техніки;
2. Допомогти розподілити значення показників надійності (ПН) за елементами, блоками і вузлами;
3. Допомогти зробити вибір між різними конструктивними рішеннями;
4. Установити доцільність введення резервування.

Існує два шляхи визначення надійності систем:

- складання математичної (логічної) моделі функціонування;
- безпосередньо за функціональною схемою систем.

Загальноприйнятим на сьогоднішній день є перший шлях. Тут необхідно визначити, які стани систем треба враховувати, ознаки цих станів і ін., тобто необхідно описати функціонування реального систем формальною мовою подій і станів. Найбільшого поширення одержали логічні моделі безвідмовної роботи систем. При цьому вважають, що елементи можуть знаходитися в двох несумісних станах: працездатному і непрацездатному.

Функціональні зв'язки між елементами замінюються логічними, які характеризують стан систем. Умови працездатності систем при відмові елементів записуються за допомогою логічних співвідношень. Вигляд логічної моделі визначає можливість одержання розрахункових формул.

Для опису надійності найбільшого поширення отримали такі методи:

- метод інтегральних рівнянь;

- метод диференціальних рівнянь;
- метод оцінки надійності за графом можливих станів систем.

Метод інтегральних рівнянь

Цей метод можна застосовувати при розрахунку надійності будь-яких ТС при будь-яких розподілах часу безвідмовної роботи і часу відновлення. Визначення ПН в цьому методі відбувається шляхом складання і розв'язання інтегральних або інтеграло-диференціальних рівнянь. При складанні інтегральних рівнянь звичайно виділяють нескінченно малі інтервали часу. Для цих інтервалів часу розглядають складні події, що з'являються при спільній дії декількох факторів. Ці рівняння порівняно просто складати, але важко розв'язати. Часто розв'язок доводиться знаходити чисельними методами за допомогою ЕОМ. У зв'язку з цим метод інтегральних рівнянь у даний час не одержав широкого розповсюдження.

Як приклад застосування цього методу розглянемо розрахунок надійності невідновлюваної системи із холодним резервом. При цьому припустимо:

- індикатор відмов і перемикач абсолютно надійні;
- резервні елементи не можуть відмовити до включення їх в роботу;
- ремонт резервної системи в процесі її роботи неможливий.

Така резервована система буде безвідмовно працювати протягом часу $(0; t)$ при двох можливих подіях:

- основний елемент не відмовив;
- основний елемент відмовив у момент $t = T$, а резервний елемент проработав безвідмовно протягом інтервалу $(T; t)$.

Позначимо ймовірність першої події $P_{(t) 1}$. Очевидно, що ймовірність появи відмови основного елемента протягом малого інтервалу часу $(T; T+dT)$ дорівнює:

$$a_1(T)dT = -P'(T)dT \quad (1.3.1)$$

де $a_1(T)$ – щільність ймовірності моменту i -ої відмови. Ймовірність безвідмовної роботи системи за умови, що в момент T відбулася відмова основного елемента і включився резервний, дорівнює:

$$P_2(t - T). \quad (1.3.2)$$

Таким чином, ймовірність здійснення другої події на інтервалі $(T; T + dT)$ дорівнює:

$$P_2(t-T) \cdot a_1(T) dT. \quad (1.3.3)$$

Інтегруючи вираз (1.3.3) від 0 до t , одержимо ймовірність здійснення другої події:

$$\int_0^t P_2(t-T) \cdot a_1(T) dT. \quad (1.3.4)$$

Очевидно, що ймовірність дубльованої системи з холодним резервом дорівнює сумі ймовірностей здійснення першої і другої подій:

$$P(t) = P_1(t) + \int_0^t P_2(t-T) \cdot a_1(T) dT. \quad (1.3.5)$$

При експоненціальному розподілі напрацювання до відмови основного і резервного елементів, що мають інтенсивність відмов 1 і 2 отримуємо з виразу (1.3.5):

$$P(t) = e^{-\lambda_1 t} + \int_0^t e^{-\lambda_2(t-T)} \lambda_1 e^{-\lambda_1 T} dT = e^{-\lambda_1 t} + \frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} (e^{-\lambda_1 t} - e^{-\lambda_2 t}). \quad (1.3.6)$$

Щільність напрацювання до відмови визначається за формулою:

$$a(t) = -P'(t) = \lambda_1 e^{-\lambda_1 t} + \frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} (\lambda_1 e^{-\lambda_1 t} - \lambda_2 e^{-\lambda_2 t}) = \frac{\lambda_1 \lambda_2}{\lambda_1 - \lambda_2} (e^{-\lambda_1 t} - e^{-\lambda_2 t}). \quad (1.3.7)$$

Якщо система має один основний і $(K-1)$ резервний елемент, то, взявши за основу вираз (1.3.5), можна отримати рекурентну формулу:

$$P_{K-1}(t) = P_{K-1}(t) + \int_0^t P_K(t-T) a_{K-1}(T) dT, \quad (1.3.8)$$

де індекс $(K-1)$ означає, що відповідні характеристики належать до резервної системи, при відмові якого включається в роботу останній, K -й, резервний елемент.

Контрольні питання:

1. Які цілі має визначення надійності?
2. Які основні методи визначення надійності ви знаєте?
3. Які принципи моделювання використовуються при визначенні надійності?
4. Наведіть формулу визначення ймовірності відмови основного елемента протягом інтервалу часу.

5. Наведіть формулу розрахунку щільності напрацювання до відмови.
6. Наведіть формулу розрахунку ймовірності відмови якщо система має один основний і (К-1) резервний елемент.

Тема 1.3.2 Метод диференційних рівнянь

План:

- 1 Основні принципи методу диференційних рівнянь;
- 2 Визначення показників надійності методом диференційних рівнянь;

Основні принципи методу диференційних рівнянь

Цей метод заснований на припущенні, що час між відмовами і час відновлення підлягають експоненціальному розподілу. При цьому параметр потоку відмов $\omega = \lambda = 1/T_{cp}$, а інтенсивність віднови $\mu = 1/T_B$, де T_{cp} , T_B – відповідно, середній час до відмови і час відновлення.

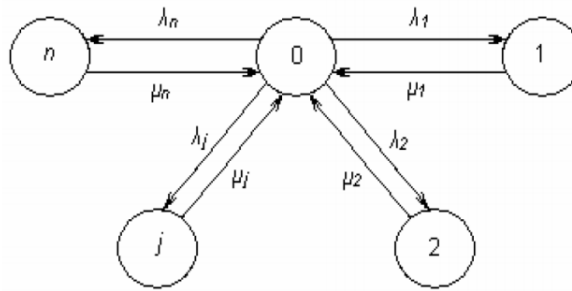
Цей метод може застосовуватися для розрахунку надійності як відновлюваних, так і невідновлюваних ТС. Для використання цього методу необхідно мати математичну модель у вигляді множини станів системи, в яких вона може знаходитися при відмовах та відновленнях. Для визначення ПН складають і розв'язують систему диференціальних рівнянь для ймовірностей станів (рівнянь Колмогорова). Щоб при цьому гранично зменшити витрати праці на розрахунок припускають, що:

- об'єкти, що відмовили, починають негайно відновлювати;
- відсутні обмеження на кількість відновлень;
- надійність засобів контролю ідеальна.

Відновлювані системи можуть знаходитися у таких станах:

- всі елементи системи справні;
- j ($j = 1, 2, \dots, n$) елементів відмовили, а решта справні;
- всі елементи відмовили.

При відновленні елементів, що відмовили, система в дискретні моменти часу переходить з одного стану в інший. У процесі тривалої експлуатації система може перебувати в кожному з можливих станів багаторазово. Тоді його функціонування може бути описано математичною моделлю у вигляді графа станів, вузли якого (показано колами) відповідають можливим станам системи, а стрілки вказують всі можливі напрямки переходів з станів. Біля стрілок вказують інтенсивності переходів (наприклад, λ – інтенсивність відмов і μ – інтенсивність відновлення).



1.6 До питання надійності відновлюваної системи

Між станами невідновлюваних систем вказують тільки одну стрілку.

Визначення показників надійності методом диференціальних рівнянь

Для визначення ймовірностей $P_j(t)$ перебування системи в j -му стані в момент часу t за графом станів складають систему звичайних диференціальних рівнянь. Для цього в ліву частину кожного рівняння ставлять похідну за часом від ймовірності перебування системи в j -му стані в момент часу t . Кількість членів у правій частині дорівнює кількості стрілок, що з'єднують розглянутий стан з іншим. При цьому кожен член дорівнює ймовірності переходу з одного стану в інший, а саме: добуткові інтенсивності переходу (наприклад, λ_{ij}) на ймовірність того i -го стану, з якого стрілка виходить. Знак добутку береться додатним, коли стрілка входить у розглянутий стан. Отримана система диференціальних рівнянь доповнюється нормованою умовою:

$$\sum_{j=0}^{n+1} P_j(t) = 1, \quad (1.3.9)$$

де $P_j(t)$ – ймовірність перебування системи в j -му стані;

$n+1$ – кількість можливих станів. Далі вся множина станів розбивається на дві підмножини:

- а) $1 \dots n$ – підмножина станів, у яких система непрацездатна;
- б) $n+1$ – підмножина станів, у яких система працездатна.

Тоді функцію готовності системи можна визначити як :

$$K_{\Gamma}(t) = \sum_{j=0}^n P_j(t). \quad (1.3.10)$$

Якщо необхідно визначити коефіцієнт готовності (або простою) розглядають сталий режим експлуатації при $t \rightarrow \infty$. У цьому випадку всі похідні $P_j'(t) = 0$ і система диференціальних рівнянь переходить у систему алгебраїчних рівнянь.

Контрольні питання:

1. Назвіть основні припущення, що роблять при використанні методу диференціальних рівнянь;
2. Вкажіть формулу коефіцієнту готовності. Розшифруйте її.
3. Яким чином можна зобразити функціонування відновлюваного пристрою? Що змінюється для невідновлюваних систем?
4. Назвіть основні стани відновлюваних систем.
5. Вкажіть формулу для пошуку ймовірності відмови. Розшифруйте її.

Тема 1.3.3 Метод оцінки надійності за графом можливих станів системи

План:

- 1 Приципи методу оцінки надійності за графом можливих станів системи;
- 2 Основні показники, що знаходять за допомогою методу оцінки надійності за графом можливих станів системи.

Приципи методу оцінки надійності за графом можливих станів системи

Цей метод заснований на методі диференціальних рівнянь, при якому доводиться розв'язувати систему лінійних алгебраїчних рівнянь. Структура визначників цієї системи дозволяє сформулювати правило перебування виразів для ПН безпосередньо за графом.

Таке правило для виразів стаціонарної ймовірності перебування системи в j -му стані полягає в такому: проходять найкоротші шляхи (без повернення) із усіх крайніх станів у кожен стан системи за напрямком стрілок і перемножують усі інтенсивності переходів.

Основні показники, що знаходять за допомогою методу оцінки надійності за графом можливих станів системи

Кожна інтенсивність переходу враховується тільки один раз. Ймовірність перебування в j -му стані для графів без кілець визначається за формулою:

$$P_j(t) = \frac{\Delta_j}{\sum_{i=0}^{K+1} \Delta_i}, \quad (1.3.11)$$

де Δ_i , Δ_j – добуток інтенсивностей переходів із усіх найкоротших станів відповідно в j -ті та i -ті при русі за найкоротшим шляхом в напрямку стрілок; $(K+1)$ – кількість станів системи.

Найкоротшими вважаються стани, що не мають вихідних стрілок при невідновлюваній системі і мають не більше однієї вихідної стрілки при відновлюваній системі.

Застосовуючи це правило можна отримати формулу для $K_{ГС}$ (коефіцієнта готовності системи) без складання і розв'язання диференціальних рівнянь.

Контрольні питання:

1. На якому методі базується метод оцінки надійності за графом можливих станів системи?

2. Які припущення дозволяє метод оцінки надійності за графом можливих станів системи?
3. Опишіть етапи аналізу графу станів.
4. Наведіть формулу що дозволяє визначити ймовірність перебування в j -му стані.
5. Які стани вважаються найкоротшими?
6. Які переваги методу оцінки надійності за графом можливих станів системи?

Контрольна робота за темою 1.3

Дайте відповіді на наступні питання:

1. Які цілі має визначення надійності?
2. Які основні методи визначення надійності ви знаєте?
3. Які принципи моделювання використовуються при визначенні надійності?
4. Наведіть формулу визначення ймовірності відмови оснговоного елемента протягом інтервалу часу.
5. Наведіть формулу рорахунку щільності напрацювання до відмови.
6. Наведіть формулу розрахунку ймовірності відмови якщо система має один основний і $(K-1)$ резервний елемент.
7. На якому методі базується метод оцінки надійності за графом можливих станів системи?
8. Які припущення дозволяє метод оцінки надійності за графом можливих станів системи?
9. Опишіть етапи аналізу графу станів.
10. Наведіть формулу що дозволяє визначити ймовірність перебування в j -му стані.
11. Які стани вважаються найкоротшими?
12. Які переваги методу оцінки надійності за графом можливих станів системи?
13. Назвіть основні припущення, що роблять при використанні методу диференційних рівнянь;
14. Вкажіть формулу коефіцієнту готовності. Розшифруйте її.
15. Яким чином можна зобразити функціонування відновлюванного пристрою? Що змінюється для невідновлюваних систем?
16. Назвіть основні стани відновлюваних систем.
17. Вкажіть формулу для пошуку ймовірності відмови для методу диференційних рівнянь. Розшифруйте її.

Тема 1.4 Методи розрахунку надійності електронних засобів

Тема 1.4.1 Закони розподілу відмов

План:

- 1 Експоненційний розподіл;
- 2 Нормальний розподіл(Гауса);
- 3 Розподіл Вейбулла;
- 4 Методи забезпечення надійності;

Експоненціальний розподіл

Із практичного досвіду та аналізу фізичних або хімічних процесів, що відбуваються у внутрішній структурі компонентів електронного обладнання, можна зробити висновок, що за реальний час експлуатації електронного обладнання суттєвої деградації компонентів не відбувається, тобто $\lambda(t)=\text{const}$.

Будь-яка формула, зокрема і $\lambda(t)=\text{const}$, є лише математичною моделлю фізичного (хімічного) процесу, що проходить у внутрішній структурі того чи іншого елемента обладнання. Тільки з'ясувавши закономірності цього процесу, можна отримати точніші співвідношення для визначення часу, поки об'єкт буде залишатися працездатним. Вони повинні мати фізичний (хімічний) характер і описувати реальні процеси, а не поведінку моделі. Так, для лампочок розжарення такі процеси досить детально вивчені: вольфрамова спіраль з часом поступово випаровується, стає тоншою, з'являються неоднорідності за товщиною. Коли вона досягає критичної межі, вольфрамова спіраль перегорає. Цей процес має визначений характер, і можна досить достовірно прогнозувати середній час напрацювання лампочок певного виробника на відмову. (Лише середній час, тому що кожна лампочка має деякі відхилення своїх параметрів від середніх значень.)

Середній час напрацювання на відмову - відношення сумарного часу напрацювання відновлювального об'єкта (пристрою) до математичного сподівання кількості його відмов протягом цього часу.

За визначенням:

$$-\frac{dP(t)}{P(t)dt} = \lambda \quad \text{або} \quad -\frac{dP(t)}{dt} = \lambda \cdot P(t)$$

Розв'язавши це диференціальне рівняння щодо $P(t)$, отримують:

$$P(t) = e^{-\lambda t} \quad (1.4.1)$$

Таким чином, ймовірність безвідмовної роботи об'єкта описує *експоненціальний закон розподілу*, тобто вона зменшується з часом як експонента.

Закон має декілька властивостей:

1) Це один з найпростіших розподілів у теорії ймовірності, тому що визначається лише одним параметром λ і дає змогу отримати прості співвідношення для середнього часу, або математичного сподівання безвідмовної роботи об'єкта:

$$T = \frac{1}{\lambda} \quad (1.4.2)$$

Це так зване напрацювання на відмову, або очікуваний час між відмовами. Його не варто сприймати дослівно, бо ймовірність пропрацювати такий час без відмов досить мала:

$$P(t) = e^{-\lambda T} = e^{-T \frac{1}{T}} = \frac{1}{e} \approx 0,37$$

Отже, напрацювання на відмову - лише формальний параметр, що дійсний тільки для об'єктів, які після відмови відразу відновлюються.

2) Визначають ймовірність безвідмовної роботи пристрою за час в інтервалі $t_1 \dots t_2$. Відповідно з формулою (1.4.1) отримують:

$$P(t_1, t_2) = \frac{P(t_2)}{P(t_1)} = \frac{e^{-\lambda t_2}}{e^{-\lambda t_1}} = e^{-\lambda(t_2 - t_1)} \quad (1.4.3)$$

Це значить, що об'єкт, для якого чинний експоненціальний розподіл, залишається весь час немов новий, оскільки ймовірність безвідмовної роботи залежить тільки від тривалості періоду експлуатації пристрою і не залежить від того, скільки пристрій пропрацював до цього.

3) Експоненціальний розподіл суттєво спрощує розрахунок надійності складних систем. Припустимо, що комп'ютерна мережа складається з N ПК. Вона працездатна лише, коли всі її компоненти працездатні. Таке з'єднання - послідовне з точки зору надійності (електрично воно не обов'язково повинно бути таким). Тоді ймовірність безвідмовної роботи мережі $P_c(t)$ є добутком ймовірностей безвідмовної роботи компонентів, тобто:

$$P_c(t) = \prod_{i=1}^n P_i(t) = \prod_{i=1}^n e^{\lambda_i(t)} = e^{\left(-\sum_{i=1}^n \lambda_i\right)t}$$

або

$$\lambda_c = \sum_{i=1}^n \lambda_i \quad (1.4.4)$$

де $P_i(t)$, $\lambda_i(t)$ - ймовірність безвідмовної роботи кожного ПК та інтенсивність відмов; P_c , λ_c - параметри системи в N комп'ютерів.

Отже, коли всі компоненти системи необхідні для забезпечення її працездатності, то інтенсивність відмов системи є сумою інтенсивностей відмов компонентів. Це правило - дуже зручний інструмент для розрахунку надійності складних систем. Проте необхідно застерегти, що воно чинне лише для компонентів, для яких $\lambda(t)=\text{const}$. В інших випадках розрахунки суттєво ускладнюються через залежність Інтенсивності відмов від часу. Тому залишається справедливою лише формула:

$$P_c(t) = \prod_{i=1}^n P_i(t) \quad , (1.4.5)$$

а відповідний розподіл можна знайти, обчисливши значення $P_c(t)$ для ряду значень часу.

Нормальний розподіл (Гауса)

Не всі компоненти комп'ютерної техніки мають постійну інтенсивність відмов. У механічних, електромеханічних, гумотехнічних компонентах відбуваються помітні процеси старіння, тому тут застосовують інші розподіли. Серед них найуніверсальнішим є нормальний розподіл (Гауса), для якого густина розподілу:

$$f(t) = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(t-T)^2}{2\sigma^2}} \quad (1.4.6)$$

f - функція розподілу, тобто ймовірність, що об'єкт відмовить за час менший, ніж t , - площа під відповідною ділянкою кривої розподілу:

$$Q(t) = \int_{-\infty}^t \left(\frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(t-T)^2}{2\sigma^2}} \right) dt \quad (1.4.7)$$

Нормальний розподіл визначається двома параметрами: T - середній час безвідмовної роботи об'єкта; σ - середнє квадратичне відхилення від середнього часу безвідмовної роботи.

Функція $f(t)$ досягає максимуму при $t=T$ - значення тривалості роботи об'єкта, при якому частота відмов максимальна. Графіки функцій $f(t)$ і $Q(t)$ зображені на рис. 4.1.

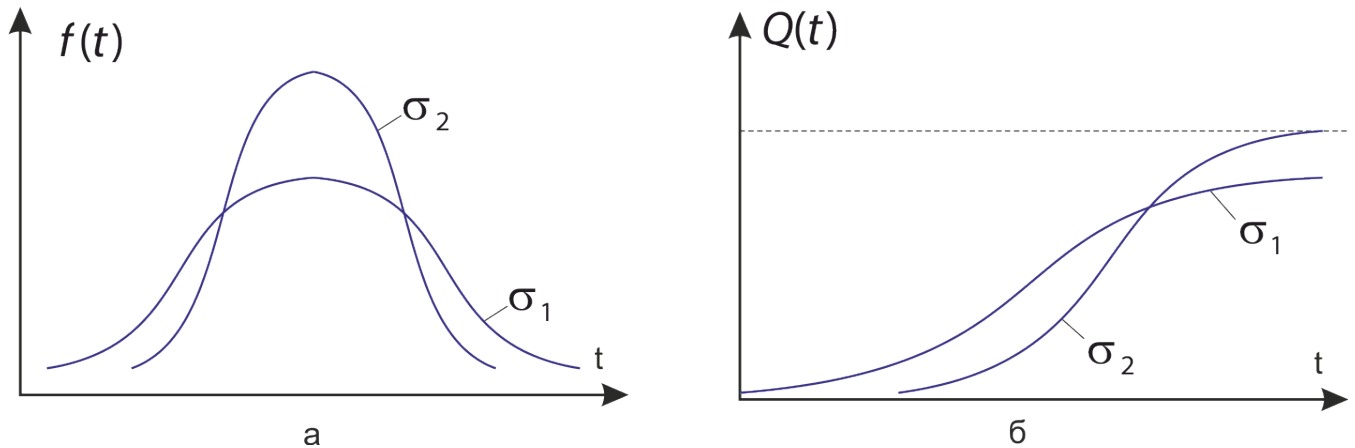


Рис. 4.1. Функція середнього квадратичного відхилення від середнього часу безвідмовної роботи об'єкта.

Чим більше значення σ , тим ширшою стає крива розподілу. Найбільша кількість відмов відбувається біля точки $t=T$. Таким чином, у межах від $T-\sigma$ до $T+\sigma$ виникає 68 % відмов.

Розподіл Вейбула

Досить часто у теорії надійності застосовують розподіл Вейбула. Це проста і штучна модель, що змінюється у широких межах залежно від її параметрів. Її запропонували для оцінювання міцності матеріалів, але далі часто використовували для оцінювання надійності. Ймовірність безвідмовної роботи у цьому випадку:

$$P(t) = e^{-\lambda t^\beta} \quad (1.4.8)$$

де λ та β - параметри моделі. $\beta=0,2\dots0,4$ - для електронних пристроїв зі спадаючою функцією інтенсивності відмов і $\beta=1,2\dots1,4$ - для механічних пристроїв з поступовим характером відмов.

Отже, всі згадані розподіли є лише математичними моделями фізичних процесів, що відбуваються у внутрішній структурі компонентів, з яких складаються об'єкти. Знання цих процесів дає змогу прогнозувати технічний стан об'єкта на тривалий період з більшою точністю. До того ж, враховуючи статистичний характер поняття надійності, не можна

сподіватися на велику точність розрахунків надійності на основі лише математичних моделей.

У відповідних випадках, коли, наприклад, комп'ютери застосовують для управління реальними об'єктами, які можуть становити небезпеку для людей або довкілля (ядерні установки, космічна апаратура), необхідно проводити натурні випробовування на надійність досить великої кількості об'єктів для того, щоб одержати розподіл, який відповідає реальним умовам експлуатації. У випадках, коли отримані показники надійності не відповідають вимогам безпеки чи іншого аналогічного критерію, необхідно застосовувати спеціальні методи забезпечення надійності.

Методи забезпечення надійності

Щодо забезпечення надійності будь-якого обладнання (не обов'язково електронного) принциповою є можливість (чи неможливість) відновлення працездатності об'єкта в разі його відмови. Тому в теорії надійності всі об'єкти поділяють на два великих класи: відновлювані і невідновлювані. Підхід до забезпечення надійності обох класів зовсім різний.

Контрольні питання:

1. Опишіть основні властивості експоненціального розподілу.
2. Запишіть формулу середнього часу напрацювання на відмову. Розшифруйте її.
3. Запишіть формулу густини розподілу для нормального розподілу.
4. Коли функція $f(t)$ досягає максимуму під час нормального розподілу?
5. У якому інтервалі при нормальному розподілі виникають 68% відмов?
6. Яка формула ймовірності безвідмовної роботи за розподілом Вейбулла?
7. На які класи поділяють об'єкти у теорії надійності?

Тема 1.4.2 Показники надійності невідновлюваних виробів

План:

- 1 Загальна характеристика показників надійності невідновлюваних виробів.
Ймовірність безвідмовної роботи;
- 2 Похідна ймовірності відмови. Інтенсивність відмов;
- 3 Середній час безвідмовної роботи.

Загальна характеристика показників надійності невідновлюваних виробів.

Ймовірність безвідмовної роботи

Показниками надійності невідновлюваних виробів є:

- ймовірність безвідмовної роботи;
- ймовірність відмов;
- інтенсивність відмов;
- середній наробіток до відмови (середній час безвідмовної роботи).

Одним із важливих показників надійності невідновлюваних виробів є ймовірність безвідмовної роботи за проміжок часу t . Це ймовірність того, що за певних умов експлуатації в межах заданого проміжку часу роботи відмова не виникне.

Ймовірність безвідмовної роботи виробу $p(t)$ за проміжок часу t можна розрахувати на основі показників надійності елементів, що складають даний виріб, або на основі статистичної обробки результатів випробувань великої кількості виробів даного типу. В цьому випадку ймовірність безвідмовної роботи можна визначити за формулою:

$$p(t) \approx \frac{N(t)}{N_0} = \frac{N_0 - n(t)}{N_0} = 1 - \frac{n(t)}{N_0}, \quad (1.4.9)$$

де N_0 - кількість виробів, що випробовувалися на протязі часу t ;

$N(t)$ - кількість працездатних за час випробування виробів;

$n(t)$ - кількість виробів, що відмовили за час t .

Помилка розрахунку за формулою (1.4.9) тим менша, чим більша кількість виробів, що випробовуються.

Ймовірність безвідмовної роботи виробу $p(t)$ за проміжок часу t пов'язана з імовірністю відмов $q(t)$ за той же проміжок часу співвідношенням:

$$p(t) + q(t) = 1. \quad (1.4.10)$$

Ймовірність того, що за час t виріб відмовить, за результатами статистичних випробувань, можна визначити за формулою:

$$q(t) \approx \frac{n(t)}{N_0}, \quad (1.4.11)$$

де $n(t)$ - кількість виробів, що відмовили за час t ;

N_0 - кількість виробів, що випробовувалися на протязі часу t .

У якості показника надійності невідновлюваних виробів використовується щільність розподілу наробітку до відмови $f(t)$.

Похідна ймовірності відмови. Інтенсивність відмов

Похідна ймовірності відмови $q(t)$ за часом t характеризує щільність розподілу наробітку (напрацювання) до відмови (часу безвідмовної роботи виробу), або швидкість «спадання» безвідмовності виробу:

$$f(t) = \frac{dq(t)}{dt} = -\frac{dp(t)}{d(t)}. \quad (1.4.12)$$

З урахуванням виразу (1.4.3) маємо:

$$f(t) = \frac{dn(t)}{dt \cdot N_0} \approx \frac{\Delta n(t)}{\Delta t \cdot N_0}. \quad (1.4.13)$$

Вираз (1.4.5) застосовується в тому випадку, коли всі вироби однотипні і випробовуються у однаковому режимі.

Найбільш розповсюдженим кількісним показником надійності є **інтенсивність відмов**, що являє собою відношення щільності розподілу наробітку до відмови до ймовірності безвідмовної роботи виробу, взяті для одного і того ж моменту часу:

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{p(t)}. \quad (1.4.14)$$

Підставивши в (1.4.6) вирази (1.4.1) і (1.4.5), маємо:

$$\lambda(t) = \frac{dn(t)}{dt \cdot N(t)}. \quad (1.4.15)$$

Інтенсивність відмов, отримана за результатами статистичних випробувань, визначається як відношення кількості виробів, що відмовили на протязі розглянутого проміжку часу, до добутку кількості виробів, які працездатні до початку цього проміжку, і його тривалості:

$$\lambda(t) \approx \frac{\Delta n(t)}{N(t) \cdot \Delta t} = \frac{\Delta n(t)}{(N_0 - n(t)) \cdot \Delta t}, \quad (1.4.16)$$

де Δt - розглянутий проміжок часу;

$\Delta n(t)$ кількість виробів, що відмовили за проміжок часу Δt ;

$N(t)$ - кількість виробів, що залишилися справними до розглянутого проміжку часу;

$n(t)$ - кількість виробів, що відмовили з початку випробувань до розглянутого проміжку часу Δt ;

N_0 - кількість виробів, що випробовувалися.

Ймовірність безвідмовної роботи та інтенсивність відмов пов'язані співвідношенням:

$$p(t) = e^{-\int_0^t \lambda(t) dt}. \quad (1.4.17)$$

Для II періоду - нормальної роботи виробу, коли $\lambda(t) = \lambda_0 = const$,

$$p(t) = e^{-\lambda t}. \quad (1.4.18)$$

Отримана залежність має назву експоненціального закону надійності.

Середній час безвідмовної роботи

Ще одним показником надійності невідновлюваних виробів є **середній час безвідмовної роботи** або середній наробіток до відмови $t_{сеп}$, що визначається за виразом:

$$t_{сеп} = \int_0^{\infty} p(t) dt. \quad (1.4.19)$$

Якщо $p(t) = e^{-\lambda t}$, то вираз (1.4.19) має вигляд:

$$t_{cep} = \int_0^{\infty} e^{-\lambda t} dt = 1/\lambda. \quad (1.4.20)$$

Тоді

$$p(t) = e^{-t/t_{cep}}. \quad (1.4.21)$$

Статистично (за результатами випробувань) t_{cep} визначається як відношення суми часу безперервної роботи кожного виробу до загальної кількості виробів, що випробовуються:

$$t_{cep} = \sum_{i=1}^{N_0} \frac{t_i}{N_0}, \quad (1.4.22)$$

де t_i - час безперервної роботи i -го виробу.

Усі розглянуті показники надійності невідновлюваних виробів є рівноправними. Проте на практиці перевага віддається інтенсивності відмов, оскільки ця функція легко визначається експериментально.

Контрольні питання:

1. Яку систему називать невідновлюванною?
2. Назвіть основні показники надійності невідновлюваних систем.
3. Що таке ймовірність безвідмовної роботи?
4. Запишіть формулу визначення відмов за час t за результатами статистичних випробувань.
5. Що таке похідна ймовірності відмови? Як її визначити?
6. Що таке похідна інтенсивність відмов? Як її визначити?
7. Що таке середній час безвідмовної роботи? Як його визначити?

Тема 1.4.3 Показники надійності відновлюваних виробів

План:

1. Відновлюванні системи
2. Середнє напрацювання на відмову. Напрацювання між відмовами
3. Середній час відновлення. Коефіцієнт готовності
4. Коефіцієнт технічного використання

Відновлюванні системи

Більшість складних технічних систем з тривалими термінами служби є **відновлюваними, тобто** відмови, що виникають в процесі експлуатації систем усуваються при ремонті. Технічно справний стан виробів у процесі експлуатації підтримують проведенням профілактичних і відновлювальних робіт. При експлуатації виробів для здійснення робіт з підтримки і відновленню їх працездатності необхідні значні витрати праці і матеріальних засобів, а також і часу. Як показує виробничий досвід, ці витрати за час експлуатації виробів зазвичай значно перевищують відповідні витрати на їх виготовлення.

Сукупність робіт з підтримки і відновлення працездатності та ресурсу виробів підрозділяють на **технічне обслуговування та ремонт**, які, у свою чергу, підрозділяють на **профілактичні роботи**, здійснювані в плановому порядку, і **аварійні**, які проводяться в міру виникнення відмов або аварійних ситуацій.

Властивість ремонтпридатності виробів впливає на матеріальні витрати і тривалість простоїв в процесі експлуатації. Ремонтпридатність тісно пов'язана з безвідмовністю і довговічністю виробів. Так, для виробів з високим рівнем безвідмовності, як правило, характерні низькі затрати праці та коштів на підтримку їх працездатності.

Середнє напрацювання на відмову. Напрацювання між відмовами

Показники безвідмовності і ремонтпридатності виробів є складовими частинами комплексних показників, таких як коефіцієнти готовності До і технічного використання До ти. До показників надійності, притаманним тільки відновлюваним елементам, слід віднести середнє напрацювання на відмову, напрацювання між відмовами, ймовірність відновлення, середній час відновлення, коефіцієнт готовності і коефіцієнт технічного використання. **Середнє напрацювання на відмову** - напрацювання відновлюваного елемента, припадає в середньому на одну відмову в розглянутому інтервалі сумарного напрацювання або певної тривалості експлуатації:

$$T_{\text{ср}} = 1/m \sum_{i=1}^m t_i, \quad (1.4.23)$$

де t_i - напрацювання елемента до i -го відмови; m - число відмов у даному інтервалі сумарного напрацювання.

Напрацювання між відмовами визначається обсягом роботи елемента від i -го відмови до $(i+1)$ -го відмови, де $i = 1, 2, \dots, m$.

Середній час відновлення. Коефіцієнт готовності

Середній час відновлення однієї відмови в розглянутому інтервалі сумарного напрацювання або певної тривалості експлуатації

$$T_{\text{в}} = 1/m \sum_{i=1}^m t_{\text{в}i}, \quad (1.4.24)$$

де $t_{\text{в}i}$ - час відновлення i -го відмови; m - число відмов у даному інтервалі сумарного напрацювання.

Коефіцієнт готовності K_r являє собою ймовірність того, що виріб буде працездатним в довільний момент часу, крім періодів виконання планового технічного обслуговування, коли застосування виробу за призначенням виключено. Цей показник є комплексним, так як він кількісно характеризує одночасно два показники: безвідмовність і ремонтпридатність. У стаціонарному (усталеному) режимі експлуатації і при будь-якому вигляді закону розподілу часу роботи між відмовами і часу відновлення коефіцієнт готовності визначають за формулою

$$K_r = T_o / (T_o + T_{\text{в}}), \quad (1.4.25)$$

де T_o - середнє напрацювання на відмову; $T_{\text{в}}$ - середній час відновлення одного відмови.

Таким чином, аналіз формули показує, що надійність виробу є функцією не тільки безвідмовності, але й ремонтпридатності. Це означає, що низька надійність може бути декілька компенсована поліпшенням ремонтпридатності. Чим вище інтенсивність відновлення, тим вище готовність виробу. Якщо час простою велике, то готовність буде низькою.

Коефіцієнт технічного використання

Іншою важливою характеристикою ремонтпридатності є **коефіцієнт технічного використання** $K_{\text{тн}}$, який являє собою відношення напрацювання виробу в одиницях часу за деякий період експлуатації до суми цієї напрацювання і часу всіх простоїв, обумовлених усуненням відмов, технічним обслуговуванням і ремонтами за цей період. Коефіцієнт технічного використання являє собою ймовірність того, що виріб буде працювати в належному режимі за час T . Таким чином, $K_{\text{тн}}$ визначається двома основними чинниками - надійністю і ремонтпридатністю.

Коефіцієнт технічного використання характеризує частку часу перебування елемента в працездатному стані щодо розглянутої тривалості експлуатації.

Період експлуатації, для якого визначається коефіцієнт технічного використання, повинен містити всі види технічного обслуговування і ремонтів. Коефіцієнт технічного використання враховує витрати часу на планові та непланові ремонти, а також встановлені регламенти і визначається за формулою

$$K_{\text{тн}} = t_n / (t_n + t_v + t_p + t_o) \quad (1.4.26)$$

де t_n - сумарне напрацювання виробу в розглянутий проміжок часу; t_v , t_p і t_o - відповідно сумарний час, витрачений на відновлення, ремонт і технічне обслуговування виробу за той же період часу.

Контрольні питання

1. Що таке відновлювана система?
2. Що таке середнє напрацювання на відмову? Як його визначити?
3. Що таке напрацювання між відмовами? Як його визначити?
4. Що таке середній час відновлення? Запишіть та розшифруйте формулу його визначення.
5. Що таке коефіцієнт готовності? Запишіть формулу його визначення.
6. Що таке коефіцієнт технічного використання? Для чого він використовується?

Тема 1.4.4 Оцінка показників надійності за статистичними даними при експлуатації й випробуваннях

План:

1. Припущення, що використовуються для оцінки показників надійності за статистичними даними експлуатації
2. Визначення кількості відмов та інших показників;
3. Перевірка правильності визначення оцінок;

Припущення, що використовуються для оцінки показників надійності за статистичними даними експлуатації

Нехай під спостереженням в процесі випробувань або експлуатації перебувало N ($N=100$) однотипних виробів, що працюють до першої відмови. Позначимо через $t_1, t_2, \dots, t_k, \dots, t_{N-1}, t_N$ значення моментів часу виходу з ладу всіх розглянутих виробів. Розділимо весь діапазон часу безвідмовної роботи всіх N виробів на n інтервалів часу:

$$\Delta t_i = t_{i+1} - t_i, \quad i = \overline{(0, n-1)}. \quad (1.4.19)$$

При цьому $t_0=0$, $t_n = \max_{1 \leq k \leq N} t_k$.

Визначення кількості відмов та інших показників

Визначимо кількість відмов Δr_i виробів, що доводяться на кожний i -ий інтервал часу. **Статистична оцінка інтенсивності відмов**, що відповідає кожному i -му інтервалу часу обчислюється по формулі:

$$\lambda_i^* = \frac{\Delta r_i}{(N - r_{i-1}) \Delta t_i}, \quad i = \overline{(0, n-1)}. \quad (1.4.20)$$

Загальна кількість відмов спостережуваних виробів в інтервалі часу $(0, t_{i-1})$ обчислюється за допомогою співвідношення виду:

$$r_{i-1} = \sum_{j=1}^{i-1} \Delta r_j. \quad (1.4.21)$$

Статистична оцінка густини розподілу відмов визначається як

$$f_i^* = \frac{\Delta r_i}{N \Delta t_i}, \quad i = \overline{(0, n-1)}. \quad (1.4.22)$$

Статистична оцінка функції надійності виробу обчислюється як

$$p_i^* = 1 - (r_i / N), \quad i = \overline{(0, n-1)}, \quad (1.4.23)$$

де $r_i = \sum_{j=1}^i \Delta r_j$ - число об'єктів, що відмовили в інтервалі часу $(0, t_i)$.

Перевірка правильності визначення оцінок

Для перевірки правильності визначення оцінок показників надійності використовується зв'язок між показниками $\lambda(t)$, $p(t)$ і $f(t)$ виду:

$$\lambda_i^* = \frac{f_i^*}{p_i}, \quad i = \overline{(0, n-1)}. \quad (1.4.24)$$

На практиці для зручності інтерпретації експериментальні значення показників надійності $\lambda(t)$, $p(t)$ і $f(t)$ представляються у формі гістограм.

В технічній документації на виробу часто використовується такий показник як середній наробіток на відмову. Оцінка такого показника має вигляд:

$$m_t^* = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N t_k. \quad (1.4.25)$$

Контрольні питання:

1. Як обчислити статичну оцінку інтенсивності відмов?
2. Як обчислити загальну кількість відмов спостережуваних виробів в інтервалі часу?
3. Як може бути визначена статистична оцінка густини розподілу відмов?
4. Як може бути визначена статистична оцінка функції надійності виробу?
5. Як визначити правильність статичних оцінок?
6. Як визначити середній наробіток на відмову? Де він використовується?

Контрольна робота за темою 1.4

Дайте відповіді на наступні питання:

1. Як обчислити статичну оцінку інтенсивності відмов?
2. Як обчислити загальну кількість відмов спостережуваних виробів в інтервалі часу?
3. Як може бути визначена статистична оцінка густини розподілу відмов?
4. Як може бути визначена статистична оцінка функції надійності виробу?
5. Як визначити правильність статичних оцінок?
6. Як визначити середній наробіток на відмову? Де він використовується?
7. Що таке відновлювана система?
8. Що таке середнє напрацювання на відмову? Як його визначити?
9. Що таке напрацювання між відмовами? Як його визначити?
10. Що таке середній час відновлення? Запишіть та розшифруйте формулу його визначення.
11. Що таке коефіцієнт готовності? Запишіть формулу його визначення.
12. Що таке коефіцієнт технічного використання? Для чого він використовується?
13. Яку систему називають невідновлюваною?
14. Назвіть основні показники надійності невідновлюваних систем.
15. Що таке ймовірність безвідмовної роботи?
16. Запишіть формулу визначення відмов за час t за результатами статистичних випробувань.
17. Що таке похідна ймовірності відмови? Як її визначити?
18. Що таке похідна інтенсивність відмов? Як її визначити?
19. Що таке середній час безвідмовної роботи? Як його визначити?
20. Опишіть основні властивості експоненціального розподілу.
21. Запишіть формулу середнього часу напрацювання на відмову. Розшифруйте її.
22. Запишіть формулу густини розподілу для нормального розподілу.
23. Коли функція $f(t)$ досягає максимуму під час нормального розподілу?
24. У якому інтервалі при нормальному розподілі виникають 68% відмов?
25. Яка формула ймовірності безвідмовної роботи за розподілом Вейбулла?
26. На які класи поділяють об'єкти у теорії надійності

Семінарське заняття за темами 1.3 та 1.4

Студенти можуть взяти одну з наступних тем для самостійної підготовки та презентації:

- Закони розподілу відмов
- Показники надійності невідновлюваних виробів
- Показники надійності відновлюваних виробів
- Оцінка показників надійності за статистичним даними при експлуатації й випробуваннях
- Випробування на надійність
- Методи, що підтверджують виконання норм надійності
- Складання логічних схем для розрахунку надійності
- Вибір й уточнення значень показників надійності
- Розрахунок втрат продуктивності систем через ненадійність елементів
- Логіко-імовірнісний метод розрахунку надійності систем з монотонною структурою

Презентація обранної теми повинна бути короткою та вичерпною.

Тема 1.5. Оцінка надійності апаратної частини комп'ютерних систем

Тема 1.5.1 Загальні відомості про резервування як про метод підвищення надійності

План:

- 1 Загальна класифікація методів резервування;
- 2 Класифікація методів резервування за навантаженістю резервних елементів;

Загальна класифікація методів резервування

Підвищення надійності системи шляхом резервування є одним з ефективних способів підвищення надійності, але завжди пов'язане зі збільшенням її габаритів, маси, вартості.

Розглянемо коротко класифікацію методів резервування (див. табл. 1.5)

Таблиця 1.5 – Класифікація методів резервування;

Ознака резервування	Метод резервування
По виду з'єднання основних і резервних елементів	Загальний
	Роздільний
	Змішаний
	З змінною структурою (динамічний)
За навантаженості резервних елементів до їх включення	Навантажений
	Недовантажений(полегшений)
	Ненавантажений
	З змінним навантаженням
За способом перемикання основних і резервних елементів	З ручним перемиканням
	З напівавтоматичним перемиканням
	З автоматичним перемиканням
За наявністю відновлюваних елементів	Без відновлення
	З відновленням

За використання параметрів системи	Інформаційне
	Структурне
	Функціональне
	Тимчасове

Класифікація методів резервування за навантаженістю резервних елементів

За навантаженістю резервних елементів резервування підрозділяється на наступні види:

- з незмінним навантаженням (при відмові одного або декількох елементів не змінюється навантаження на елементи, що залишилися роботоздатними);
- з перерозподілом навантаження (при відмові хоча б одного елемента змінюється, як правило в бік збільшення, навантаження на елементи, які залишились роботоздатними);
- з навантажуваним резервуванням (резервуванням за навантаженням), у яких при відмові хоча б одного елемента технічний засіб виходить з ладу, але інтенсивність відмов елементів зменшена за рахунок того, що навантаження, яке повинен сприймати один елемент, сприймається декількома елементами.

Контрольні питання:

1. Що таке резервування?
2. Назвіть основні ознаки класифікації методів резервування.
3. Як методи резервування класифікують за видом з'єднання елементів?
4. Як методи резервування класифікують за способом перемикання основних та резервних елементів?
5. Як методи резервування класифікують за використанням параметрів системи?
6. Як методи резервування класифікують за навантаженістю резервних елементів?
7. Як методи резервування класифікують за навантажінністю резервних елементів до їх включення?

Тема 1.5.2 Загальне резервування з постійно включеним резервом і цілою кратністю

План:

- 1 Типова будова систем, що мають загальне резервування з постійно включеним резервом і цілою кратністю;
- 2 Визначення показників надійності для системи, що мають загальне резервування з постійно включеним резервом і цілою кратністю.

Типова будова систем, що мають загальне резервування з постійно включеним резервом і цілою кратністю

Розрахунково-логічна схема для постійного включення резерву зображена на рис. 1.7.

На рис. 1.5.1 основне коло складається з n елементів – O_1, O_2, \dots, O_n . Кожне з m резервованих кіл містить у собі також n елементів P_1, P_2, \dots, P_n . Для простоти міркувань будемо вважати, що основне і резервні кола мають однакову надійність. Кратність такої схеми резервування дорівнює $m \cdot U$. Отже, дана схема відповідає випадку, коли відмова ТЗ настає при відмові усіх $(m+1)$ кіл як основних, так і резервних. Будемо вважати також, що основне і резервне кола вмикаються в роботу одночасно (навантажений резерв), але використовується лише одне коло – основне. При відмові основного кола його функції без усякої перерви починає виконувати одне з резервних.

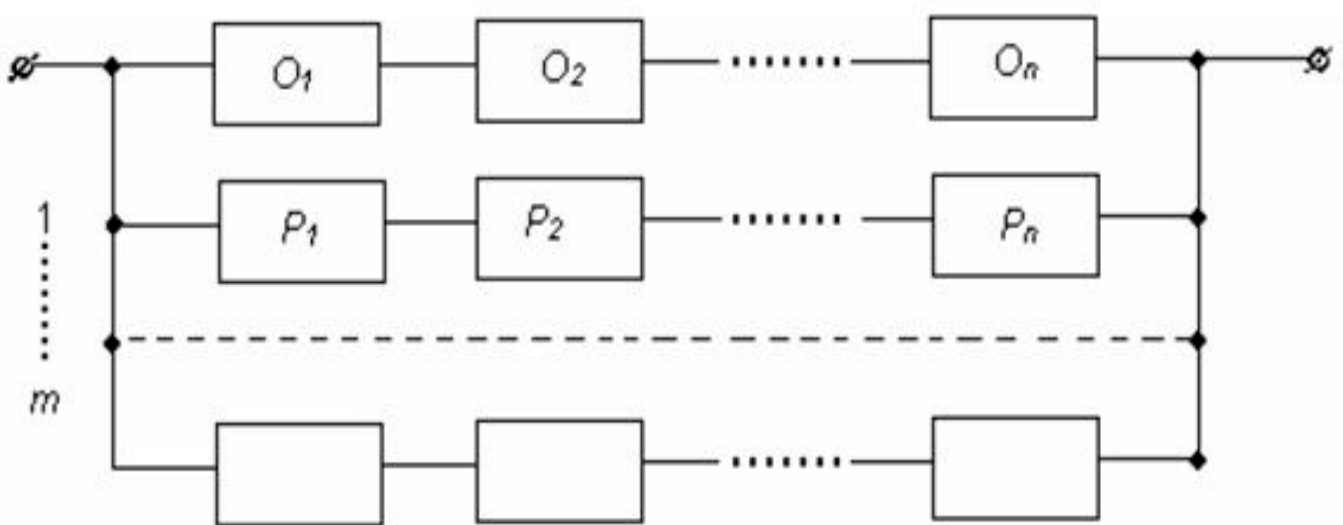


Рисунок 1.5.1 – Загальне резервування з постійно включеним резервом

Визначення показників надійності для системи, що мають загальне резервування з постійно включеним резервом і цілою кратністю

У цьому випадку ймовірність безвідмовної роботи резервованого ТЗ буде визначатися за такою формулою:

$$P_{ТЗ}(t) = 1 - \left[1 - \prod_{i=1}^n P_i(t) \right]^{m+1}, \quad (1.5.3)$$

де $P_i(t)$ – ймовірність безвідмовної роботи i -го елемента протягом часу t ;

n – число елементів основного або будь-якого резервного кола;

m – кратність резервування.

Якщо час до відмови кожного кола резервованого ТЗ розподілено за експоненційним законом, то в цьому випадку маємо для ймовірності безвідмовної роботи таке рівняння:

$$P_{ТЗ}(t) = 1 - \left[1 - e^{-\lambda_0 t} \right]^{m+1}. \quad (1.5.4)$$

Середнє напрацювання до відмови для експоненційного розподілу буде дорівнювати

$$T_{ТЗ_{\text{ср}}} = \frac{1}{\lambda_0} \sum_{i=0}^m \frac{1}{i+1} = T_{\text{ср}_0} \sum_{i=0}^m \frac{1}{i+1}, \quad (1.5.5)$$

де $\lambda_0 = \sum_{i=1}^n \lambda_i$ – інтенсивність відмов основного кола або кожного з резервних;

$T_{ТЗ_{\text{ср}}}$ – середнє напрацювання до відмови основного кола або кожного з резервних.

Контрольні питання:

1. Відтворіть типову будова систем, що мають загальне резервування з постійно включеним резервом і цілою кратністю.
2. Як позначають основні та резервні елементи?
3. Що таке кратність? Поясніть її значення.
4. Як знайти ймовірність безвідмовної роботи резервованого ТЗ для системи, що мають загальне резервування з постійно включеним резервом і цілою кратністю?
5. Як знайти середнє напрацювання до відмови для системи, що мають загальне резервування з постійно включеним резервом і цілою кратністю?

Тема 1.5.3 Роздільне резервування з постійно включеним резервом і цілою кратністю

План:

- 1 Типова будова систем, що мають роздільне резервування з постійно включеним резервом і цілою кратністю;
- 2 Визначення показників надійності для системи, що мають роздільне резервування з постійно включеним резервом і цілою кратністю.

Типова будова систем, що мають роздільне резервування з постійно включеним резервом і цілою кратністю

Розрахунково-логічна схема для такого типу резервування зображена на рис. 1.5.2

При роздільному резервуванні кожен елемент основного кола O_i має свої резервні елементи P_i і відповідно свою кратність резервування m_i (рис. 1.8). В окремому випадку кратність резервування може бути й однаковою для всіх основних елементів. Отже, при розрахунку надійності таких резервованих ТЗ у випадку навантаженого резерву можна використовувати формули для елементів основного кола, а потім, використовуючи вирази, визначати ПН ТЗ в цілому.

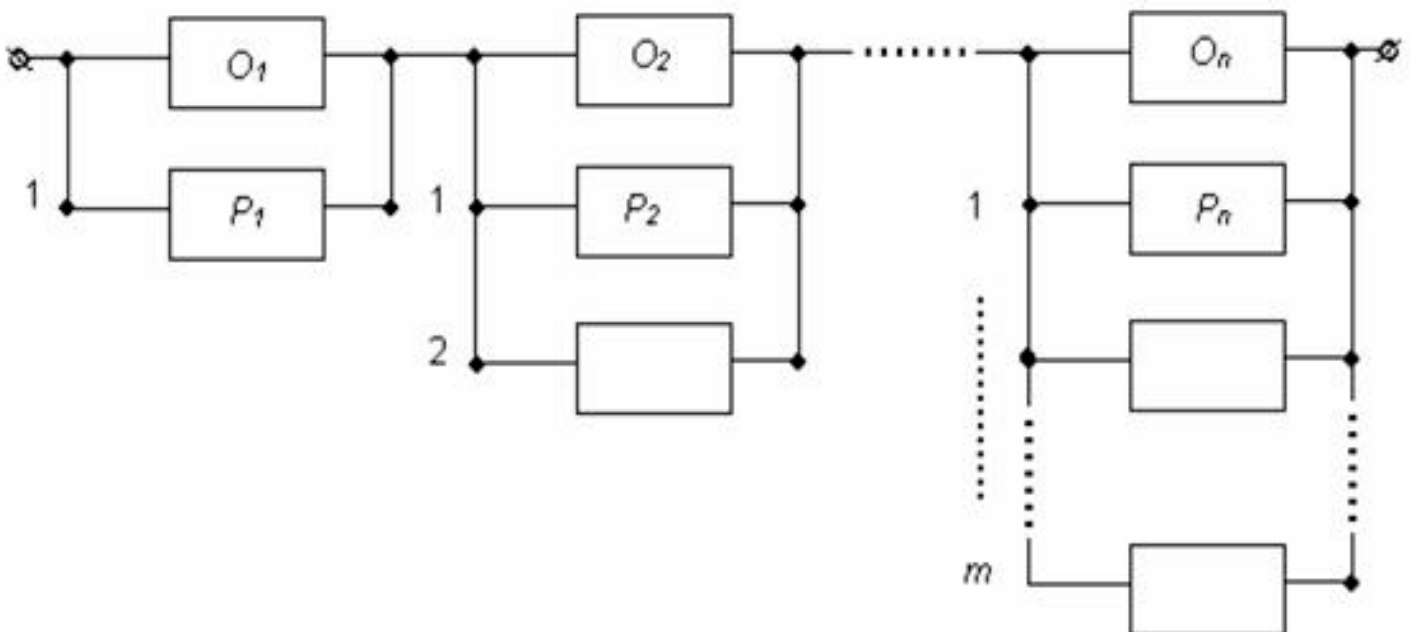


Рисунок 1.5.2 – Роздільне резервування з постійно включеним резервом

Враховуючи викладене, ймовірність безвідмовної роботи ТЗ із окремим резервуванням буде визначатися за формулою

$$P_{ТЗ}(t) = \prod_{i=1}^n \left(1 - [1 - P_i(t)]^{m+1} \right) \quad (1.5.6)$$

При експоненційному розподілі ймовірність безвідмовної роботи буде дорівнювати

$$P_{ТЗ}(t) = \prod_{i=1}^n \left(1 - [1 - e^{-\lambda_i t}]^{m+1} \right) \quad (1.5.7)$$

В окремому випадку при однаковій надійності основних і резервних елементів, а також однакової кратності резервування отримаємо

$$P_{ТЗ}(t) = \prod_{i=1}^n \left(1 - [1 - e^{-\lambda_i t}]^{m+1} \right)^n \quad (1.5.8)$$

Середнє напрацювання до відмови при цьому буде визначатися за формулою

$$T_{ТЗ_{ep}} = \int_0^{\infty} P_{ТЗ}(t) dt = \frac{(n-1)!}{\lambda(m+1)} \sum_{i=0}^m \frac{1}{v_i(v_i+1)\dots(v_i+n-1)}, \quad (1.5.9)$$

де $v_i = \frac{i+1}{m+1}$.

Контрольні питання:

1. Відтворіть типову будова систем, що мають роздільне резервування з постійно включеним резервом і цілою кратністю.
2. Як позначають основні та резервні елементи?
3. Що таке кратність? Поясніть її значення.
4. Як знайти ймовірність безвідмовної роботи резервованого ТЗ для системи, що мають роздільне резервування з постійно включеним резервом і цілою кратністю?
5. Як знайти середнє напрацювання до відмови для системи, що мають роздільне резервування з постійно включеним резервом і цілою кратністю?

Тема 1.5.4 Загальне й роздільне резервування заміщенням і цілою кратністю

План:

- 1 Основні відмінності резервування заміщенням. Перетворення формул для резервування з заміщенням;
- 2 Визначення показників надійності для систем з резервуванням заміщенням;

Основні відмінності резервування заміщенням. Перетворення формул для резервування з заміщенням

При резервуванні заміщенням у випадку відмови основного кола (або елемента) вручну або автоматично за допомогою спеціального перемикача в схему ТЗ включаються резервні кола (або елементи). Відмова резервованого ТЗ при цьому настає після відмови останнього резервного кола (або елемента). Якщо припустити наявність «ідеального» («абсолютно надійного») перемикача, то розрахунок ймовірності безвідмовної роботи ТЗ можна виконати за такою рекурентною формулою:

$$P_{m+1}(t) = P_m(t) + \int_0^t P(t-T) a_m(T) dt, \quad (1.5.10)$$

де $P_{m+1}(t), P_m(t)$ – ймовірність безвідмовної роботи резервованого ТЗ кратності $(m+1)$ і m , відповідно; $P(t-T)$ – ймовірність безвідмовної роботи основного кола (або елемента) ТЗ протягом часу $(t-T)$; $a_m(T)$ – частота відмов резервованого ТЗ кратності m у момент часу T .

Визначення показників надійності для систем з резервуванням заміщенням

Рекурентна формула (1.5.10) дозволяє одержувати розрахункові співвідношення для ТЗ будь-якої кратності резервування. При цьому для отримання формул розрахунку надійності необхідно виконати інтегрування в правій частині рівняння (1.5.10), підставивши замість $P(t-T)$ і $a_m(T)$ їхні значення відповідно до вибраного закону розподілу та станом резерву.

Розрахунково-логічні схеми загального і окремого резервування заміщенням представлені, відповідно, на рис. 1.5.3, а та б.

При ненавантаженому резерві й експоненційному законі розподілу часу безвідмовної роботи ймовірність $P_{ТЗ}(t)$ і середнє напрацювання $T_{ТЗ_{сп}}$ визначаються за такими виразами:

$$P_{ТЗ}(t) = e^{-\lambda_0 t} \sum_{i=0}^m \frac{(\lambda_0 t)^i}{i!}, \quad (1.5.11)$$

$$T_{ТЗ_{сп}} = T_{сп_0} (m + 1), \quad (1.5.12)$$

де $\lambda_0, T_{сп_0}$ – інтенсивність відмови і середнє напрацювання до відмови основного кола ТЗ.

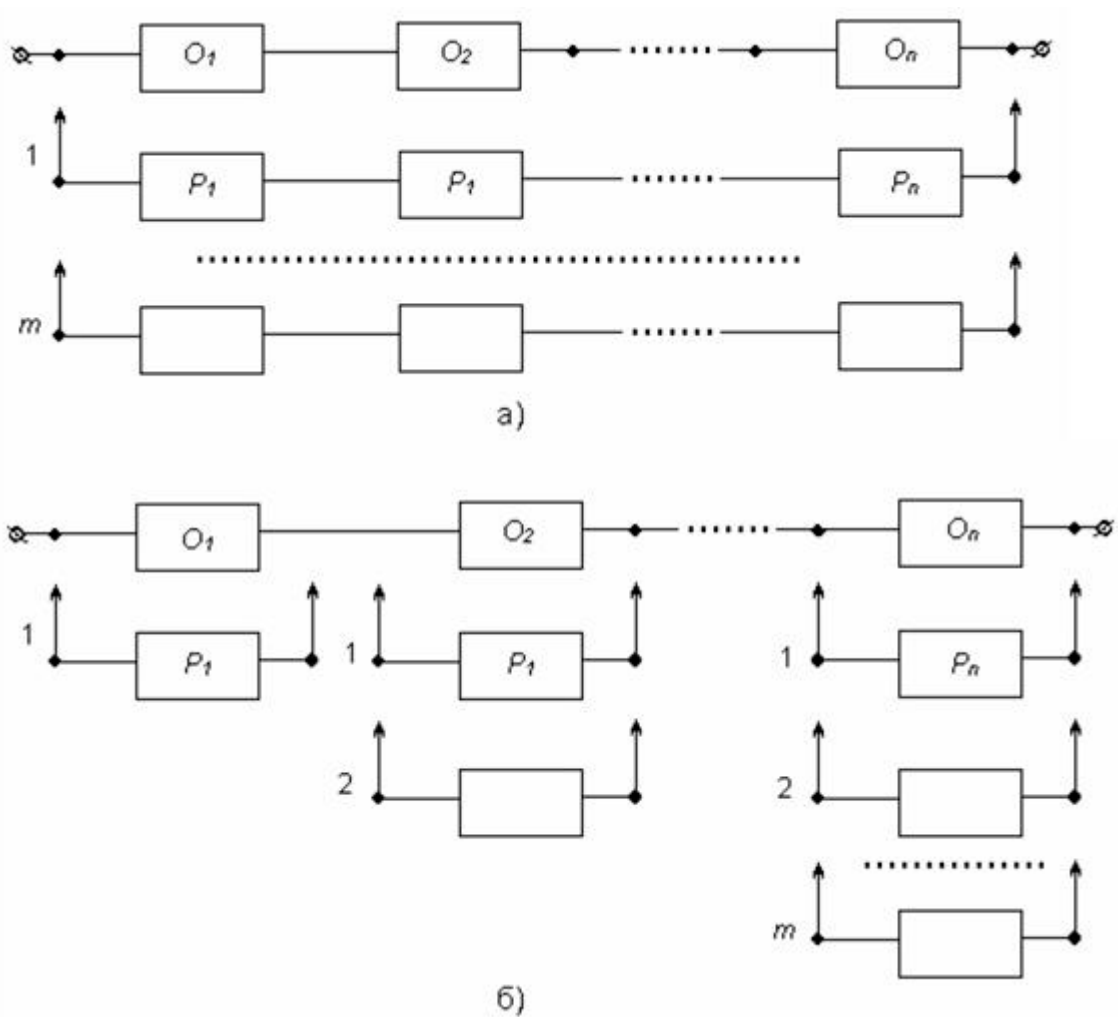


Рисунок 1.5.3 – Резервування заміщенням: а) – загальне; б) – окреме

При полегшеному резерві й експоненційному розподілі відповідно маємо:

$$P_{ТЗ}(t) = e^{-\lambda_0 t} \left[1 + \sum_{i=1}^m \frac{a_i}{i!} (1 - e^{-\lambda_0 t})^i \right], \quad (1.5.13)$$

$$T_{ТЗ\text{ ср}} = \frac{1}{\lambda_0} \sum_{i=0}^m \frac{1}{1+iK}, \quad (1.5.14)$$

де $a_i = \prod_{j=0}^{i-1} (j + \frac{\lambda_0}{\lambda_1})$; $K = \frac{\lambda_1}{\lambda_0}$; λ_1 – інтенсивність відмов резервного кола до заміщення.

У випадку окремого резервування заміщенням (див. рис. 1.9, б), як уже було сказано, кожен елемент основного кола O_1, O_2, \dots, O_n має свої резервні елементи P_i і відповідно свою контактність резервування m_i , що в окремому випадку може бути й однаковою для всіх основних елементів. Отже, поєднуючи в окрему групу кожен елемент основного кола разом з своїми резервними елементами, ми отримуємо послідовне з'єднання окремих резервованих груп, що в сукупності і складають резервованій ТЗ в цілому. Таким чином, розрахунок надійності кожної резервованої групи елементів можна зробити за відомими формулами загального резервування заміщенням.

Для визначення ПН резервованих ТЗ в цілому розрахунок ведеться в подальшому за відомими формулами для послідовного з'єднання елементів. Звідси ймовірність безвідмовної роботи ТЗ із окремим резервуванням заміщенням може бути визначена за виразом

$$P_{ТЗ}(t) = \prod_{i=1}^n P_{ri}(t), \quad (1.5.15)$$

де $P_{ri}(t)$ – ймовірність безвідмовної роботи груп, резервованих за способом заміщення елементів основного кола ТЗ і-го типу. $P_{ri}(t)$ розраховується за формулами.

Усі наведені вище розрахункові співвідношення були отримані, як вказувалося, для випадку «ідеального» перемикача. На практиці всі перемикачі безумовно мають відмови, причому, будь-якого характеру. Серед них слід відзначити:

- а) неспрацювання при відмові основної апаратури, у результаті чого резервний елемент не буде включений замість відмовившого основного, що призведе до відмови резервної групи;
- б) помилкове спрацювання, у результаті чого відбудеться переключення на резерв при справній основній апаратурі, що призведе до зменшення часу відмови групи в цілому;
- в) відмови, що виводять з ладу резервну групу в цілому.

Ймовірність безвідмовної роботи резервної групи з урахуванням ненадійності перемикача і при зазначених вище припущеннях може бути визначена за такою формулою

$$P_{\text{РГ}}(t) = \left\{ 1 - \prod_{i=1}^n [1 - P_i(t) \cdot P_{\text{Ш}}(t)] \right\} P_{\text{ВП}}(t), \quad (1.5.16)$$

де $P_i(t)$ – ймовірність безвідмовної роботи основного або резервного елемента;

$P_{\text{Ш}}(t)$ – ймовірність безвідмовної роботи сукупності елементів перемикача, що здійснюють включення і-го кола резервної групи;

$P_{\text{ВП}}(t)$ – ймовірність безвідмовної роботи сукупності елементів перемикача, відмова яких призводить до відмови резервної групи в цілому.

Контрольні питання:

1. Відтворіть типову будова систем, що мають роздільне резервування з постійно включеним резервом і цілою кратністю.
2. Як знайти розподіл часу безвідмовної роботи при ненавантаженому резерві й експоненційному законі у випадку резервування заміщенням ?
3. Як знайти розподіл часу безвідмовної роботи при полегшеному резерві й експоненційному розподілі у випадку резервування заміщенням ?
4. В чому особливість окремого резервування заміщенням ?
5. Які відмови на практиці виникають у перемикачів?
6. Як знайти ймовірність безвідмовної роботи резервної групи з урахуванням ненадійності перемикача?

Практична робота №2

Тема: «Обчислення основних показників надійності невідновлюваних елементів»

Мета: Розрахувати основні показники надійності об'єктів комп'ютерної мережі

Хід роботи

Теоретичний матеріал

1. Поняття надійності та елементи надійності

У загальному випадку, надійність - це властивість технічного пристрою або виробу виконувати свої функції в межах допустимих відхилень протягом певного проміжку часу.

Надійність виробу закладається на стадії проектування і істотно залежить від таких критеріїв, як вибір технічної і технологічної специфікації, відповідності прийнятих конструкторських рішень світового рівню. На надійність ЛВС також впливають грамотність персоналу на всіх рівнях користування мережею, умови транспортування, зберігання, монтажу, налагодження та обкатки кожного вузла мережі, дотримання правил експлуатації обладнання.

При розрахунках і оцінці надійності обчислювальної мережі будуть використовуватися такі терміни та визначення:

- **Працездатність** - стан виробу, при якому воно здатне виконувати свої функції в межах встановлених вимог.
- **Відмова** - подія, при якому порушується працездатність виробу.
- **Несправність** - стан виробу, при якому воно не відповідає хоча б одній вимозі технічної документації.
- **Напрацювання** - тривалість роботи виробу в годинах або інших одиницях часу.
- **Напрацювання на відмову, або середній час безвідмовної роботи** - середнє значення напрацювання ремонтovanого виробу між відмовами.
- **Імовірність безвідмовної роботи** - імовірність того, що в даний проміжок часу не виникне відмови виробу.

- Інтенсивність відмов - ймовірність відмови неремонтованих виробів в одиницю часу після цього моменту часу.
- Безвідмовність - властивість виробу зберігати працездатність протягом деякого напрацювання.
- Довговічність - властивість виробу зберігати працездатність до граничного стану з перервами на обслуговування і ремонт.
- Ресурс - напрацювання виробу до граничного стану, обумовлена в технічній документації.
- Термін служби - календарна тривалість роботи виробу до граничного стану, обумовлена в технічній документації.
- Ремонтопридатність - доступність виробу для його обслуговування і ремонту.

Надійність є комплексною властивістю, яке включає в себе такі властивості як:

- працездатність;
- збереженість;
- ремонтпридатність;
- довговічність.

Основна властивість, що описується кількісними характеристиками - працездатність.

Втрата працездатності - відмова. Відмови електротехнічного виробу можуть означати не тільки електричні або механічні пошкодження, а й догляд його параметрів за допустимі межі. У зв'язку з цим відмови можуть бути раптовими і поступовими.

Виникнення раптових відмов у влаштуванні є випадковими подіями. Ці відмови можуть бути незалежними, коли відмова одного елемента в пристрої відбувається незалежно від інших елементів, і залежними, коли відмова одного елемента викликаний відмовою інших. Поділ відмов на раптові і поступові є умовним, так як раптові відмови можуть бути викликані розвитком поступових відмов.

Основні кількісні характеристики надійності (працездатності):

- ймовірність безвідмовної роботи за час t : $P(t)$;
- ймовірність відмови за час t : $Q(t) = 1 - P(t)$;

- інтенсивність відмов $X(t)$ - вказує середнє число відмов, що виникає за одиницю часу експлуатації виробу;
- середній час напрацювання виробу до відмови T (величина, зворотна інтенсивності відмов).

Реальні значення зазначених характеристик отримують за результатами випробувань на надійність. У розрахунках часу до відмови / вважаються випадковими величинами, тому використовується апарат теорії ймовірностей.

Властивості (аксіоми):

- 1) $P(0) = 1$ (розглядається експлуатація працездатних виробів);
- 2) $\lim_{t \rightarrow \infty} P(t) = 0$ (працездатність не може бути збережена необмежений час);
- 3) $dP(t) / dt < 0$ (в разі якщо після відмови виріб не відновлюється).

протягом терміну служби технічного пристрою можна виділити три періоди, інтенсивність відмов в яких змінюється по-різному.

У перший період, званий періодом підробітки, відбувається виявлення конструктивних, технологічних, монтажних та інших дефектів, тому інтенсивність відмов може підвищуватися на початку періоду, знижуючи при підході до періоду нормальної роботи.

Період нормальної роботи характеризується раптовими відмовами постійної інтенсивності, яка збільшується до періоду зносу.

У період зносу інтенсивність відмов збільшується з плином часу у міру зносу виробу.

Очевидно, основним повинен бути період нормальної роботи, а інші періоди є періодами входу і виходу з цього періоду.

Аксіома 3 дійсна для невідновлювальних елементів (мікросхем, радіоелементів і т.п.). Процес експлуатації відновлюваних систем і виробів відрізняється від такого ж процесу для невідновлювальних тим, що поряд з потоком відмов елементів виробу присутні стадії ремонту відмовили елементів, тобто присутній потік відновлення елементів. Для відновлюваних систем не виконується третя властивість характеристик надійності: $dP(t) / dt < 0$. За період часу Δt можуть відмовити два елементи системи, а бути відновленими - три аналогічних елемента, а значить похідна $dP(t) / dt > 0$.

При конфігуруванні обчислювальних мереж оперують таким поняттям, як середній час напрацювання на відмову того чи іншого елемента мережі.

Наприклад, якщо пройшло перевірку 100 виробів протягом року і 10 з них вийшло з ладу, то T_n дорівнюватиме 10 років. Тобто передбачається, що через 10 років все вироби вийдуть з ладу.

Кількісною характеристикою для математичного визначення надійності є інтенсивність відмов пристрою в одиницю часу, яка зазвичай вимірюється числом відмов в годину і позначається значком X .

Інтенсивність відмов i -го елемента (λ_i) – величина, обернена середньому часу напрацювання на відмову i -го елемента T_{ni} :

$$\lambda_i = \frac{1}{T_{ni}} \quad (2.1)$$

В загальному випадку середній час напрацювання на відмову усієї мережі T_n визначається як:

$$T_n = \frac{1}{L}, \quad (2.2)$$

де L – інтенсивність відмов усієї мережі.

Середній час напрацювання на відмову і середній час відновлення працездатності пов'язані між собою через коефіцієнт готовності K_g , який виражається в імовірності того, що обчислювальна мережа буде перебувати в працездатному стані:

$$K_{g_i} = \frac{T_{ni}}{T_{ni} + T_{vi}} \quad (2.3)$$

або

$$K_{g_i} = \frac{\mu_i}{\mu_i + \lambda_i} \quad (2.4)$$

Таким чином, коефіцієнт готовності K_g всій мережі буде визначатися як добуток приватних коефіцієнтів готовності K_{g_i} . Слід зазначити, що мережа вважається надійною при $K_g > 0,97$.

2 Приклад розрахунку надійності локальної обчислювальної мережі

Локальна обчислювальна мережа зазвичай включає до свого складу комплект робочих станцій користувача, робочу станцію адміністратора мережі (може використовуватися одна з призначених для користувача станцій), серверне ядро (комплект апаратних серверних платформ з серверними програмами: файл-сервер, WWW-сервер, сервер БД, поштовий сервер і т.п.), комунікаційне обладнання (маршрутизатори, комутатори, концентратори) і структуровану кабельну систему (кабельне обладнання).

Розрахунок надійності ЛВС починають з формування поняття відмови даної мережі. Для цього аналізуються управлінські функції, виконання яких на підприємстві здійснюється з використанням даної ЛВС. Вибираються такі функції, порушення яких є неприпустимим, і визначається обладнання ЛВС, задіяне при їх виконанні. Наприклад: безумовно протягом робочого дня повинна забезпечуватися можливість виклику / запису інформації з бази даних, а також звернення до Internet.

Для сукупності таких функцій щодо структурної електричної схемою визначається обладнання ЛВС, відмова якого безпосередньо порушує хоча б одну з цих ролей, і складається логічна схема розрахунку надійності.

При цьому враховуються кількості і умови роботи ремонтно-відновлювальних бригад. Зазвичай приймаються наступні умови:

- відновлення обмежене - тобто в будь-який момент часу не може відновлюватися більш, ніж один відмовив елемент, тому що є одна ремонтна бригада;

- середній час відновлення елемента, що відмовив встановлюється або виходячи з допустимих перерв у роботі ЛВС, або з технічних можливостей доставки і включення в роботу цього елемента.

У рамках викладеного вище підходу до розрахунку схема розрахунку надійності, як правило, може бути зведена до послідовно-паралельною схемою.

Встановимо в якості критерію відмови ЛВС відмова обладнання, що входить в ядро мережі: серверів, комутаторів або кабельного обладнання. Вважаємо, що відмова робочих станцій користувачів не призводить до відмови ЛВС, а оскільки одночасну відмову всіх робочих станцій - подія малоімовірне, мережа при окремих відмовах робочих станцій продовжує функціонувати.

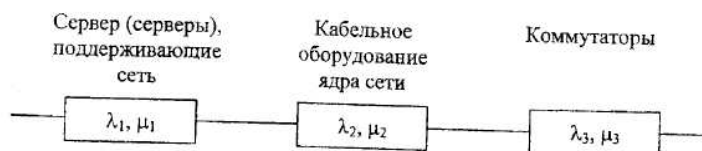


Рис.2.1 Схема елементів ЛВС для розрахунку сумарної надійності.

Приймемо, що розглянута локальна мережа включає два сервера (один забезпечує вихід в Internet), два коммутатора і п'ять кабельних фрагментів, що відносяться до ядра мережі. Інтенсивність відмов і відновлень для них наведені нижче.

Таблиця 2.1

№ п/п	Оборудование	Интенсивность	
		отказов, λ, 1/ч	восстановления, μ, 1/ч
1	Сервер	2*10 ⁻⁵	0,5
2	Коммутатор	10 ⁻⁵	0,33
3	Один кабельный фрагмент (с учетом разъемов)	10 ⁻⁶	0,25

Таким чином,

- 1) інтенсивність відмови всієї мережі L становить $6,5 * 10^5$ 1 / ч,
- 2) середній час напрацювання на відмову всієї мережі Tн складає приблизно 15,4 тис.ч,
- 3) середній час відновлення Tв становить 30 год .

Розрахункові значення відповідних готовності представлені в таблиці нижче.

Таблиця 2.2

Значение коэффициентов готовности для элементов ЛВС		
№ п/п	Оборудование	Коэффициент готовности
1	Сервер	0,99996
2	Коммутатор	0,999970
3	Один кабельный фрагмент (с учетом разъемов)	0,999996

Коефіцієнт готовності всієї мережі становить

$$K_{Г} = (K_{Г1} * K_{Г1}) * (K_{Г2} * K_{Г2}) * (K_{Г3} * K_{Г3} * K_{Г3} * K_{Г3} * K_{Г3})$$

$$K_{Г} = 0,99984.$$

3 Розрахунок ефективності роботи ЛВС

Для визначення параметрів функціонування мережі проводиться вибір і обґрунтування контрольних точок. Для даних обраних точок проводиться збір інформації і розрахунок параметрів:

- час обробки запитів - розрахунок інтервалу часу між формуванням запиту й одержанням на нього відповіді, що виконується для обраних базових сервісів.
- час реакції в навантаженої і ненагруженної мережі - розрахунок показника продуктивності ненагруженої і ненагруженної мережі.
- час затримки передачі кадру - розрахунок часу затримки кадрів канального рівня обраних основних сегментів мережі.
- визначення реальної пропускної здатності - визначення реальної пропускної здатності для маршрутів обраних основних вузлів мережі.
- аналітичний розрахунок показників надійності - аналітична оцінка можливої інтенсивності відмов і середнього часу напрацювання на відмову.
- коефіцієнт готовності - аналітичний розрахунок ступеня готовності (середнього часу відновлення) ЛВС.

Припустимо, що мережа між двома користувачами організована за схемою, представленої на рис. 2.2.

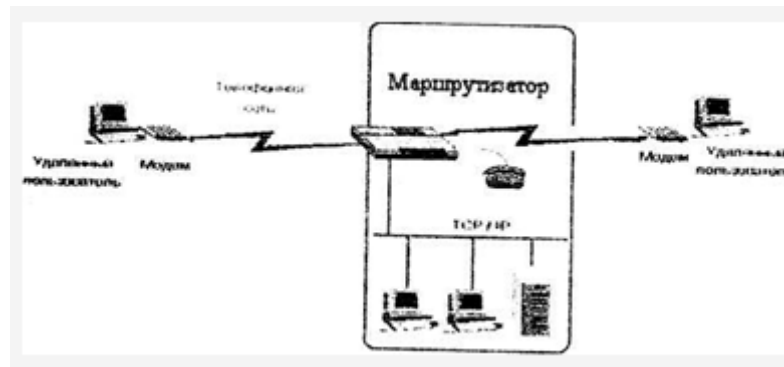


Рис. 2.2

Питання для самоперевірки:

1. Що таке працездатність?
2. Що таке відмова?
3. Що таке есправність?
4. Що таке напрацювання?
5. Що таке напрацювання на відмову, або середній час безвідмовної роботи?
6. Що таке імовірність безвідмовної роботи?
7. Що таке інтенсивність відмов?

8. Охарактеризуйте поняття безвідмовності.
9. Що таке довговічність?
10. Що таке ресурс?
11. Охарактеризуйте поняття «Термін служби» .

Практична робота №3

Тема: «Обчислення основних показників надійності»

Мета: Розрахувати основні показники надійності об'єктів комп'ютерної мережі

Хід роботи

Теоретичний матеріал

1. Надійність. Основні положення та визначення

При аналізі та оцінці надійності, в тому числі і в електроенергетиці, конкретні технічні пристрої іменуються узагальненим поняттям "об'єкт". Об'єкт - це предмет певного цільового призначення, що розглядається в періоди проектування, виробництва, експлуатації, вивчення, дослідження і випробувань на надійність. Об'єктами можуть бути системи і їх елементи, зокрема технічні вироби, пристрої, апарати, прилади, їх складові частини, окремі деталі і т.д.

Відповідно до ГОСТ 27.002-89 "Надійність в техніці. Основні поняття. Терміни та визначення" надійність трактується як властивість об'єкта зберігати в часі в установлених межах значення всіх параметрів, що характеризують здатність виконувати необхідні функції в заданих режимах і умовах застосування, технічного обслуговування, ремонту, зберігання та транспортування. Як видно з визначення, надійність є комплексним властивістю, яке в залежності від призначення об'єкта та умов його перебування може включати безвідмовність, довговічність, ремонтпридатність і збереженість або певне поєднання цих властивостей.

Безвідмовність - властивість об'єкта безупинно зберігати працездатний стан протягом деякого часу або напрацювання.

Довговічність - властивість об'єкта зберігати працездатний стан при встановленій системі технічного обслуговування і ремонту.

Ремонтпридатність - властивість об'єкта, що полягає в пристосованості до підтримання та відновлення працездатного стану шляхом технічного обслуговування і ремонту.

Збереженість - властивість об'єкта зберігати в заданих межах значення параметрів, що характеризують здатність об'єкта виконувати необхідні функції, протягом і після зберігання та (або) транспортування.

Зазначені найважливіші властивості надійності характеризують певні технічні стану об'єкта. Розрізняють п'ять основних видів технічного стану об'єктів.

Справний стан. Стан об'єкта, при якому він відповідає всім вимогам нормативно-технічної і (або) конструкторської (проектної) документації.

Несправний стан. Стан об'єкта, при якому він не відповідає хоча б одній з вимог нормативно-технічної і (або) конструкторської (проектної) документації.

Працездатний стан. Стан об'єкта, при якому значення всіх параметрів, що характеризують здатність виконувати задані функції, відповідають вимогам нормативно-технічної і (або) конструкторської (проектної) документації.

Непрацездатний стан. Стан об'єкта, при якому значення хоча б одного параметра, що характеризує здатність виконувати задані функції, не відповідає вимогам нормативно-технічної і (або) конструкторської (проектної) документації.

Граничний стан. Стан об'єкта, при якому його подальша експлуатація неприпустима чи недоцільна, або відновлення його працездатного стану неможливе чи недоцільне.

Перехід об'єкта (вироби) з одного вищого технічного стану в нижчестоящих зазвичай відбувається внаслідок подій: пошкоджень або відмов. Сукупність фактичних станів об'єкта, наприклад, електроустановки, і виникають подій, що сприяють переходу в новий стан, охоплює так званий життєвий цикл об'єкта, який протікає в часі і має певні закономірності, що вивчаються в теорії надійності.

Згідно ГОСТ 27.002-89 відмова - це подія, що полягає в порушенні працездатного стану об'єкта.

Пошкодження - подія, що полягає в порушенні справного стану об'єкта при збереженні працездатного стану.

Перехід об'єкта з справного стану в несправне не пов'язаний з відмовою.

У ГОСТ 15467-79 введено ще одне поняття, яке відображає стан об'єкта - дефект. **Дефектом** називається кожне окреме невідповідність об'єкта встановленим нормам або вимогам. Дефект відображає стан відмінний від відмови. Відповідно до визначення відмови, як події, що полягає в порушенні працездатності, передбачається, що до появи відмови об'єкт

був працездатний. Відмова може бути наслідком розвитку неліквідованих ушкоджень або наявності дефектів: подряпин; потертості ізоляції; невеликих деформацій.

У теорії надійності, як правило, передбачається раптову відмову, який характеризується стрибкоподібним зміною значень одного або декількох параметрів об'єкта. На практиці доводиться аналізувати і інші відмови, наприклад, ресурсний відмову, в результаті якого об'єкт набуває граничний стан, або експлуатаційний відмову, що виникає з причини, пов'язаної з порушенням встановлених правил або умов експлуатації.

При розрахунках і аналізі надійності широко використовуються терміни "елемент" і "система". Під **елементом** розуміється частина складного об'єкта, яка має самостійну характеристику надійності, використовувану при розрахунках і виконує певну приватну функцію в інтересах складного об'єкта, який по відношенню до елемента являє собою **систему**.

Наприклад, ізолятор в гірлянді ізоляторів виконує роль елемента, а гірлянда ізоляторів - це система. На трансформаторній підстанції вимикачі, отделители, роз'єднувачі, силові трансформатори і т.п. є елементами, а сама підстанція є системою. З наведених прикладів видно, що в залежності від рівня розв'язуваної задачі і ступеня об'єднання аналізованих апаратів і пристроїв певний об'єкт може в одному випадку бути системою, а в іншому - елементом. Так при аналізі надійності трансформатора його можна "розкласти" на безліч елементів: обмотки високої і низької напруги, високовольтні і низьковольтні вводи, муздраттеатр, бак трансформатора і т.д. З іншого боку, для трансформаторної підстанції трансформатор зручніше представити як елемент, у якого є свої характеристики надійності, нормативно-технічна документація, вимоги до експлуатації.

2. Показники надійності

Відповідно до ГОСТ 27.002-89 для кількісної оцінки надійності застосовуються кількісні показники оцінки окремих її властивостей: безвідмовності, довговічності, ремонтпридатності і зберігання, а також комплексні показники, що характеризують готовність і ефективність використання технічних об'єктів (зокрема, електроустановок).

Ці показники дозволяють проводити розрахунково-аналітичну оцінку кількісних характеристик окремих властивостей при виборі різних схемних і конструктивних варіантів обладнання (об'єктів) при їх розробці, випробуваннях і в умовах експлуатації. Комплексні показники надійності використовуються головним чином на етапах випробувань і

експлуатації при оцінці і аналізі відповідності експлуатаційно-технічних характеристик технічних об'єктів (пристроїв) заданим вимогам.

На стадіях експериментальної відпрацювання, випробувань і експлуатації, як правило, роль показників надійності виконують статистичні оцінки відповідних імовірнісних характеристик. З метою однакової всі показники надійності, відповідно до ГОСТ 27.002-89, визначаються як імовірнісні характеристики. В даному посібнику відмова об'єкта розглядається як випадкова подія, тобто задана структура об'єкта і умови його експлуатації не визначають точно момент і місце виникнення відмови. Прийняття цієї, більш поширеною, концепції зумовлює широке використання теорії ймовірностей

2.1. Основні показники безвідмовності об'єктів

2.1.1. Імовірність безвідмовної роботи

Імовірність безвідмовної роботи - це ймовірність того, що в межах завдань напрацювання відмова об'єкта не виникає. На практиці цей показник визначається статистичною оцінкою

$$\hat{P}(t) = \frac{N_0 - n(t)}{N_0}, \quad (2.1)$$

де N_0 - число однотипних об'єктів (елементів), поставлених на випробування (які перебувають під контролем); під час випробувань відмовив об'єкт не відновлюється і не замінюється справним; $n(t)$ - число відмовили об'єктів за час t .

З визначення ймовірності безвідмовної роботи видно, що ця характеристика є функцією часу, причому вона є спадною функцією і може приймати значення від 1 до 0.

Графік ймовірності безвідмовної роботи об'єкта зображений на рис. 3.1.

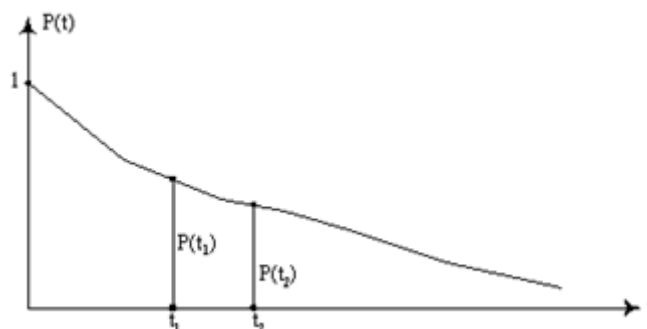


Рис. 3.1 – Графік функції $P(t)$

Як видно з графіка, функція $P(t)$ характеризує зміну надійності в часі і є досить наочною оцінкою. Наприклад, на випробування поставлено 1000 зразків однотипних елементів, тобто $N_0 = 1000$ ізоляторів.

При випробуванні відмовили елементи не замінювалися справними. За час t відмовило 10 ізоляторів. Отже $P(t) = 0,99$ і наша впевненість полягає в тому, що будь-який ізолятор з даної вибірки не відмовить за час t з імовірністю $P(t) = 0,99$.

Іноді практично доцільно користуватися не ймовірністю безвідмовної роботи, а ймовірністю відмови $Q(t)$. Оскільки працездатність і відмова є станами несумісними і протилежними, то їх вірогідність зв'язана залежністю:

$$P(t) + Q(t) = 1, \quad (2.2)$$

отже:

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

Якщо задати час T , що визначає напрацювання об'єкта до відмови, то $P(t) = P(T \geq t)$, тобто ймовірність безвідмовної роботи - це ймовірність того, що час T від моменту включення об'єкта до його відмови буде більше або дорівнює часу t , протягом якого визначається ймовірність безвідмовної роботи. З вищесказаного випливає, що $Q(t) = P(T \leq t)$.

Статистична оцінка ймовірності відмови:

$$\hat{Q}(t) = 1 - \frac{N_0 - n(t)}{N_0}. \quad (2.3)$$

Відомо, що похідна від ймовірності відмови за часом є щільність ймовірності або диференційний закон розподілу часу роботи об'єкта до відмови:

$$\frac{dQ(t)}{dt} = \frac{dF(t)}{dt} = Q'(t) = f(t) \quad (2.4)$$

Отриманий математичний зв'язок дозволяє записати:

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

Таким чином, знаючи щільність ймовірності $f(t)$, легко знайти шукану величину $P(t)$.

На практиці досить часто доводиться визначати умовну ймовірність безвідмовної роботи об'єкта в заданому інтервалі часу $P(t_1, t_2)$ за умови, що в момент часу t_1 об'єкт працездатний і відомі $P(t_1)$ і $P(t_2)$. На підставі формули ймовірності спільного появи двох залежних подій, яка визначається добутком імовірності однієї з них на умовну ймовірність іншої, обчислену за умови, що перша подія вже сталася, запишемо:

$$P(t_2) = P(t_1) \cdot P(t_1, t_2), \quad (2.4.1)$$

звідки:

$$P(t_1, t_2) = \frac{P(t_2)}{P(t_1)}. \quad (2.5)$$

За відомими статичними даними можна записати:

$$\hat{P}(t_1, t_2) = \frac{N(t_2)}{N(t_1)}$$

де $N(t_1)$, $N(t_2)$ - число об'єктів, працездатних відповідно до моментів часу t_1 і t_2 :

$$N(t_1) = N_0 - n(t_1); \quad N(t_2) = N_0 - n(t_2)$$

Відзначимо, що не завжди в якості напрацювання виступає час (в годинах, роках). Наприклад, для оцінки ймовірності безвідмовної роботи комутаційних апаратів з великою кількістю перемикачів (вакуумний вимикач) в якості змінної величини напрацювання доцільно брати кількість циклів "включити" - "вимкнути". При оцінці надійності ковзають контактів зручніше як напрацювання брати кількість проходів струмоприймача з цього контакту, а при оцінці надійності рухомих об'єктів напрацювання доцільно брати в кілометрах пробігу. Суть математичних виразів оцінки $P(t)$, $Q(t)$, $f(t)$ при цьому залишається незмінною.

Підсумки практичної роботи №3:

Дані отримані в результаті розрахунків вивести разом з вихідними даними в таблиці такого вигляду:

Таблиця 2.1 – Зразок для запису результату практичної;

1 експеримент		I варіант
	$N_0=(\text{об'єктів})$	299
	$n(t)=(\text{об'єктів})$	60
	$P(t_1)=(\text{розрахувати})$	
	$t_1=(\text{годин})$	300
	$Q(t_1)=(\text{розрахувати})$	
	$N(t_1)=(\text{розрахувати})$	
2 експеримент	$N_0=(\text{об'єктів})$	198
	$n(t)=(\text{об'єктів})$	11
	$P(t_2)=(\text{розрахувати})$	
	$t_2=(\text{годин})$	1000
	$Q(t_2)=(\text{розрахувати})$	
	$N(t_2)=(\text{розрахувати})$	
	$P(t_1,t_2)=(\text{розрахувати})$	

- Записати до звіту характеристику основних понять і визначення надійності (безвідмовність, довговічність, ремонтпридатність, збереженість, справний стан, несправний стан, працездатний стан, зумовити, граничний стан, пошкодження;
- Записати до звіту основні показники безвідмовності об'єктів і ймовірності безвідмовної роботи з висновком всіх формул.

- Накреслити два графіка ймовірності безвідмовної роботи об'єкта за даними двох експериментів ($P(t_1)$ і $P(t_2)$) на одній осі координат;
- Розрахувати статистичну оцінку ймовірності відмови $Q(t_1)$ і $Q(t_2)$;
- Розрахувати число об'єктів працездатних відповідно до моментів часу t_1 і t_2 - $N(t_1)$ і $N(t_2)$;
- Розрахувати (єдину для двох експериментів) умовну ймовірність безвідмовної роботи об'єкта в заданому інтервалі часу $P(t_1, t_2)$ використовуючи $N(t_1)$ і $N(t_2)$;

Контрольна робота за темою 1.5

Дайте відповіді на наступні питання:

1. Відтворіть типову будова систем, що мають роздільне резервування з постійно включеним резервом і цілою кратністю.
2. Як знайти розподіл часу безвідмовної роботи при ненавантаженому резерві й експоненційному законі у випадку резервування заміщенням ?
3. Як знайти розподіл часу безвідмовної роботи при полегшеному резерві й експоненційному розподілі у випадку резервування заміщенням ?
4. В чому особливість окремого резервування заміщенням ?
5. Які відмови на практиці виникають у перемикачів?
6. Як знайти ймовірність безвідмовної роботи резервної групи з урахуванням ненадійності перемикача?
7. Відтворіть типову будова систем, що мають загальне резервування з постійно включеним резервом і цілою кратністю.
8. Як позначають основні та резервні елементи?
9. Що таке кратність? Поясніть її значення.
10. Як знайти ймовірність безвідмовної роботи резервованого ТЗ для системи, що мають загальне резервування з постійно включеним резервом і цілою кратністю?
11. Як знайти середнє напрацювання до відмови для системи, що мають загальне резервування з постійно включеним резервом і цілою кратністю?
12. Відтворіть типову будова систем, що мають роздільне резервування з постійно включеним резервом і цілою кратністю.
13. Як позначають основні та резервні елементи?
14. Що таке кратність? Поясніть її значення.
15. Як знайти ймовірність безвідмовної роботи резервованого ТЗ для системи, що мають роздільне резервування з постійно включеним резервом і цілою кратністю?
16. Як знайти середнє напрацювання до відмови для системи, що мають роздільне резервування з постійно включеним резервом і цілою кратністю?
17. Що таке резервування?
18. Назвіть основні ознаки класифікації методів резервування.
19. Як методи резервування класифікують за видом з'єднання елементів?
20. Як методи резервування класифікують за способом перемикання основних та резервних елементів?

21. Як методи резервування класифікують за використанням параметрів системи?
22. Як методи резервування класифікують за навантаженністю резервних елементів?
23. Як методи резервування класифікують за навантаженністю резервних елементів до їх включення?

Тема 1.6 Забезпечення надійності програмних засобів

Тема 1.6.1 Методи підвищення надійності. Забезпечення надійності засобів автоматички й телемеханіки

План:

- 1 Методи підвищення надійності;
- 2 Забезпечення надійності засобів автоматички та телемеханіки.

Методи підвищення надійності

Методи підвищення надійності можна розділити на структурні та інформаційні. Структурні методи підвищення надійності. Абсолютною надійності технічних пристроїв домогтися принципово неможливо, а максимально підвищити показники їх надійності реально, і це є найважливішим науковим і технічним завданням. Підвищення рівня надійності Радіо-Електронної Апаратури(РЕА) досягається, перш за все, усуненням причин, що викликають у ній відмови, тобто зведенням до мінімуму конструкторських, технологічних та експлуатаційних помилок.

Значного підвищення надійності РЕА досягають створенням нових елементів. Так, застосування інтегральних схем для побудови РЕА призвело до значного підвищення надійності апаратури третього і четвертого поколінь. Однак підвищенням надійності елементів не вдається повністю вирішити проблему побудови надійних РЕА, що викликано значним випередженням зростання складності розроблених нових РЕА, великими витратами при отриманні елементів високої надійності, а також існуванням елементів, надійність яких досить низька і важко піддається підвищенню. Тому один із шляхів підвищення надійності РЕА - введення схемної надлишковості. Інформаційні методи підвищення надійності РЕА. Основне застосування інформаційні методи знаходять в обчислювальній техніці.

Забезпечення надійності засобів автоматички та телемеханіки

Реалізуються вони у вигляді коригувальних кодів. Призначення цих кодів складається в тому, щоб виявляти і виправляти помилки в РЕА без переривання їхньої роботи. Коригувальні коди передбачають введення в вироби деякої надлишковості. Розрізняють тимчасову і просторову надлишковість. Тимчасова надлишковість характеризується неодноразовим рішенням завдання. Отримані результати порівнюються, і якщо вони збігаються, то робиться висновок, що задача вирішена правильно. Тимчасова надмірність вводиться в РЕА програмним шляхом.

Просторова надлишковість характеризується подовженням кодів чисел, в які вводять додатково контрольні розряди. Суть виявлення та виправлення помилок за допомогою коригувальних кодів складається в наступному. У множині A вихідних слів пристрою виділяють підмножину B дозволених кодових слів (тобто $B \subset A$). Ці слова можуть з'явитися лише в тому випадку, якщо всі арифметичні і логічні операції, що виконуються РЕА, здійснюються правильно. Тоді очевидно, що підмножина $A - B = C$ буде характеризувати заборонені кодові слова. Останні мають місце тільки при наявності помилок.

Далі всі слова на виході пристрою аналізують. Наприклад, якщо слово b_i відноситься до підмножини дозволених кодових слів (тобто $b \subset B$), то це означає, що процес йде нормально; слово b_i вважають правильним і його можна декодувати.

Якщо на виході пристрою з'являється заборонене кодове слово c_i ($c_i \subset C$), то це свідчить про наявність помилки, і вона фіксується.

Для усунення виявлених таким чином помилок усі заборонені кодові слова розбиваються на групи. Кожній такій групі ставиться у відповідність тільки одне дозволене кодове слово. При декодуванні заборонені кодові слова c_i автоматично замінюються дозволеними кодовими словами з тієї групи, до якої належить c_i . Таким чином, коригувальні коди в стані не тільки виявляти помилки, але й усувати їх.

Контрольні питання:

1. На які типи можна розділити методи підвищення надійності?
2. Яким чином можна досягти підвищення надійності РЕА?
3. Що таке надлишковість?
4. Що таке коригувальні коди?
5. Як можна реалізувати просторову надлишковість? В чому вона полягає?
6. Як при використанні кодових слів відстежують помилки? Як за допомогою них усувати помилки?

Тема 1.6.2 Основні поняття, визначення й класифікація методів резервованих ТС

План:

- 1 Резервування як метод підвищення надійності. Типи резервування ;
- 2 Структурне резервування;
- 3 Пасивне та активнее резервування.

Резервування як метод підвищення надійності. Типи резервування

Резервуванням називають метод підвищення надійності ТС (технічних систем) за рахунок введення надлишку. Під надлишком при цьому розуміють додаткові засоби і можливості окрім мінімально необхідних для виконання ТС заданих функцій. Таким чином, задачею введення надлишку є забезпечення нормального функціонування ТС після виникнення відмов у її елементах.

Розрізняють три основних види резервування:

- структурне;
- інформаційне;
- тимчасове.

Структурне резервування (або апаратне) передбачає використання надлишкових елементів ТС. Суть такого виду резервування полягає в тому, що в мінімально необхідний варіант ТС, елементи якої називають основними, вводяться додаткові елементи, вузли, пристрої або навіть замість однієї ТС передбачається використання декількох ідентичних ТС. При цьому надлишкові резервні структурні елементи, вузли, пристрої тощо, призначені для виконання робочих функцій при відмові відповідних основних елементів, вузлів і пристроїв.

Інформаційне резервування передбачає використання надлишкової інформації. Найпростішим прикладом реалізації такого виду резервування є багаторазова передача одного й того ж повідомлення по каналу зв'язку. Як інший приклад можна навести використання спеціальних кодів, що виявляли до виправлення помилки, (коди з повторенням і інверсією, циклічний код, код Хеммінга і т. ін.), які з'являються в результаті збоїв і відмов апаратури. Тут варто відмітити, що використання інформаційного резервування спричиняє також необхідність введення надлишкових елементів.

Тимчасове резервування передбачає використання надлишкового часу. У випадку застосування цього виду резервування передбачається можливість поновлення функціонування ТС після того, як воно було перервано в результаті відмови, шляхом його відновлення. При цьому також передбачається, що на виконання ТС необхідної роботи приділяється час, свідомо більший мінімально необхідного.

Перераховані види резервування можуть бути застосовані або до ТС у цілому, або до окремих їхніх елементів чи до груп таких елементів. У першому випадку резервування називається загальним, у другому - роздільним.

Структурне резервування

Найбільш широкого поширення в даний час одержало структурне резервування. ТС із використанням цього виду резервування можуть класифікуватися за різними ознаках, основними з яких є:

- реакція ТС на появу відмови;
- режим роботи резервних елементів;
- вигляд схеми резервування;
- спосіб включення резервних елементів;
- ступінь надмірності тощо.

У першу чергу різні резервовані ТС відрізняються один від одного реакцією на появу відмов, тобто своїми «динамічними» властивостями. З цього погляду розрізняють два методи резервування: активне і пасивне.

У першому випадку структура ТС така, що з появою відмови вона перебудовується і відбувається відновлення роботоздатності, тобто відбувається ніби «саморемонт» ТС. При цьому ТС активно реагує на появу відмови. Звідси і назва методу резервування.

Пасивне та активне резервування

При пасивному резервуванні ТС відмова одного або навіть декількох елементів не впливає на його роботу. Елементи з'єднані постійно і перебудова структури не відбувається. ТС ніби пасивно чинить опір появі відмов елементів.

Як при активному, так і при пасивному методах резервування велике значення мають режими роботи резерву. Однак, якщо в першому випадку для розрахунку важливо

знати навантаження на резервні елементи до появи відмови, то в другому випадку – після появи відмови.

За цією класифікаційною ознакою для активного резервування розрізняють навантажений, полегшений і ненавантажений резерви.

Навантажений резерв – резервний елемент знаходиться в тому ж режимі, що й основний. При цьому приймається, що характеристики надійності резервних елементів у період їхнього перебування як резервних і в період їхнього використання замість основних після відмови останніх залишаються незмінними.

Полегшений резерв – резервний елемент знаходиться в менш навантаженому режимі, ніж основний. При цьому приймається, що характеристики надійності резервних елементів у період їхнього перебування як резервних вища, ніж у період їхнього використання замість основних після їх відмови.

Ненавантажений резерв – резервний елемент практично не несе навантаження до початку виконання ним функцій основного елемента. При цьому приймається, що такий резервний елемент, знаходячись у резерві, відмовляти не повинен, тобто має в цей період «ідеальну» надійність. У період же використання резервного елемента замість основного після відмови останнього надійність резервного елемента стає рівною надійності основного.

При відмові хоча б одного із елементів ТС з пасивним резервуванням може змінюватися навантаження, що сприймається елементами, які залишилися роботоздатними. Саме тому, у ТС із пасивним резервуванням велике значення мають умови роботи елементів після появи відмови, тобто стабільність навантаження на елементи, що залишилися роботоздатними. За цією ознакою розрізняють три види ТС із пасивним резервуванням:

- з незмінним навантаженням (при відмові одного або декількох елементів не змінюється навантаження на елементи, що залишилися роботоздатними);
- з перерозподілом навантаження (при відмові хоча б одного елемента змінюється, як правило в бік збільшення, навантаження на елементи, які залишилися роботоздатними);
- з навантажуваним резервуванням (резервуванням за навантаженням), у яких при відмові хоча б одного елемента технічний засіб виходить з ладу, але інтенсивність відмов елементів зменшена за рахунок того, що навантаження, яке повинен сприймати один елемент, сприймається декількома елементами.

При пасивному резервуванні найбільший вигреш у надійності досягається в ТС із незмінним навантаженням, найменший – з резервуванням за навантаженням. Тут варто підкреслити, що в ТС з активним резервуванням відбувається порушення роботи об'єкта на час з моменту відмови основного елемента до моменту включення резервного. Таким чином, якщо така перерва в роботі ТС принципово неприпустима, то метод пасивного резервування є єдино можливим. І це один із найбільш суттєвих моментів, на який розроблювач ТС повинен звернути свою увагу при виборі між активним і пасивним методами резервування.

Обидва розглянутих вище методи реалізуються за різними схемами резервування. Принципового розходження між видами схем резерву немає.

Однак при цьому все-таки розрізняють резервування загальне, автономне, окреме, одиничне, внутрішньоелементне, ковзаюче та з вибірковими схемами.

Загальне резервування полягає в резервуванні ТС в цілому і, завдяки своїй простоті, цей спосіб є найбільш відомим (рис. 5.1, а).

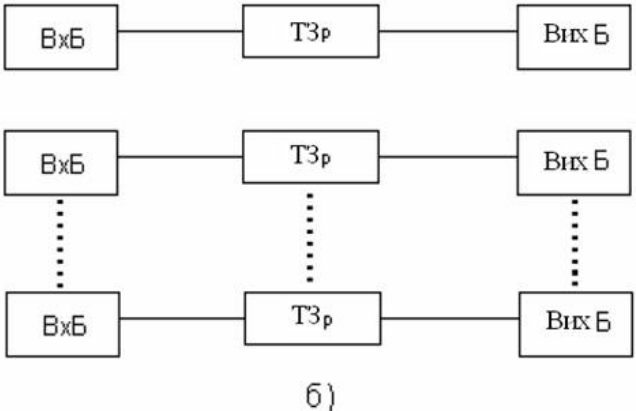
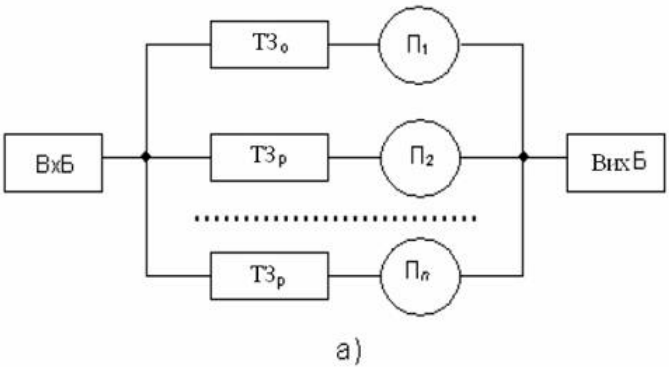


Рисунок 1.3 – Структури загального резервування: а) – схема загального активного резервування; б) – схема автономного резервування; ВхБ – вхідний блок; ТЗ_о – основні ТС; ТЗ_р – резервні ТС; П_n – перемикачі; ВихБ – вихідний блок

Автономне резервування – один з варіантів загального. Воно полягає в застосуванні декількох незалежних об'єктів, що виконують одну й ту ж саму задачу. Кожний з цих об'єктів має свій вхід і вихід і, звичайно, незалежні джерела живлення. Прикладом об'єктів з автономним резервуванням може служити сукупність засобів вимірювання, що виконують ті самі вимірювання, при цьому кожен засіб має свої вхідні датчики, перетворювачі та джерела живлення. Автономне резервування, як правило, застосовується при проведенні відповідальних експериментів у системах відповідального призначення. При цьому автономне резервування завжди є пасивним.

Окреме резервування полягає в резервуванні ТС за окремими елементами або їхніми групами (ділянками). ТС з активним загальним резервуванням можна вважати частковим випадком ТС із окремими резервуванням при одній ділянці резервування.

Одиничне резервування полягає в заміні елементів ТС елементарними резервованими схемами (звичайно пасивними). У складних ТС дуже важко знайти раціональну схему окремого резервування. Крім того, схеми резервування різних ТС щоразу доводиться проектувати знову, що вимагає іноді досить значних матеріальних затрат і часу. Тому одиничне резервування, при якому найпростіші схеми резерву типових елементів можуть виконуватися у вигляді готових блоків (комірок), часто виявляється зручним через простоту побудови складних резервованих ТС. При одиничному резервуванні не потрібно складати спеціальних схем, а можна просто ставити на місце кожного елемента у функціональній схемі ТС його аналог – типову резервовану комірку.

Внутрішньоелементне резервування полягає в резервуванні внутрішніх зв'язків елемента. Якщо при одиничному резервуванні використовуються схеми з існуючих елементів (комірок), то застосування внутрішньоелементного резервування пов'язано із зміною конструкції елемента. Прикладом використання внутрішньоелементного резервування може служити так званий релер - резервоване реле.

Змінне резервування застосовується в ТС із великою кількістю однакових елементів. Воно полягає в тому, що використовується невелике число резервних елементів, що можуть підключатися замість будь-якого з несправних елементів основного ТС.

При резервуванні з вибірковою схемою порівнюються сигнали на виході непарного числа паралельно працюючих засобів і в зовнішнє коло видається сигнал, наявний на виході більшості засобів. Вибіркові схеми застосовуються в тих випадках, коли важко установити, відмовили чи ні окремі засоби.

За способом включення резервних елементів усі розглянуті вище схеми резервування поділяються на схеми з постійно включеним резервом (постійне резервування) і схеми резервування заміщенням.

Постійне резервування – це таке резервування, при якому резервні елементи беруть участь у функціонуванні ТС нарівні з основними. При цьому основні і резервні елементи можуть мати загальний вхід і загальний вихід, зокрема, гальванічний зв'язок за входом і виходом, а можуть бути і автономними, тобто не мати такого зв'язку. При постійному резервуванні у випадку відмови основного елемента не потрібно спеціальних перемикальних

пристроїв, що вводять у дію резервний елемент, оскільки він вводиться в дію одночасно з основним.

Резервування заміщенням – це таке резервування, при якому функції основного елемента передаються резервному тільки після відмови основного. При використанні цього виду резервування необхідні контролювальні і перемикальні пристрої для виявлення факту відмови основного елемента та переключення з основного на резервний.

Ще однією класифікаційною ознакою резервованих ТС є ступінь надмірності, що характеризується кратністю резервування.

Кратність резервування – це відношення кількості резервних елементів до кількості резервованих або основних елементів ТС. Розрізняють резервування з цілою і дробовою кратністю. Резервування з цілою кратністю має місце, коли один основний елемент резервується одним і більше резервними елементами. Резервування з дробовою кратністю має місце, коли два і більше однотипних елементи резервуються одним і більше резервними елементами. Найбільш розповсюдженим варіантом резервування з дробовою кратністю є такий, коли кількість основних елементів перевищує кількість резервних. Резервування, кратність якого дорівнює одиниці, називається дублюванням.

Слід зазначити, що надійність ТС значною мірою визначається застосуванням резервування з відновленням або без нього. Резервування, при якому роботоздатність будь-якого основного і резервного елементів ТС у випадку виникнення відмов підлягає відновленню в процесі експлуатації засобу, називається резервуванням з відновленням. У іншому випадку має місце резервування без відновлення.

Контрольні питання:

1. Що таке кратність? Що таке ціла кратність? Що таке дробова кратність?
2. Яке резервування називають інформативним?
3. Що таке навантажений резерв? Що таке полегшений резерв? Чим ненавантажений резерв відрізняється від полегшеного?
4. Що таке резервування заміщенням?
5. Що таке внутрішньо елементне резервування?
6. Що таке одиничне резервування?
7. Що таке окреме резервування?
8. Що таке автоматичне резервування?

Практична робота №4

Тема: «Надійність комп'ютерних систем, розрахунки напрацювань до відмови»

Мета: Розрахувати середні напрацювання до відмови, розрахунки інтенсивності відмов

Хід роботи

Теоретичний матеріал

1. Середнє напрацювання до відмови:

Середній напрацюванням до відмови називається математичне очікування напрацювання об'єкта до першої відмови T_1 .

Розподіл усіх визначення середнього напрацювання до відмови виражається так:

$$T_1 = \int_0^{\infty} t \cdot f(t) dt. \quad (4.1)$$

Використовуючи відомий зв'язок між $f(t)$, $Q(t)$ і $P(t)$, запишемо:

$$T_1 = \int_0^{\infty} t \cdot Q'(t) dt \quad (4.2)$$

Вважаючи, що $\lim_{t \rightarrow \infty} t \cdot p(t) = 0$ і з огляду на те, що $P(0) = 1$, отримаємо:

$$T_1 = \int_0^{\infty} P(t) dt. \quad (4.3)$$

Таким чином, середнє напрацювання до відмови дорівнює площі, утвореної кривою ймовірності безвідмовної роботи $P(t)$ і осями координат. Статистична оцінка для середнього напрацювання до відмови визначається за формулою

$$\hat{T}_1 = \frac{1}{N_0} \sum_j^{N_0} t_j, \text{ ч. (4.4)}$$

де N_0 - число працездатних однотипних невідновлювальних об'єктів при $t = 0$ (на початку випробування); t_j - напрацювання до відмови j -го об'єкта.

Відзначимо, що як і у випадку з визначенням $P(t)$ середнє напрацювання до відмови може оцінюватися не тільки в годинах (роках), але і в циклах, кілометрах пробігу і іншими аргументами.

2. Інтенсивність відмов

Інтенсивність відмов - це умовна щільність ймовірності виникнення відмови об'єкта, що визначається за умови, що до розглянутого моменту часу відмова не настав. З імовірнісного визначення випливає, що:

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{1 - Q(t)} = -\frac{1}{P(t)} \cdot P'(t) \quad (4.5)$$

Статистична оцінка інтенсивності відмов має вигляд:

$$\hat{\lambda}(t) = \frac{n(\Delta t_i)}{N_{\text{ср}i} \cdot \Delta t_i} \quad (4.6)$$

де $n(\Delta t_i)$ - число відмов однотипних об'єктів на інтервалі Δt_i для якого визначається $\lambda(t)$; $N_{\text{ср}i}$ - Число працездатних об'єктів в середині інтервалу (див. Рис. 4.1).

$$N_{\text{ср}i} = \frac{N_i + N_{i+1}}{2} \quad (4.7)$$

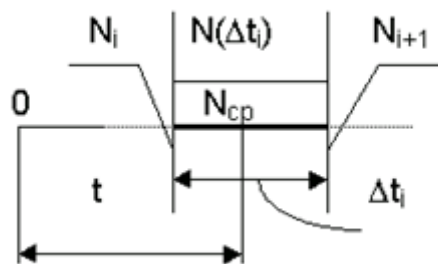


Рис. 4.1 – Схема визнаєчння $N_{\text{ср}}$

де N_i - число працездатних об'єктів на початку інтервалу Δt_i ; N_{i+1} - Число працездатних об'єктів в кінці інтервалу Δt_i .

Якщо інтервал Δt_i зменшується до нульового значення ($\Delta t_i \rightarrow 0$), то:

$$N_{\text{сп}i} = N_0 - n(t) - \frac{n(\Delta t_i)}{2}, \quad (4.8)$$

де N_0 - кількість об'єктів, поставлених на випробування; Δt_i - Інтервал, який продовжує час t ; $n(\Delta t_i)$ - Кількість відмов на інтервалі Δt_i .

Помноживши і поділивши у формулі (4.8) праву частину на N_0 і перейшовши до гранично малого значенню Δt , замість виразу (4.6), отримаємо:

$$\lambda(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\frac{n(\Delta t_i)}{N_0 \cdot \Delta t}}{\frac{N_0 - n(t) - \frac{n(\Delta t_i)}{2}}{N_0}} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\frac{\Delta Q(t)}{\Delta t}}{\frac{N_0 - n(t)}{N_0}}, \quad (4.9)$$

$$\text{де } \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta Q(t)}{\Delta t} = Q'(t), \quad \text{а } \frac{N_0 - n(t)}{N_0} = P(t).$$

Отже,

$$\lambda(t) = \frac{Q'(t)}{P(t)} = -\frac{1}{P(t)} P'(t) \quad (4.10)$$

що і записано в імовірнісному визначенні $\lambda(t)$, див. вираз (4.5).

Розв'язок виразу (4.5) дає:

$$\int_0^t \lambda(t) dt = -\ln P(t), \quad \text{або } P(t) = e^{-\int_0^t \lambda(t) dt}. \quad (4.11)$$

Вираз (2.11) показує зв'язок $\lambda(t)$ і $P(t)$. З зв'язку з цим ясно видно, що по аналітично заданій функції $\lambda(t)$ легко визначити $P(t)$ і T_1 :

$$T_1 = \int_0^{\infty} P(t) dt = \int_0^{\infty} e^{-\int_0^t \lambda(t) dt} dt \quad (4.12)$$

Якщо при статистичній оцінці час експерименту $\lambda(t)$ розбити на досить велику кількість однакових інтервалів Δt за тривалий термін, то результатом обробки дослідних даних буде графік, зображений на рис. 4.2

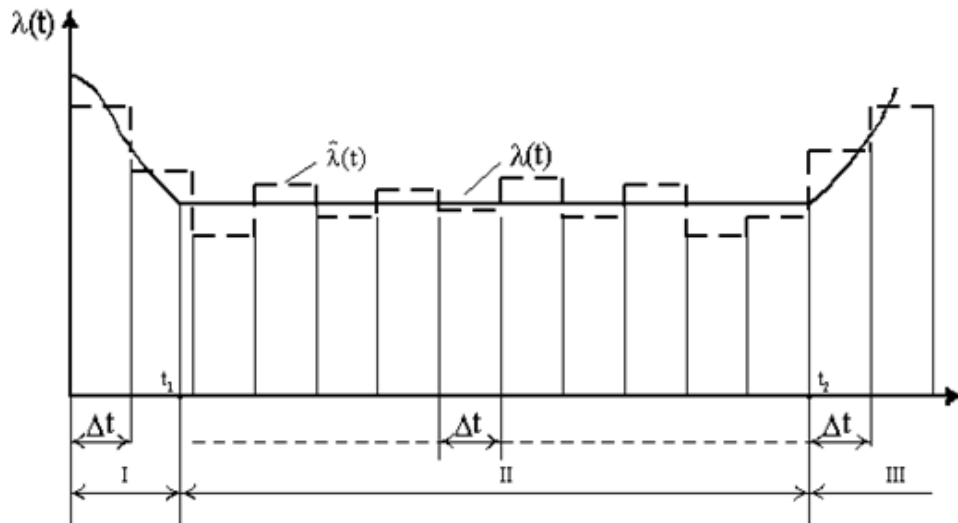


Рис 4.2 – Крива життя елементу: — - експериментальні данні; - - - лінійована усереднена крива. I – інтервал припрацювання; II – інтервал нормальної експлуатації; III – інтервал старіння (зношування).

Як показують численні дані аналізу надійності більшості об'єктів техніки, в тому числі і електроустановок, лінеаризоване узагальнена залежність $\Pi(t)$ являє собою складну криву з трьома характерними інтервалами (I, II, III). На інтервалі II ($t_2 - t_1$) $\Pi = \text{const}$. Цей інтервал може становити більше 10 років, він пов'язаний з нормальною експлуатацією об'єктів. Інтервал I ($t_1 - 0$) часто називають періодом підробітки елементів. Він може збільшуватися або зменшуватися в залежності від рівня організації відбракування елементів на заводі-виробнику, де елементи з внутрішніми дефектами своєчасно вилючаються з партії продукції, що випускається. Величина інтенсивності відмов на цьому інтервалі багато в чому залежить від якості збірки схем складних пристроїв, дотримання вимог монтажу і т.п.

Включення під навантаження зібраних схем призводить до швидкого "випалювання" дефектних елементів і після закінчення деякого часу t_1 в схемі залишаються тільки справні елементи, і їх експлуатація пов'язана з $\Pi = \text{const}$.

На інтервалі III ($t > t_2$) з причин, обумовлених природними процесами старіння, зношування, корозії і т.д., інтенсивність відмов різко зростає, збільшується число деградаційних відмов. Для того, щоб забезпечити $\Pi = \text{const}$ необхідно замінити неремонтопридатні елементи на справні нові або працездатні, які відпрацювали час t II та II t_2 .

Інтервал $\Pi = \text{const}$ Відповідне експоненційної моделі розподілу ймовірності безвідмовної роботи. Відзначимо, що при $\Pi = \text{const}$ значно спрощується розрахунок надійності і Π найбільш часто використовується як вихідний показник надійності елемента.

Результати практичних роботи №4:

Дані отримані в результаті розрахунків вивести разом з вихідними даними в таблиці такого вигляду:

Таблиця 4.1 - Зразок для запису результаті впрактичної;

		I варіант
1 екс.	$\lambda(t_1)$	
2 екс.	$\lambda(t_2)$	
	$n(\Delta t_1)$	
1 екс.	N_{i1}	
2 екс.	N_{i2}	
1 екс.	$N_{i+1(1)}$	
2 екс.	$N_{i+1(2)}$	
1 екс.	$N_{\text{ср } i 1}$	
2 екс.	$N_{\text{ср } i 2}$	
1 екс.	$\Delta t_{i 1}$	
2 екс.	$\Delta t_{i 2}$	
1 екс.	$\hat{\lambda}(t_1)$	
2 екс.	$\hat{\lambda}(t_2)$	

- Розрахувати інтенсивність відмов для двох експериментів $\lambda(t_1), \lambda(t_2)$;
- Розрахувати статичну оцінку інтенсивності відмов $\hat{\lambda}(t_1)$ та $\hat{\lambda}(t_2)$;
- Знайти загальне число працездатних об'єктів на початку інтервалу N_{i1} та N_{i2} (дані з практичної роботи №3);
- Розрахувати кількість працездатних об'єктів $N_{i+1(1)}$ та $N_{i+1(2)}$

- Розрахувати кількість працездатних об'єктів посередині інтервалу $N_{\text{ср}1}$
 $N_{\text{ср}2}$;
- Звіт практичної роботи також має містити інформацію про середнє напрацювання до відмови та інтенсивність відмов з виведенням формул, схему визначення $N_{\text{ср}}$ та графік кривої життя елемента.

Практична робота №5

Тема: «Розрахунок основних коефіцієнтів та показників надійності комп'ютерних мереж»

Мета: Розрахувати наробку на відмову, показники довговічності застосування об'єктів, комплексні показники надійності

Хід роботи

Теоретичний матеріал

1. Середнє напрацювання на відмову

Цей показник відноситься до відновлюваних об'єктів, при експлуатації яких допускаються багаторазово повторювані відмови. Експлуатація таких об'єктів може бути описана наступним чином: в початковий момент часу об'єкт починає роботу і продовжує роботу до першої відмови; після відмови відбувається відновлення працездатності, і об'єкт знову працює до відмови і т.д. На осі часу моменти відмов утворюють потік відмов, а моменти відновлень - потік відновлень.

Середнє напрацювання на відмову об'єкта (напрацювання на відмову) визначається як відношення сумарного напрацювання відновлюваного об'єкта до числа відмов, що відбулися за сумарну напрацювання:

$$\hat{T} = \frac{\sum_{i=1}^n t_i}{n(t)}, \quad (5.1)$$

де t_i - напрацювання між $i-1$ і i -м відмовами, ч; $n(t)$ - сумарна кількість відмов за час t .

2. Параметр потоку відмов

Цей показник також характеризує відновлюваний об'єкт і за статистичними даними визначається за допомогою формули:

$$\hat{\omega}(t) = \frac{n(t_2) - n(t_1)}{t_2 - t_1}, \quad (5.2)$$

де $n(t_1)$ і $n(t_2)$ - кількість відмов об'єкта, зафіксованих відповідно, після закінчення часу t_1 і t_2 .

Якщо використовуються дані про відмови по певній кількості відновлюваних об'єктів, то маємо таку формулу:

$$\hat{\omega}(t) = \frac{n(\Delta t_i)}{N_0 \cdot \Delta t_i}, \quad (5.3)$$

де $n(\Delta t_i)$ кількість відмов по всіх об'єктах за інтервал часу Δt_i ; N_0 - кількість однотипних об'єктів, що беруть участь в експерименті (об'єкт, що відмовив відновлюється, $N_0 = \text{const}$). Неважко побачити, що вираз (5.2) схожий на вираз (4.3) з тією лише різницею, що при визначенні $\hat{\omega}(t)$ передбачається моментальне відновлення об'єкта, що відмовив, або заміна його однотипним працездатним об'єктом, тобто $N_0 = \text{const}$.

Параметром потоку відмов є щільність ймовірності виникнення відмови відновлюваного об'єкта. Відмови об'єктів виникають у випадкові моменти часу і протягом заданого періоду експлуатації спостерігається потік відмов. Існує безліч математичних моделей потоків відмов. Найбільш часто при вирішенні задач надійності електроустановок використовують найпростіший потік відмов - пуассоновський потік. Найпростіший потік відмов задовольняє одночасно трьома умовам: стаціонарності, ординарності, відсутності наслідків.

Стаціонарність випадкового процесу (часу виникнення відмов) означає, що на будь-якому проміжку часу Δt_i ймовірність виникнення n відмов залежить тільки від n і величини проміжку Δt_i , але не залежить від зсуву Δt_i по осі часу. Отже, при $\Delta t_i = \Delta t_{i+1} = \dots = \Delta t_{i+m}$ ймовірність появи n відмов за всіма інтервалами складе:

$$q_n(\Delta t_i) = q_n(\Delta t_{i+1}) = \dots = q_n(\Delta t_{i+m}), \quad (5.4)$$

Ординарність випадкового процесу означає, що відмови є подіями випадковими і незалежними. Ординарність потоку означає неможливість появи в один і той же момент часу більше одного відмови, тобто $\lim_{n \rightarrow 1} q_n(\Delta t) = 0$.

Відсутність наслідків означає, що ймовірність настання n відмов протягом проміжку Δt_i не залежить від того, скільки було відмов і як вони розподілялися до цього проміжку.

Отже, факт відмови будь-якого елементу в системі не призведе до зміни характеристик (працездатності) інших елементів системи, якщо навіть система і відмовила через якогось елементу.

Досвід експлуатації складних технічних систем показує, що відмови елементів відбуваються миттєво і якщо старіння елементів відсутній ($\lambda = \text{const}$), то потік відмов в системі можна вважати найпростішим.

Випадкові події, що утворюють найпростіший потік, розподілені за законом Пуассона:

$$P_n(t) = \frac{[\lambda \cdot t]^n}{n!} e^{-\lambda t}, \text{ при } n \geq 0, \quad (5.5)$$

де $P_n(t)$ - ймовірність виникнення протягом часу t рівно n подій (відмов); λ - параметр розподілу, що співпадає з параметром потоку подій.

Якщо у виразі (5.5) прийняти $n = 0$, то отримаємо $P(t) = e^{-\lambda t}$ - ймовірність безвідмовної роботи об'єкта за час t при інтенсивності відмов $\lambda = \text{const}$. Неважко довести, що якщо відновлюваний об'єкт при відсутності відновлення має характеристику $\lambda = \text{const}$, то, надаючи об'єкту восстанавлюваність, ми зобов'язані записати $\omega(t) = \text{const}$; $\lambda = \omega$. Це властивість широко використовується в розрахунках надійності ремонтів пристроїв. Зокрема найважливіші показники надійності обладнання електроустановок дані в припущенні найпростіших потоків відмов і відновлень, коли:

$$\lambda = \omega = \frac{1}{T} \text{ та відповідно } T = \frac{1}{\lambda} = \frac{1}{\omega} \quad (5.6; 5.7)$$

3. Основні показники довговічності

Середній термін служби (математичне очікування терміну служби)

Для відновлюваного об'єкта, середній термін служби являє собою середню календарну тривалість експлуатації об'єкта від її початку або її відновлення після ремонту певного виду до переходу в граничний стан.

Середній ресурс (математичне очікування ресурсу)

Середній ресурс являє собою середнє напрацювання об'єкта від початку експлуатації або її відновлення після попереджувального ремонту до настання граничного стану. У експлуатації дуже важливо так підібрати параметри об'єкта по потужності, стратегії технічного обслуговування і ремонту, режимів роботи, щоб термін служби і термін спрацювання ресурсу збігалися. Досвід експлуатації об'єктів масового виробництва (трансформаторів, вимикачів, роз'єднувачів, автоматів і т.п.) показує, що як напрацювання на відмову, так і напрацювання між відмовами мають значний статистичний розкид.

Аналогічний розкид мають також ресурс і термін служби. Цей розкид залежить від технологічної культури і дисципліни, а також досягнутого рівня технології, як виготовлення об'єктів, так і їх експлуатації (використання за призначенням, технічного обслуговування, ремонту). Розкид напрацювання до першої відмови, ресурсу та терміну служби можна зменшити при збільшенні їх значення вищеназваними способами.

Оскільки середній і капітальний ремонти дозволяють частково або повністю відновити ресурс, то відлік напрацювання при обчисленні ресурсу відновлюють після закінчення такого ремонту, розрізняючи в зв'язку з цим доремонтний, міжремонтний, післяремонтний і повний (до списання) ресурс. Зустрічається досить часто термін "технічний ресурс" - це запас можливого напрацювання об'єкта. Повний ресурс відраховують від початку експлуатації об'єкта до його переходу в граничний стан, відповідний остаточному припиненню експлуатації.

Аналогічним чином виділяють і види терміну служби. Співвідношення значень ресурсу і терміну служби залежить від інтенсивності використання об'єкта. Повний термін служби, як правило, включає тривалість всіх видів ремонту, тобто враховується календарний термін.

Для невідновлюваного об'єкта ресурс являє собою середню тривалість роботи до відмови або до настання граничного стану. Практично ця величина збігається з середньою напрацюванням до відмови T_1 .

Використовується також такий показник довговічності, як гамма-процентний ресурс, який представляє напрацювання, протягом якої об'єкт не досягає граничного стану із заданою ймовірністю (чисельно рівній заданій величині γ в процентах).

Основні показники ремонтпридатності

При кількісному описі цього властивості, які властиві лише відновлюваному об'єкту, час відновлення є випадковою величиною, що залежить від цілого ряду чинників: характеру виниклого відмови; пристосованості об'єкта (пристрою, установки та ін.) до швидкого виявлення відмови; кваліфікації обслуговуючого персоналу; наявності технічних засобів; швидкості заміни елемента, що відмовив в об'єкті та ін. Час відновлення - це час, витрачений на виявлення, пошук причини відмови і усунення наслідків відмови. Досвід показує, що в складних електроустановках (системах) 70-90% часу відновлення доводиться на пошук елемента, що відмовив.

Середній час відновлення

Середній час відновлення - це математичне очікування часу відновлення працездатного стану об'єкта після відмови. З визначення випливає, що:

$$\hat{T}_B = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \tau_i, \quad (5.8)$$

де n - число відновлень, яке дорівнює кількості відмов; τ_i - Час, витрачений на відновлення (виявлення, пошук причини і усунення відмови), в годинах.

Показник T_B можна визначити і на підставі статистичних даних, отриманих для M однотипних відновлюваних об'єктів. Структура розрахункової формули залишається тією ж:

$$\hat{T}_B = \frac{\sum_{j=1}^M \tau_j}{\sum_{j=1}^M n_j}, \quad (5.9)$$

де M - кількість однотипних об'єктів, для кожного з яких визначено загальний час відновлення τ_j за заданий час спостережень.

$$\tau_j = \sum_{i=1}^{n_j} \tau_{ij} \quad (5.10)$$

Де τ_{ij} - час відновлення j -го об'єкта після i -го відмови; n_j - кількість відновлень j -го об'єкта за час спостережень, причому $1 \leq j \leq M$.

Інтенсивність відновлення

Інтенсивність відновлення - це відношення умовної щільності ймовірності відновлення працездатного стану об'єкта, визначеної для даного моменту часу за умови, що до цього моменту відновлення не було завершено, до тривалості цього інтервалу.

Статистична оцінка цього показника знаходиться як:

$$\hat{\mu}(t) = \frac{n_B(\Delta t)}{N_{н.ср} \cdot \Delta t}, \quad (5.11)$$

де $n_B(\Delta t)$ - кількість відновлень однотипних об'єктів за інтервал Δt ; $N_{н.ср}$ - Середня кількість об'єктів, що знаходяться в невідновленному стані на інтервалі Δt .

В окремому випадку, коли інтенсивність відновлення постійна, тобто $\Delta(t) = \mu = \text{const}$, ймовірність відновлення за заданий час t підпорядковується експоненціальним законом і визначається за виразом:

$$G_B(t) = 1 - e^{-\mu \cdot t} \quad (5.12)$$

Цей окремий випадок має найбільше практичне значення, оскільки реальний закон розподілу часу відновлення більшості електроенергетичних об'єктів (потік відновлень) близький до експоненціального. Використовуючи властивості цього розподілу, запишемо дуже важливу залежність:

$$T_B = \frac{1}{\mu}, \quad \mu = \frac{1}{T_B} \quad (5.13; 5.14)$$

Надалі цей взаємозв'язок між T_B і μ буде часто використовуватися при аналізі відновлюваних систем.

При більш детальних розрахунках показників надійності ремонтваних (відновлюваних) об'єктів визначається такий показник ремонтпридатності, як процентний час відновлення γ . Це час, протягом якого відновлення працездатності об'єкта буде здійснено з ймовірністю γ , вираженої в відсотках.

Комплексні показники надійності

Коефіцієнт готовності

Процес функціонування відновлюваного об'єкта можна уявити як послідовність чергуються інтервалів працездатності та відновлення (простою). Коефіцієнт готовності - це ймовірність того, що об'єкт виявиться в працездатному стані в довільний момент часу, крім запланованих періодів, протягом яких застосування об'єкта за призначенням не передбачається. Математичне визначення цього показника дано при аналізі надійності відновлюваних систем.

Цей показник одночасно оцінює властивості працездатності і ремонтпридатності об'єкта.

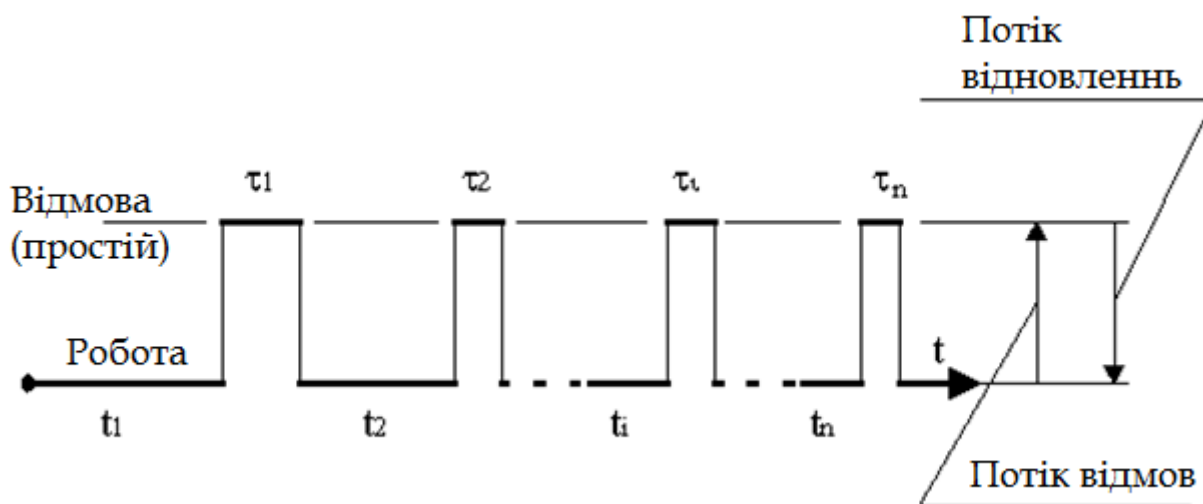


Рис. 5.1 – Графік функціонування відновлюваного об'єкта: $t_1 \dots t_n$ – інтервали працездатності; $\tau_1 \dots \tau_n$ – інтервали відновлення;

Для одного об'єкта, що ремонтується коефіцієнт готовності:

$$K_{\Gamma} = \frac{\sum_{i=1}^n t_i}{\sum_{i=1}^n t_i + \sum_{i=1}^n \tau_i}, (5.16); \quad K_{\Gamma} = \frac{\hat{T}}{\hat{T} + \hat{T}_B}, (5.17); \quad K_{\Gamma_{max}} = 1, (5.18)$$

З виразу видно, що коефіцієнт готовності об'єкта може бути підвищений за рахунок збільшення напрацювання на відмову і зменшення середнього часу відновлення. Для визначення коефіцієнта готовності необхідний досить тривалий календарний термін функціонування об'єкта.

Залежність коефіцієнта готовності від часу відновлення ускладнює оцінку надійності об'єкта, так як по КГ можна судити про час безперервної роботи до відмови. Наприклад, для одного і того ж чисельного значення K_G можна мати малі інтервали τ_i і t_i (див. Рис. 2.4) і значно більші. Таким чином можна довести, що на конкретному інтервалі працездатності ймовірність безвідмовної роботи буде більше там, де більше t_i , хоча за цим інтервалом може послідувати тривалий інтервал простою τ_i . Коефіцієнт готовності є зручною характеристикою для об'єктів, які призначені для тривалого функціонування, а вирішують поставлене завдання протягом короткого проміжку часу (знаходяться в режимі очікування), наприклад, релейний захист, контактна мережа (особливо при відносно малих розмірах руху), складна контрольна апаратура і т.д.

Коефіцієнт оперативної готовності

Коефіцієнт оперативної готовності K_{OG} визначається як ймовірність того, що об'єкт виявиться в працездатному стані в довільний момент часу (крім планованих періодів, протягом яких застосування об'єкта за призначенням не передбачається) і, починаючи з цього моменту, буде працювати безвідмовно протягом заданого інтервалу часу.

З імовірнісного визначення випливає, що:

$$K_{OG} = K_G \cdot P(t_p) \quad (5.19)$$

де K_G - коефіцієнт готовності; $P(t_p)$ - ймовірність безвідмовної роботи об'єкта протягом часу (t_p), необхідного для безвідмовного використання за призначенням.

Для часто використовуваного в розрахунковій практиці найпростішого потоку відмов, коли $\lambda = \omega$, $P(p)$ відповідно визначається за виразом:

$$P(t_p) = e^{-\lambda \cdot t_p} = e^{-\frac{1}{T} \cdot t_p} \quad (5.20)$$

Коефіцієнт технічного використання K_{TI} дорівнює відношенню математичного очікування сумарного часу перебування об'єкта в працездатному стані за деякий період експлуатації до математичного сподівання сумарного часу перебування об'єкта в працездатному стані і простоїв, обумовлених технічним обслуговуванням і ремонтом за той же період експлуатації:

$$K_{\text{ТИ}} = \frac{\sum_{i=1}^n t_i}{\sum_{i=1}^n t_i + \sum_{i=1}^m \tau_i + \sum_{j=1}^k \tau_j} \quad (5.21)$$

де t_i - час збереження працездатності в i -му циклі функціонування об'єкта; τ_i - Час відновлення (ремонт) після i -го відмови об'єкта; τ_j - Тривалість виконання j -й профілактики, що вимагає виведення об'єкта з працюючого стану (використання за призначенням); n - число робочих циклів за аналізований період експлуатації; m - число відмов (відновлень) за аналізований період; k - число профілактик, що вимагають відключення об'єкта в розглянутий період.

Як видно з виразу (5.21), коефіцієнт технічного використання характеризує частку часу перебування об'єкта в працездатному стані щодо загальної (календарної) тривалості експлуатації. Отже, $K_{\text{ТИ}}$ відрізняється від $K_{\text{Г}}$ тим, що при його визначенні враховується весь час вимушених простоїв, тоді як при визначенні $K_{\text{Г}}$ часу простою, пов'язане з проведенням профілактичних робіт, не враховується.

Сумарний час вимушеного простою об'єкта зазвичай включає час:

- На пошук і усунення відмови;
- На регулювання і настройку об'єкта після усунення відмови;
- Для простою через відсутність запасних елементів;
- Для профілактичних робіт.

В електроенергетичних об'єктах, наприклад, в трансформаторах, лініях електропередачі, шинах розподільних пристроїв і т.п., передбачені планові відключення для проведення планових ремонтів і технічного обслуговування. Ці інтервали часу так само як і інтервали, пов'язані з відключенням через відмову, враховуються при визначенні аналізованих коефіцієнтів надійності.

В умовах експлуатації на рівень надійності об'єктів великий вплив мають технічне обслуговування і ремонт.

ГОСТ 27.002-89 містить найбільш вживаних показників надійності і інші показники: середню трудомісткість відновлення, середній термін зберігання, гамма-процентний ресурс, гамма-процентний час відновлення, гамма-процентний термін зберігання та ін. При необхідності визначення зазначених показників використовуються спеціальні методики, де

процедура розрахунку ґрунтується на тих же законах математичної статистики і теорії ймовірностей, за якими визначаються і більш широко використовуються показники надійності.

Підсумки практичної роботи №5:

Дані отримані в результаті розрахунків та саамы розрахунки вивести разом з вихідними даними в таблиці такого вигляду:

		I варіант
1 екс.	t_1	
1 екс.	t_2	
1 екс.	$\sum_{i=1}^n t$ (розрахувати)	
1 екс.	$n(t1)$	
1 екс.	$T(1)$ (розрахувати)	
1 екс.	τ_{i1}	
1 екс.	$T_{в1}$(розрахувати)	
1 екс.	$\mu1$(розрахувати)	
1 екс.	K_{r1}	
1 екс.	$K_{ор1}$(розрахувати)	
2 екс.	t_1	
2 екс.	t_2	
2 екс.	$\sum_{i=1}^n t$ (розрахувати)	
2 екс.	$n(t2)$	
2 екс.	$T(2)$ (розрахувати)	
2 екс.	τ_{i2}	
2 екс.	$T_{в2}$(розрахувати)	
2 екс.	$M2$(розрахувати)	
2 екс.	K_{r2}	
2 екс.	$K_{ор2}$(розрахувати)	
1,2 екс.	$\omega(t)$ (розрахувати)	

Звіт по практичній роботі так само повинен містити:

- інформацію по середньому наробітку на відмову з виводом формул;
- інформацію про потоках відмов з формулами і визначеннями стаціонарності випадкового процесу, ординарности, відсутності наслідків;

- інформацію про основні показники довговічності (середнього терміну служби, середній ресурсі служби, основні показники ремонтпридатності, середньому часу відновлення, інтенсивності відновлення);
- інформацію про комплексних показниках надійності, коефіцієнті готовності з малюнком графіка функціонування відновлюваного об'єкта, коефіцієнті оперативної готовності, коефіцієнта техніч. використання.

Контрольна робота за темою 1.6

Дайте відповіді на наступні питання:

1. Що таке кратність? Що таке ціла кратність? Що таке дробова кратність?
2. Яке резервування називають інформативним?
3. Що таке навантажений резерв? Що таке полегшений резерв? Чим ненавантажений резерв відрізняється від полегшеного?
4. Що таке резервування заміщенням?
5. Що таке внутрішньо елементне резервування?
6. Що таке одиничне резервування?
7. Що таке окреме резервування?
8. Що таке автоматичне резервування?
9. На які типи можна розділити методи підвищення надійності?
10. Яким чином можна досягти підвищення надійності РЕА?
11. Що таке надлишковість?
12. Що таке коригувальні коди?
13. Як можна реалізувати просторову надлишковість? В чому вона полягає?
14. Як при використанні кодових слів відстежують помилки? Як за допомогою них усувати помилки?

Семінарське заняття за темами 1.5 та 1.6

Студенти можуть взяти одну з наступних тем для самостійної підготовки та презентації:

- Резервування із дробовою кратністю
- Розрахунок надійності ТС із інформаційною надмірністю
- Розрахунок надійності ТС із тимчасовим резервуванням
- Розрахунок надійності ТС при структурному резервуванні
- Принципи забезпечення програмної надійності АСУ
- Забезпечення надійності програмних засобів
- Діагностика й програмна надійність АСУ, побудованих на ПК
- Класичні симетричні криптосистеми
- Сучасні криптосистеми
- Ассиметричні криптосистеми

Презентація обранної теми повинна бути короткою та вичерпною.

Змістовий модуль 2 Діагностика та експлуатація комп'ютерних мереж

Тема 2.1 Класифікація відмов та несправностей комп'ютерних мереж

Тема 2.1.1 Моделювання надійності комп'ютерної мережі

Комп'ютерну мережу (КМ) можна представити моделлю у вигляді лінійного графа, в якому вузли або вершини відповідають робочим станціям мережі, а ребра - лініями зв'язку між ними. Для аналізу структурної надійності мереж використовують матрично-топологічні методи. В їхній основі лежить подання мережі за допомогою графа мережі. Комп'ютерну мережу можна представити як сукупність множини $X=\{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ вузлів і множини $U=\{u_{ij}\}$ з'єднуючих вузлів x_i і ребер x_j . Перетином мережі називають мінімальну сукупність ребер, видалення яких розділить мережу на дві підмережі. Кількість ребер перетину називається рангом перетину. Перетини називаються незалежними, якщо вони не містять ті самі ребра.

Нехай P_{11} – деякий шлях виду x_1, x_2, \dots, x_n у графі G , x_i і x_j – вхідні в нього вузли, $i < j$. Через відсутність прийнятної моделі механізму втрат в мережі і властивій складності розрахунку мережної надійності використовуються часові моделі з дискретною ймовірністю.

В найбільш популярній моделі мережні компоненти можуть приймати лише два стани: працює або не працює. Стан мережного компонента - випадкова величина, що не залежить від стану інших компонентів. Суть задачі обчислення надійності КМ у тому, що для кожного компонента мережі задана ймовірність того, що він перебуває в робочому стані, і потрібно обчислити міру надійності мережі. В цьому випадку як показник надійності мережі в цілому можна використовувати ймовірність настання складної події, що полягає у встановленні зв'язків між всіма вузлами із заданої множини, і розраховувати його як відношення суми зважених коефіцієнтів важливості ймовірностей з'єднань пари вузлів.

$$H_0 = \frac{\sum_{i=1}^n K_i \cdot H_i}{\sum_{i=1}^n K_i}, \quad (1.2.1)$$

де H_0 – показник надійності всієї мережі, K_i – коефіцієнт важливості i -го з'єднання вузлів ($0 \leq K_i \leq 1$), H_i – показник надійності i -го з'єднання вузлів.

При проектуванні реальних мереж досить рідко здійснюють розрахунок надійності мережі. Проектувальникам необхідно лише переконатися в тім, що надійність мережі, з одного боку, не нижче заданої та, з іншого боку, не має економічно необґрунтованого запасу. Інакше кажучи, на практиці досить гарантувати, що дійсне значення надійності H_0 перебуває в деяких межах $H_{\min} < H_0 < H_{\max}$. Оцінка надійності мережі із заданою кінцевою точністю дозволить скоротити трудомісткість розрахунків залежно від необхідності точної оцінки.

Існує методика розрахунку оцінок надійності, нижня оцінка H_μ розраховується за сукупністю всіх шляхів між вузлами, верхня ж H_σ – за сукупністю перетинів. При розрахунку надійності за сукупністю шляхів додавання кожного наступного шляху приводить до збільшення надійності, а при розрахунку за сукупністю перетинів додавання кожного наступного перетину приводить до зменшення структурної надійності, що створює передумови для двосторонньої оцінки структурної надійності з гарантованою точністю за обмеженим набором шляхів і перетинів. Ця властивість дозволяє регулювати трудомісткість оцінок надійності залежно від заданої точності.

Для вирішення задачі досить послідовно переглядати шляхи μ , поки не виконається умова $H_\mu(m) \geq H_{\min}$ і потім переглядати перетини σ , поки не виконається умова $H_\sigma(r) \leq H_{\max}$. Тут m, r – число шляхів і перетинів відповідно. Якщо для деякого t виявиться, що $H_\mu(m) > H_{\max}$, то можна припинити розрахунки і прийняти рішення, що в мережі закладена зайва надмірність, а якщо для деякого r виявиться, що $H_\sigma(r) < H_{\min}$, то це значить, що вимоги до надійності мережі не виконуються. Кількість потребуемого перегляду шляхів t і перетинів r звичайно набагато менше загального числа шляхів n і загального числа перетинів k графа, чим і досягається скорочення трудомісткості оцінки. Одночасно гарантується, що значення показника надійності мережі лежить в заданих межах $H_\mu(m) < H_0 < H_\sigma(r)$.

Для виконання розрахунків необхідно враховувати можливі шляхи і перетини між заданими вузлами x_a і x_b . Шукана надійність з'єднання H_{ab} залежить від надійності кожного шляху і варіантів їхніх перетинів за загальними ребрами. Якщо враховувати тільки незалежні шляхи, то трудомісткість обчислень значно скорочується. Аналогічна ситуація з незалежними перетинами. Нехай надійність j -го ребра i -го шляху - $H_j^{(i)}$. Тоді надійність i -го шляху $H^{(i)}$ буде дорівнювати:

$$H^{(i)} = \prod_{j=1}^{m_i} H_j^{(i)}, \quad (1.2.2)$$

де m_i - ранг шляху. Якщо всі шляхи незалежні, то ймовірність зв'язності вузлів x_a і x_b за множиною незалежних шляхів можна визначити як

$$H_{\mu}^{(ab)} = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - H^{(i)}) \quad (1.2.3)$$

де n – кількість незалежних шляхів між x_a і x_b .

Оскільки для підвищення точності оцінки необхідно максимізувати $H_{\mu}^{(ab)}$, то необхідно максимізувати число незалежних шляхів при одночасній мінімізації їхніх рангів.

Для збільшення точності верхньої оцінки ймовірності зв'язності вузлів за множиною незалежних перетинів потрібно максимізувати число незалежних перетинів при мінімізації їхніх рангів.

Таким чином можна зробити оцінку надійності і визначити верхні і нижні межі надійності КМ, що дозволить покращити якість проектування.

Контрольні питання:

1. Як можна схематично видворити будову комп'ютерної мережі?
2. Що таке мережний компонент? Що таке шлях та перетин?
3. Як знайти ймовірність настання складної події?
4. Як вирахувати нижню та верхню оцінку надійності?
5. Чому під час проектування мережі не виконуються точні підрахунки, щодо надійності системи?
6. Як визначити надійність i -го шляху $H^{(i)}$?
7. Як визначити ймовірність зв'язності вузлів x_a і x_b за множиною незалежних шляхів?

Тема 2.1.2 Методика оцінки надійності й захищеності розподілених комп'ютерних мереж

План:

- 1 Загальна інформація про розподілені мережі.
- 2 Особливості надійності розподілених комп'ютерних мереж.

Розподілена система — це набір незалежних комп'ютерів, що представляється їх користувачам єдиною об'єднаною системою.

У цьому визначенні виділяють два моменти. Перший відноситься до апаратури: **всі машини автономні**. Другий стосується програмного забезпечення: **користувачі думають, що мають справу з єдиною системою**.

Перша з характеристик полягає в тому, що від користувачів **приховані відмінності** між комп'ютерами і способи зв'язку між ними. Те ж саме стосується і зовнішньої організації розподілених систем.

Іншою важливою характеристикою розподілених систем є **спосіб**, за допомогою якого користувачі і додатки одним чином працюють в розподілених системах, незалежно від того, де і коли відбувається їх взаємодія.

Розподілені системи повинні також відносно легко піддаватися **розширенню**, або масштабуванню. Ця характеристика є прямим наслідком наявності незалежних комп'ютерів, але в той же час не указує, яким чином ці комп'ютери насправді об'єднуються в єдину систему. Розподілені системи зазвичай існують постійно, проте деякі їх частини можуть тимчасово виходити з ладу. Користувачі і додатки не повинні повідомлятися про те, що ці частини замінені або полагоджені або що додані нові частини для підтримки додаткових користувачів або додатків.

Однієї з першопочаткових цілей створення розподілених систем, до яких відносяться й КМ, було досягнення більшої надійності в порівнянні з автономними ПК.

Важливо розрізнити кілька аспектів надійності. Для технічних пристроїв використовуються такі показники надійності, як середній час наробітку на відмовлення, імовірність відмовлення, інтенсивність відмовлень. Однак ці показники придатні для оцінки надійності простих елементів і пристроїв, що можуть знаходитися тільки в двох станах — працездатному чи непрацездатному. Складні системи, що складаються з багатьох елементів, крім станів працездатності і непрацездатності, можуть мати й інші проміжні стани, які ці

характеристики не враховують. У зв'язку з цим для оцінки надійності складних систем застосовується інший набір характеристик, зокрема: готовність, цілісність даних, узгодженість, імовірність доставки пакета, безпека, відмовостійкість.

Готовність, **коефіцієнт готовності** (availability) означає частку часу, протягом якого система може бути використана. Готовність може бути поліпшена шляхом введення надмірності в структуру системи: ключові елементи системи повинні існувати в декількох екземплярах, щоб при відмові одного з них функціонування системи забезпечували інші.

Щоб систему можна було віднести до високонадійних, вона повинна як мінімум мати високу готовність, але цього недостатньо. Необхідно забезпечити цілісність даних і захист їх від спотворень. Крім цього, повинна підтримуватися узгодженість (несуперечність) даних, наприклад, якщо для підвищення надійності на декількох файлових серверах зберігається кілька копій даних, то потрібно постійно забезпечувати їхню ідентичність.

Оскільки мережа працює на основі механізму передачі пакетів між кінцевими вузлами, то однією з характеристик надійності є **імовірність доставки пакета вузлу** призначення без спотворень. Поряд з цією характеристикою можуть використовуватися й інші показники: імовірність втрати пакету (по кожній із причин – через переповнення буфера маршрутизатора, через розбіжність контрольної суми, через відсутність працездатного шляху до вузла призначення і т.д.), імовірність спотворення окремого біта переданих даних, співвідношення загублених пакетів до доставленого.

Іншим аспектом загальної надійності є **безпека** (security), тобто здатність системи захистити дані від несанкціонованого доступу. У розподіленій системі це зробити набагато складніше, ніж у централізованій. У мережах повідомлення передаються лініями зв'язку, які часто проходять через загальнодоступні приміщення, в яких можуть бути встановлені засоби прослуховування ліній. Іншим вразливим місцем можуть бути залишені без догляду персональні комп'ютери. Крім того, завжди є потенційна погроза взлому захисту мережі від неавторизованих користувачів, якщо мережа має виходи в глобальні мережі загального користування.

Ще однією характеристикою надійності є **відмовостійкість** (fault tolerance). У мережах під відмовостійкістю розуміється здатність системи приховати від користувача відмову окремих її елементів. Наприклад, якщо копії таблиці бази даних зберігаються одночасно на декількох файлових серверах, то користувачі можуть просто не помітити відмову одного з них. У відмовостійкій системі відмови одного з її елементів приводять до

деякого зниження якості її роботи (деградації), а не до повної зупинки. Так, при відмові одного з файлових серверів у попередньому прикладі збільшується тільки час доступу до бази даних через зменшення ступеня розпаралелення запитів, але в цілому система буде продовжувати виконувати свої функції.

Контрольні питання:

1. Що являє собою розподілена система?
2. Назвіть основні характеристики, які виділяють розподілену систему?
3. Які умови повинні бути виконані для забезпечення надійності розподіленої КС?
4. Які характеристики надійності можуть бути використані для описання розподілених КС?
5. Що таке безпека розподіленої КС?
6. Що таке коефіцієнт готовності розподіленої КС?
7. Що таке відмова стійкість розподіленої КС?

Тема 2.1.3 Марковські моделі надійності відновлюваних систем

План:

- 1 Моделі маркова;
- 2 Ергодичний марківський ланцюг.

Моделі маркова

Моделі Маркова це стохастичні моделі, які використовуються для моделювання систем, що випадково змінюються, де передбачається, що майбутні стани залежать тільки від поточного стану, а не від послідовності подій, які передували цьому (тобто, вона передбачає властивість Маркова). Як правило, це припущення дозволяє міркування і обчислення з моделлю, яка б в іншому випадку лишилась нерозв'язною.

Процес виникнення відмов, а також інші характеристики надійності носять випадковий характер. Для дослідження випадкових явищ використовуються імовірнісні методи. Таким чином, відмітною ознакою надійності як властивості технічної системи є те, що вона характеризується імовірнісними процесами, що протікають у часі.

Марківські випадкові процеси названі іменем російського математика А.А. Маркова, який вперше почав вивчення ймовірнісної зв'язку випадкових величин і створив теорію, яку можна назвати – динаміка ймовірностей. Надалі основи цієї теорії з'явилися вихідною базою загальної теорії випадкових процесів, а також таких важливих прикладних наук, як теорія дифузійних процесів, теорія надійності, теорія масового обслуговування і т.д. В даний час теорія марківських процесів і її додатки широко застосовуються в самих різних областях таких наук, як механіка, фізика, хімія та ін.

Марківські випадкові процеси відносяться до окремих випадків випадкових них процесів. У свою чергу, випадкові процеси засновані на понятті випадкової функції.

Якщо випадкова послідовність володіє марковским властивістю, то вона називається **ланцюгом Маркова**. Якщо у випадковому процесі стану дискретні, час безперервно і властивість післядії зберігається, то такий випадковий процес називається марковским процесом з безперервним часом.

Безліч станів системи марковської ланцюга, певним чином класифікується з урахуванням подальшої поведінки системи. Актуальність такого моделювання зберігається для систем, в яких протікають так звані процеси без післядії. Процеси без післядії знаходять місце при функціонуванні багатьох технічних систем. До таких, в першу чергу, відноситься

широкий клас найрізноманітніших об'єктів, що мають загальна назва систем масового обслуговування (СМО).

У багатоелементних системах з великим числом станів аналітичне моделювання на основі теорії марківських процесів стає дуже громіздким. У цьому випадку використовується так званий метод динаміки середніх, який в основі має також процес Маркова. Цей метод істотно спрощує аналітичне моделювання для випадків визначення середніх характеристик станів системи, що моделюється. В цій темі дано обґрунтування методу і наводяться приклади його застосування. На практиці часто виникає завдання моделювання процесів випадкової зміни станів в досліджуваному об'єкті. Вид чергового стану може визначатися випадковим чином, зміна станів може відбуватися в випадкові або не випадкові моменти часу.

Практично будь-який випадковий процес є марківським або може бути зведений до Марківського. В останньому випадку досить в поняття стану включити всю передісторію змін станів системи.

Марковские процеси діляться на два класи:

- дискретні марковські процеси (марковські ланцюга);
- безперервні марковські процеси.

Марковський ланцюг може бути представлений графом, вершини якого відповідають станам ланцюга, а дуги ненульовим можливостям переходів. Для опису поведінки системи у вигляді марківської моделі слід визначити поняття стану системи, виявити їхні капітали, в яких може перебувати система. Вказати, в якому стані знаходиться система в початковий момент; побудувати граф (приклад графа на рис.) станів і можливі переходи зі стану в стан - стрілками, що з'єднують стану (на малюнку вершини графа позначають стан S_i , А дуги – перехідні ймовірності); розмітити граф, тобто для кожного переходу вказати інтенсивність $\lambda(t)$ потоку подій, що переводять систему зі стану S_i в стан S_j .

Для стаціонарних Марковських процесів інтенсивності переходів не залежать від часу. Поняття стану залежить від цілей моделювання. В одному випадку, наприклад, воно може бути визначено по станам елементів, кожен з яких може бути «вільний» чи «зайнятий»; в іншому випадку стан системи визначається числом заявок, що знаходяться на обслуговуванні і в чергах.

У класі марківських процесів виділяють процеси з дискретними станами, звані марківськими ланцюгами. Коли безліч станів процесу $S = \{S_1, \dots, S_k\}$ звичайно, марківський ланцюг називають кінцевою.

Кінцевий марковський ланцюг може бути визначений в безперервному або дискретному часі. У першому випадку переходи процесу з одного стану в інше зв'язуються з довільними моментами часу t_0, t_1, t_2 і ланцюг називають безперервним; у другому - тільки в фіксовані моменти часу, що позначаються порядковими номерами $t = 0, 1, 2, \dots$ і ланцюг називається дискретним.

Дискретний марківський ланцюг визначається:

- безліччю станів $S = \{S_1, \dots, S_k\}$;
- матрицею ймовірностей переходів P , елементи якої характеризують ймовірності переходу процесу зі стану S_i в стан S_j ;
- вектором початкових ймовірностей $V_0 = \{P_1(0), \dots, P_k(0)\}$, що визначає ймовірність $P_i(0)$ того, що в початковий момент часу $t = 0$ процес знаходиться в стані S_i .

Марківський ланцюг породжує безліч реалізацій випадкового процесу $f(t)$, який представляється послідовністю станів $f(t) = S_i(0), S_i(1), S_i(2), \dots$ відповідних моментам часу $t = 1, 2, \dots$. Залежно від можливості переходу з одних станів в інші, марківські ланцюги діляться на які поглинають і ергодичного ланцюга.

Ергодичний марківський ланцюг

Ергодичний Марківський ланцюг являє собою безліч станів, пов'язаних матрицею перехідних ймовірностей таким чином, що з якого б стану процес не виходив, після деякого числа кроків він може виявитися в будь-якому стані. З цієї причини стани ергодичного ланцюга називаються ергодичними (поворотними). Процес, породжуваний ергодичним ланцюгом, розпочавшись в деякому стані, ніколи не завершується, а послідовно переходить з одного стану в інший, потрапляючи в різні стани з різною частотою, що залежить від перехідних ймовірностей. Тому основна характеристика ергодичного ланцюга - ймовірності перебування процесу в станах $S_j, j = 1, \dots, k$, або відносні частоти потрапляння процесу в стану S_j і частка часу, яку процес проводить в кожному з станів. В якості додаткових характеристик ергодичної ланцюгів використовуються математичне очікування, і дисперсія часу (числа кроків) першого попадання в стан S_j зі стану S_i , і гранична кореляція числа переходів до стану S_i і S_j . Ці характеристики визначаються методами алгебраїчної теорії марковських ланцюгів.

Контрольні питання:

1. Що таке моделі Маркова?
2. У чому особливість марківських процесів?
3. Що таке ланцюг Маркова?
4. Як можна представити Марківський ланцюг?
5. Чим визначається дискретний Марківський ланцюг?
6. Що таке ергодичий Марківський ланцюг?
7. Назвіть основні характеристики ергодичного ланцюга.

Тема 2.1.4 Аналіз комплексних показників надійності локальних мереж

План:

- 1 Загальна характеристика комплексних ПН. Комплексні ПН простих мереж.
- 2 Комплексні показники складних мереж, на основі локальної мережі.

Загальна характеристика комплексних ПН. Комплексні ПН простих мереж

Однією з первинних цілей створення розподілених систем, до яких відносяться і комп'ютерні мережі, було досягнення більшої надійності у порівнянні з окремими обчислювальними машинами. Важливо розрізняти кілька аспектів надійності.

Для простих технічних пристроїв використовуються наступні показники надійності:

- Середній час напрацювання на відмову.
- Вірогідність відмови.
- Інтенсивність відмов.

Проте, ці показники є придатними лише для оцінки надійності простих елементів і пристроїв, які можуть знаходитися лише в двох станах, — працездатному або непрацездатному. Складні системи, що складаються з багатьох елементів, окрім станів працездатності і непрацездатності, можуть мати інші проміжні стани, які ці характеристики не враховують.

Для оцінки надійності складних систем застосовується інший набір характеристик:

- Готовність або коефіцієнт готовності.
- Збереження даних.
- Узгодженість (несуперечність) даних.
- Вірогідність доставки даних.
- Безпека.
- Відмовостійкість.

Комплексні показники складних мереж, на основі локальної мережі.

Локальна комп'ютерна мережа — комп'ютерна мережа для обмеженого кола користувачів, що об'єднує комп'ютери в одному приміщенні або в рамках одного підприємства.

Готовність означає період часу, протягом якого система є готовою до використання. Готовність може бути підвищена шляхом введення надлишковості до структури системи: ключові елементи системи повинні існувати в кількох екземплярах, щоб при відмові одного з них функціонування системи забезпечували інші елементи.

Високонадійна комп'ютерна система повинна як мінімум мати високу готовність, але цього недостатньо. Необхідно забезпечити збереження даних і захист їх від спотворень. Крім того, повинна підтримуватися узгодженість даних, наприклад якщо для підвищення надійності на кількох файлових серверах зберігається кілька копій даних, то потрібно постійно забезпечувати їх ідентичність.

Оскільки мережа працює на основі механізму передачі пакетів між кінцевими вузлами, однією з характеристик надійності є вірогідність доставки пакету до вузла призначення без спотворень. Разом з цією характеристикою можуть використовуватися і інші показники: вірогідність втрати пакету (із-за переповнення буфера маршрутизатора, не збігання контрольної суми, відсутності працездатного шляху до вузла призначення тощо), вірогідність спотворення окремого біта переданих даних, співвідношення кількості втрачених і доставлених пакетів.

Іншим аспектом загальної надійності є **безпека**, тобто здатність системи захистити дані від несанкціонованого доступу. В розподіленій системі це зробити набагато складніше, ніж в централізованій. В мережах повідомлення передаються по лініях зв'язку, що часто проходять через загальнодоступні приміщення, в яких можуть бути встановлені засоби прослуховування ліній. Іншим вразливим місцем можуть стати залишені без нагляду персональні комп'ютери. Крім того, завжди є потенційна загроза злому захисту мережі від неавторизованих користувачів, якщо мережа має виходи в глобальні загальнодоступні мережі.

Ще однією характеристикою надійності є **відмовостійкість**. В мережах під відмовостійкістю розуміють здатність системи приховати від користувача відмову окремих її елементів. Наприклад, якщо копії таблиці бази даних зберігаються одночасно на кількох файлових серверах, користувачі можуть просто не помітити відмови однієї з них. У відмовостійкій системі вихід з ладу одного з її елементів призводить до певного зниження якості її роботи (деградації), а не до повного останову. Так, при відмові одного з файлових серверів збільшується лише час доступу до бази даних із-за зменшення ступеня розпаралелювання запитів, але в цілому система буде продовжувати виконувати свої функції.

Контрольні питання:

1. Назвіть основні комплексні ПН для комп'ютерної мережі.
2. Назвіть основні ПН для простих пристроїв.
3. Що являє собою високонадійна комп'ютерна система?
4. За допомогою якого механізму працює комп'ютерна мережа?
5. Що таке локальна комп'ютерна мережа?
6. Які показники надійності є унікальними для мереж і в особливості комп'ютерних мереж?

Контрольна робота за темою 2.1

Дайте повну та вичерпну відповідь на наступні питання:

1. Назвіть основні комплексні ПН для комп'ютерної мережі.
2. Назвіть основні ПН для простих пристроїв.
3. Що являє собою високонадійна комп'ютерна система?
4. За допомогою якого механізму працює комп'ютерна мережа?
5. Що таке локальна комп'ютерна мережа?
6. Які показники надійності є унікальними для мереж і в особливості комп'ютерних мереж?
7. Що таке моделі Маркова?
8. У чому особливість марківських процесів?
9. Що таке ланцюг Маркова?
10. Як можна представити Марківський ланцюг?
11. Чим визначається дискретний Марківський ланцюг?
12. Що таке ергодичий Марківський ланцюг?
13. Назвіть основні характеристики ергодичного ланцюга.
14. Що являє собою розподілена система?
15. Назвіть основні характеристики, які виділяють розподілену систему?
16. Які умови повинні бути виконані для забезпечення надійності розподіленої КС?
17. Які характеристики надійності можуть бути використані для описання розподілених КС?
18. Що таке безпека розподіленої КС?
19. Що таке коефіцієнт готовності розподіленої КС?
20. Що таке відмова стійкість розподіленої КС?
21. Як можна схематично видворити будову комп'ютерної мережі?
22. Що таке мережний компонент? Що таке шлях та перетин?
23. Як знайти ймовірність настання складної події?
24. Як вирахувати нижню та верхню оцінку надійності?
25. Чому під час проектування мережі не виконуються точні підрахунки, щодо надійності системи?
26. Як визначити надійність i -го шляху $H^{(i)}$?
27. Як визначити ймовірність зв'язності вузлів x_a і x_b за множиною незалежних шляхів?

Семінарське заняття за темами 2.1

Студенти можуть взяти одну з наступних тем для самостійної підготовки та презентації:

- Моделювання надійності комп'ютерної мережі
- Методика оцінки надійності й захищеності розподілених комп'ютерних мереж
- Дворівневі локальні мережі з виділеним ядром
- Трирівневі локальні мережі з ядром й однією підгрупою розподілу

Презентація обранної теми повинна бути короткою та вичерпною.