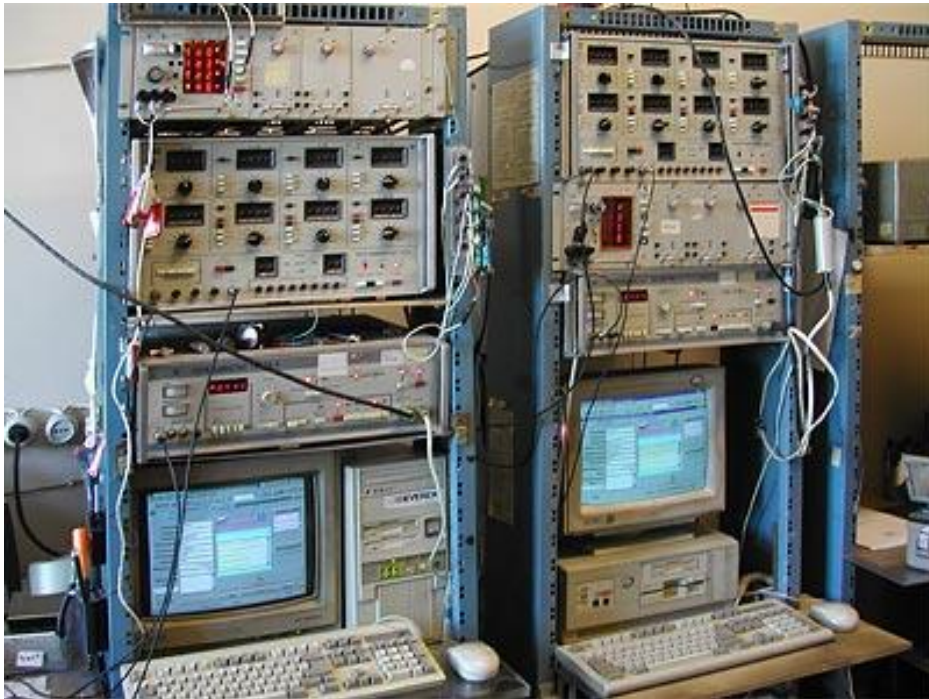


**О. М. Васілевський**  
**О. Г. Ігнатенко**

## **НОРМУВАННЯ ПОКАЗНИКІВ НАДІЙНОСТІ ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ**



Міністерство освіти і науки України  
Вінницький національний технічний університет

**О. М. Васілевський, О. Г. Ігнатенко**

# **НОРМУВАННЯ ПОКАЗНИКІВ НАДІЙНОСТІ ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ**

**Навчальний посібник**

Вінниця  
ВНТУ  
2013

**УДК 621.3**  
**ББК 30.10**  
**В 19**

Рекомендовано до видання Міністерством освіти і науки України як навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів, які навчаються за освітньо-професійною програмою спеціаліста та магістра зі спеціальності "Метрологія та вимірювальна техніка". Лист № 1/11-7610 від 25.04.13 р.

Рецензенти:

**Є. Т. Володарський**, доктор технічних наук, професор

**В. П. Квасніков**, доктор технічних наук, професор

**П. Г. Столярчук**, доктор технічних наук, професор

**Васілевський, О. М.**

**В19** Нормування показників надійності технічних засобів : навчальний посібник / О. М. Васілевський, О. Г. Ігнатенко. – Вінниця : ВНТУ, 2013. – 160 с.

**ISBN 978-966-641-535-9**

В навчальному посібнику розглянуто фундаментальні основи теорії надійності, методи розрахунку показників експлуатаційної надійності, метрологічної надійності та надійності програмного забезпечення, а також методи підвищення надійності технічних засобів. Навчальний посібник розроблений згідно з планом кафедри метрології та промислової автоматики ВНТУ та програмою дисципліни "Нормування показників надійності технічних засобів" для студентів спеціальності 7.05100101, 8.05100101 - "Метрологія та вимірювальна техніка".

**УДК 621.3**  
**ББК 30.10**

**ISBN 978-966-641-535-9**

© О. Васілевський, О. Ігнатенко, 2013

## З М І С Т

ВСТУП.....	5
<b>Розділ 1 ОСНОВИ ТЕОРІЇ НАДІЙНОСТІ.....</b>	<b>6</b>
1.1 Загальні положення теорії надійності.....	6
1.2 Показники надійності невідновлюваних ТЗ.....	8
1.3 Показники надійності відновлюваних ТЗ.....	14
1.4 Комплексні показники надійності.....	20
1.5 Показники довговічності та збережності.....	22
1.6 Структурна надійність технічних засобів.....	23
1.7 Оцінювання показників надійності за статистичною інформацією про відмови при експлуатації та випробуваннях.....	25
1.8 Випробування на надійність.....	32
1.9 Нормування показників метрологічної надійності.....	38
1.10 Надійність програмного забезпечення.....	45
1.10.1 Порівняльні характеристики програмних і апаратних відмов.....	45
1.10.2 Перевірка і випробування програм.....	46
1.10.3 Основні проблеми дослідження надійності програмного забезпечення.....	47
1.10.4 Критерії оцінювання надійності програмних засобів.....	49
1.10.5 Математичні моделі надійності комплексів програм.....	52
Питання для самоконтролю.....	57
<b>Розділ 2 МАТЕМАТИЧНІ МОДЕЛІ ЗАКОНІВ РОЗПОДІЛУ В ТЕОРІЇ НАДІЙНОСТІ.....</b>	<b>58</b>
2.1 Залежність інтенсивності відмов від часу роботи ТЗ.....	58
2.2 Розподіл Вейбулла.....	59
2.3 Експоненціальний розподіл.....	62
2.4 Розподіл Релея.....	67
2.5 Гамма-розподіл.....	69
2.6 Нормальний розподіл.....	70
2.7 Трикутний розподіл.....	74
2.8 Рівномірний розподіл.....	77
2.9 Закони розподілу дискретних випадкових величин.....	78
2.9.1 Біноміальний розподіл.....	78
2.9.2 Розподіл Пуассона.....	80
2.9.3 Геометричний розподіл.....	82
Питання для самоконтролю.....	82
<b>Розділ 3 ЗАХОДИ ЩОДО ФОРМУВАННЯ ПОКАЗНИКІВ НАДІЙНОСТІ НА РІЗНИХ ЕТАПАХ ПРОЕКТУВАННЯ.....</b>	<b>83</b>
3.1 Вибір і обґрунтування показників надійності.....	83
3.2 Призначення норм надійності.....	86

3.2.1 Врахування технічних характеристик проектованого об'єкта .....	86
3.2.2 Врахування технічного прогресу.....	88
3.2.3 Врахування змін умов роботи.....	89
3.2.4 Уточнення норм надійності і вибір заходів щодо її підвищення.....	92
3.3 Розподіл норм надійності по елементах.....	93
3.4 Методи, що підтверджують виконання норм надійності.....	100
3.5 Складання логічних схем для розрахунку надійності.....	102
3.6 Вибір і уточнення значень показників надійності.....	109
Питання для самоконтролю.....	111
<b>Розділ 4 ЗАГАЛЬНІ МЕТОДИ РОЗРАХУНКУ НАДІЙНОСТІ ПРОЕКТОВАНИХ ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ РІЗНИХ ТИПІВ.....</b>	<b>112</b>
4.1 Способи і основні етапи визначення надійності проектованих технічних засобів.....	112
4.2 Метод інтегральних рівнянь.....	112
4.3 Метод диференціальних рівнянь.....	114
4.4 Метод оцінки надійності за графом можливих станів ТЗ.....	117
4.5 Розрахунок втрат продуктивності ТЗ через ненадійність елементів.....	119
Питання для самоконтролю.....	121
<b>Розділ 5 МЕТОДИ ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ.....</b>	<b>122</b>
5.1 Заходи, що використовуються для підвищення надійності технічних засобів.....	122
5.2 Основні поняття, означення і класифікація методів резервованих ТЗ.....	126
5.3 Розрахунок надійності ТЗ при структурному резервуванні.....	131
5.3.1 Загальні положення.....	131
5.3.2 Загальне резервування з постійно включеним резервом і цілою кратністю.....	133
5.3.3 Роздільне резервування з постійно включеним резервом і цілою кратністю.....	135
5.3.4 Загальне і роздільне резервування заміщенням з цілою кратністю.....	137
5.3.5 Резервування з дробовою кратністю.....	140
5.4 Розрахунок надійності ТЗ з інформаційною надлишковістю... ..	145
5.5 Розрахунок надійності ТЗ із тимчасовим резервуванням.....	147
Питання для самоконтролю.....	150
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ.....	151
ГЛОСАРІЙ.....	152
ПРЕДМЕТНИЙ ПОКАЖЧИК.....	155
ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ ТА СКОРОЧЕНЬ.....	159

## ВСТУП

Враховуючи значимість сучасних технічних засобів (ТЗ) в людській діяльності, вимоги до їх надійності постійно підвищуються. Це пов'язано з тим, що від правильної роботи ТЗ залежать: хід виконання технологічних процесів, достовірність отриманих результатів вимірювань і обробки даних тощо. Питанням підвищення надійності ТЗ на всіх етапах їх проектування та виробництва приділяється найбільша увага.

Проблема забезпечення заданого рівня надійності ТЗ залежить не тільки від того, наскільки глибоко розроблена теорія надійності та інженерні методи, але й від того, наскільки вдало вирішені питання організації робіт із забезпечення надійності.

Забезпечення необхідного рівня надійності ТЗ потребує вирішення спеціального комплексу інженерних задач. Однією з перших є нормування показників надійності ТЗ (результат якого – чіткі кількісні вимоги до виробу), що впливає на весь процес створення ТЗ.

Таким чином, вищевикладене є першою причиною необхідності нормування показників надійності ТЗ різного призначення при проектуванні.

Другою причиною, що потребує нормування показників надійності, є підвищення складності ТЗ, апаратури, їх обслуговування, умов експлуатації і відповідальності задач, які на них покладаються.

Недостатня надійність ТЗ призводить до збільшення частки експлуатаційних витрат порівняно з загальними витратами на проектування, виробництво і використання цих засобів. При цьому вартість експлуатації ТЗ може в багато разів перевищити вартість їх розробки і виготовлення. Крім того, відмови ТЗ призводять до різного роду наслідків: втрати важливої інформації, простою спряжених з ТЗ інших приладів і систем, до аварій тощо. Таким чином, третьою причиною підвищення ролі нормування показників надійності ТЗ в сучасних умовах є економічний фактор.

Нормування вимог до надійності необхідне як для самого ТЗ та його складових частин, так і для планів випробувань, для точності і достовірності вихідних даних, формулювання критеріїв відмов, пошкоджень та граничних станів, для методів контролю надійності на всіх етапах життєвого циклу ТЗ.

Тому знання основних питань нормування показників надійності ТЗ є нині необхідною умовою для успішної роботи в галузі автоматизації технологічних процесів і особливо це стосується майбутніх спеціалістів, які будуть займатися розробкою засобів вимірювальної техніки та комп'ютеризованих систем управління і автоматики.

## Розділ 1 ОСНОВИ ТЕОРІЇ НАДІЙНОСТІ

### 1.1 Загальні положення теорії надійності

Для нормативного забезпечення методів, заходів і засобів вимірювання, спрямованих на досягнення необхідного рівня надійності, використовується система стандартів «Надійність у техніці». Ця система відповідно до міжнародного стандарту ІСО 8402-86, державних стандартів ДСТУ 2860-94 «Надійність техніки. Терміни та визначення» та ДСТУ 3004-95 «Надійність техніки. Методи оцінки показників надійності за експериментальними даними» забезпечує ефективність організаційно-технічних, конструкторсько-технологічних і експлуатаційних заходів, спрямованих на досягнення необхідного рівня надійності технічних засобів.

Аналізом і дослідженням цих питань займається наука, яка називається **теорією надійності (theory of dependability)**, основною задачею якої є вивчення закономірностей виникнення відмов. Ця наука базується на теорії ймовірності і математичній статистиці, тому всі розрахунки надійності ТЗ носять ймовірнісний та статистичний характер.

При проектуванні **технічний засіб (hardware)** має відповідати всім технічним вимогам. Ці вимоги можна розділити на:

- головні, що забезпечують виконання заданих функцій;
- допоміжні, що пов'язані зі зручністю використання, загальним виглядом та ін.

З точки зору теорії надійності будь-який ТЗ можна охарактеризувати його властивостями, технічним станом та можливістю відновлення після втрати працездатності. При цьому найважливішою комплексною властивістю ТЗ є його надійність.

**Надійністю (dependability)** називається властивість ТЗ виконувати задані функції, зберігаючи в часі значення встановлених експлуатаційних показників в заданих межах, що відповідають заданим режимам та умовам використання, технічного обслуговування, збереження і транспортування.

Надійність охоплює такі властивості: безвідмовність, довговічність, збереженість та ремонтпридатність.

**Нормування надійності (dependability specification)** – це встановлення у нормативно-технічній та (або) конструкторській (проектній) документації кількісних і якісних вимог до надійності ТЗ.

Розглянемо основні терміни та визначення, що використовуються в теорії надійності згідно з міжнародним стандартом ІСО 8402-86 та ДСТУ 2860-94 «Надійність техніки. Терміни та визначення».

**Працездатність (up state) ТЗ** – стан технічного засобу, при якому він здатний виконувати задані функції з параметрами, встановленими

вимогами нормативно-технічної та конструкторсько-технологічної документації.

**Відмова (failure)** – подія, що вказує на порушення працездатності ТЗ.

**Критерій відмови (failure criterion)** – ознака, за якою оцінюється надійність різних ТЗ.

**Безвідмовність (reliability)** – властивість ТЗ безупинно зберігати працездатний стан протягом деякого часу.

**Напрацювання (наробіток) (operating time)** – тривалість роботи ТЗ в годинах, циклах, календарних днях та ін.

**Напрацювання до відмови (operating time to failure)** – напрацювання ТЗ від початку його експлуатації до виникнення першої відмови.

**Напрацювання між відмовами (operating time between failures)** – напрацювання ТЗ від завершення відновлення його працездатного стану після відмови до виникнення наступної відмови.

**Граничний стан (limiting state)** – стан ТЗ, при якому його подальше застосування за призначенням стає неприпустимим чи недоцільним.

**Довговічність (durability)** – властивість ТЗ зберігати працездатний стан до настання граничного стану при встановленій системі технічного обслуговування і ремонтів.

**Ремонтопридатність (maintainability)** – властивість ТЗ, яка полягає в можливості попередження і виявлення причин виникнення відмов, підтримання і відновлення працездатного стану шляхом проведення технічного обслуговування і ремонтів.

**Збережуваність (storability)** – властивість ТЗ зберігати значення показників безвідмовності, довговічності і ремонтпридатності протягом експлуатації, зберігання та транспортування.

**Ресурс (useful life)** – напрацювання ТЗ від початку його експлуатації чи відновлення після ремонту до переходу в граничний стан.

**Термін експлуатації (term operation) ТЗ** – календарна тривалість від початку експлуатації ТЗ чи відновлення після ремонту до переходу в граничний стан.

**Середній час відновлення (mean time to recovery)** – це математичне сподівання часу відновлення працездатного стану.

Конструктивно всі ТЗ можна розділити на невідновлювані та відновлювані. **Невідновлюваними (non-repairable)** називають такі ТЗ, що у процесі виконання своїх функцій не можуть ремонтуватися, а **відновлювані (repairable)** – ремонтуються. З огляду на цю властивість окремо розраховують і нормують показники надійності для відновлюваних та невідновлюваних ТЗ.



**Показник надійності (dependability index)** – це кількісна характеристика однієї або декількох властивостей, що визначають надійність ТЗ.

**Метрологічна справність (metrology good condition) технічного засобу** – це стан ТЗ, що визначає відповідність його нормованих метрологічних характеристик встановленим вимогам.

**Метрологічна надійність (metrology dependability) ТЗ** – це надійність ТЗ в частині збереження його метрологічної справності.

**Метрологічна відмова (metrology failure) ТЗ** – це відмова ТЗ, що полягає у втраті його метрологічної справності.

**Нестабільність (instability) метрологічної характеристики ТЗ** – це зміна метрологічної характеристики ТЗ за встановлений інтервал часу.

**Довірчі межі (confiding limits) нестабільності метрологічної характеристики ТЗ** – це верхня і нижня межі інтервалу, що охоплює нестабільність метрологічної характеристики ТЗ з деякою довірчою вірогідністю.

**Вірогідність (authenticity) метрологічної справності ТЗ** – це вірогідність того, що в заданий момент часу ТЗ виявиться метрологічно справним.

**Середній час (середнє напрацювання – mean operating time) до метрологічної відмови ТЗ** – це математичне сподівання календарного часу експлуатації (напрацювання) ТЗ до першої метрологічної відмови.

**Напрацювання на метрологічну відмову ТЗ** – це відношення сумарного напрацювання ТЗ в стані метрологічної справності на заданий період експлуатації до математичного сподівання числа його метрологічних відмов за цей період.

**Інтенсивність (intensity) метрологічних відмов ТЗ** – це умовна щільність вірогідності метрологічної відмови ТЗ, яка визначається для даного моменту часу за умови, що до цього моменту відмови не відбулося.

## 1.2 Показники надійності невідновлюваних ТЗ

Основними нормованими показниками надійності невідновлюваних ТЗ можуть бути такі показники:

- ймовірність безвідмовної роботи,  $P(t)$ ;
- ймовірність відмови,  $Q(t)$ ;
- частота відмов,  $a(t)$ ;
- інтенсивність відмов,  $\lambda(t)$ ;
- середнє напрацювання до першої відмови,  $T_{\text{ср}}$ .

Оскільки час настання відмови  $T$  є величина випадкова, то  $Q(t)$  – це ймовірність того, що випадкова величина  $T$  набуде значення, що менше або дорівнює  $t$  (інтегральна функція (integral function) розподілу відмов), де  $t$  – час, за який визначається показник надійності (dependability index).

Тобто **ймовірністю відмови (probability failure)** називається ймовірність того, що за певних умов експлуатації в заданому інтервалі часу виникне хоча б одна відмова

$$Q(t) = P(T \leq t). \quad (1.1)$$

**Ймовірністю безвідмовної роботи (probability reliability work)**,  $P(t)$  називається ймовірність того, що за певних умов експлуатації в заданому інтервалі часу або у межах заданого напрацювання  $t$  не відбудеться жодної відмови

$$P(t) = P(T > t). \quad (1.2)$$

Оскільки безвідмовна робота і відмова є подіями несумісними і протилежними, то між ними справедливе таке співвідношення

$$P(t) + Q(t) = 1. \quad (1.3)$$

Оскільки  $Q(t)$  є законом розподілу випадкової величини (відмов), то залежність між можливими значеннями безперервної випадкової величини  $T$  та ймовірностями влучання в їх межі називається **щільністю ймовірності (density probability)**.

Вважаючи, що в момент ввімкнення ТЗ працездатний, тобто  $P(0) = 1$ , функція  $P(t)$  монотонно спадає від 1 до 0 так, як це показано на рис. 1.1. При цьому абсолютно зрозумілим є те, що  $P(\infty) = 0$ , тобто будь-який ТЗ при  $t \rightarrow \infty$  з часом відмовить.

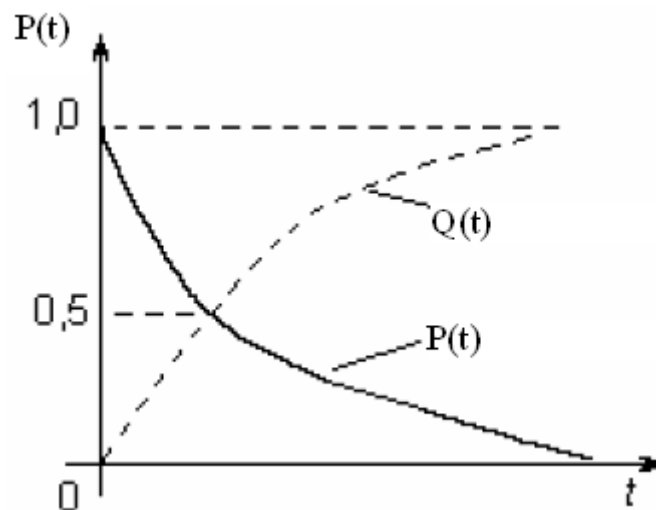


Рисунок 1.1 – Характеристики зміни ймовірності безвідмовної роботи та ймовірності відмови

На практиці використовують статичні ймовірнісні характеристики, які визначають за експериментальними даними. При цьому допускається, що в досліді використовуються однакові події і випробування проводяться в однакових умовах.

**Частота відмов (failure rate)**,  $a(t)$  є щільністю ймовірності часу роботи ТЗ до першої відмови

$$a(t) = \frac{dQ(t)}{dt} = -\frac{dP(t)}{dt}. \quad (1.4)$$

Наступною важливою характеристикою є **інтенсивність відмов (intensity failure)**  $\lambda(t)$ , під якою розуміють ймовірність відмови в одиницю часу за умови, що до цього моменту відмови не виникало.

Інтенсивність відмов є показником безвідмовності неремонтованих і невідновлюваних об'єктів. Визначається відношенням частоти відмов  $a(t)$  до ймовірності безвідмовної роботи на даний момент часу  $t$

$$\lambda(t) = \frac{a(t)}{P(t)} = \frac{a(t)}{1 - \int_0^t a(t)dt} = -\frac{1}{P(t)} \cdot \frac{dP(t)}{dt}. \quad (1.5)$$

Звідки 
$$\frac{dP(t)}{P(t)} = -\lambda(t)dt. \quad (1.6)$$

Із формул (1.5) і (1.6) слідує, що:

$$P(t) = e^{-\int_0^t \lambda(t)dt}. \quad (1.7)$$

Це формула зв'язку основних показників надійності ТЗ, що не відновлюються.

Якщо  $\lambda = \text{const}$ ,  $P(t) = e^{-\lambda t}$ .

При  $t = 0$  значення  $\lambda(t) = a(0)$ .

Формула зв'язку показує, що всі показники надійності  $P(t)$ ,  $Q(t)$ ,  $a(t)$  і  $\lambda(t)$  рівноправні в тому сенсі, що, знаючи один із них, можна визначити інші.

**Середня інтенсивність відмов (mean intensity failure)** – середнє значення інтенсивності відмов у заданому інтервалі часу.

$$\bar{\lambda}(t_1, t_2) = \frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} \lambda(t)dt. \quad (1.8)$$

**Середнім напрацюванням до першої відмови (mean operating time to first failure)**,  $T_{cp}$  називається математичне сподівання (момент першого порядку)  $M[t]$  часу роботи ТЗ до відмови. Математичне сподівання, тобто  $T_{cp}$ , обчислюється за частотою відмов (щільність розподілу часу безвідмовної роботи) так

$$M[t] = T_{cp} = \int_{-\infty}^{+\infty} ta(t)dt, \quad (1.9)$$

оскільки  $t > 0$  і  $P(0) = 1$ , а  $P(\infty) = 0$ , то  $T_{cp} = \int_0^{+\infty} P(t)dt$ .

Величина  $T_{cp}$  – параметр функції  $P(t)$ , який в багатьох випадках дозволяє відновити всю функцію.

Інколи середній час безвідмовної роботи  $T_{cp}$  є прийнятною характеристикою для порівняння ТЗ за показниками безвідмовності.

Момент другого порядку розраховується за формулою

$$M_2[t] = \int_0^{+\infty} t^2 a(t) dt = - \int_0^{+\infty} t^2 dP(t). \quad (1.10)$$

З урахуванням того, що  $P(t) = 1$  при  $t = 0$ , а  $\lim_{t \rightarrow \infty} t^2 P(t) = 0$ , остаточно отримаємо

$$M_2[t] = \int_0^{+\infty} P(t) dt^2 = 2 \int_0^{+\infty} t P(t) dt. \quad (1.11)$$

З виразу (1.11) із урахуванням (1.9) можна знайти дисперсію часу  $\sigma_T^2$  безвідмовної роботи ТЗ за формулою

$$\sigma_T^2 = M_2[t] - T_{cp}^2 = 2 \int_0^{+\infty} t P(t) dt - \left[ \int_0^{+\infty} P(t) dt \right]^2. \quad (1.12)$$

**Приклад 1.1.** Інтенсивність відмов ТЗ залежить від часу і виражається функцією  $\lambda(t) = k^2 t / (1 + kt)$ . Необхідно визначити ймовірність безвідмовної роботи, частоту відмов і середнє напрацювання до першої відмови.

*Розв'язування:*

Ймовірність безвідмовної роботи розраховуємо за формулою (1.7). Вона після відповідних математичних перетворень набуде вигляду:  $P(t) = e^{-kt} (1 + kt)$ .

Частота відмов визначається шляхом підстановки  $P(t)$  у формулу (1.5), яка після перетворень набуде вигляду:  $a(t) = k^2 t e^{-kt}$ .

Відповідно до формули (1.9) середнє напрацювання до першої відмови буде дорівнювати:  $T_{cp} = 2/k$ .

**Статистичні оцінки (statistical estimations)** показників надійності невідновлюваних ТЗ розраховуються за нижченаведеними формулами.

Статистична оцінка ймовірності відмови визначається за формулою

$$\bar{Q}(t) = \frac{n(t)}{N_0}, \quad (1.13)$$

де  $n(t)$  – кількість ТЗ, що відмовили за час  $t$ ;

$N_0$  – загальна кількість ТЗ, що підлягають випробуванням.

Статистична оцінка ймовірності безвідмовної роботи буде дорівнювати

$$\bar{P}(t) = \frac{N_0 - n(t)}{N_0} = \frac{N_t}{N_0}, \quad (1.14)$$

де  $N_t$  – кількість ТЗ, що залишилися справними на кінець часу випробування.

Статистична оцінка частоти відмов (щільності відмов) визначається за формулою

$$\bar{a}(t) = \frac{n(\Delta t)}{N_0 \cdot \Delta t}, \quad (1.15)$$

де  $n(\Delta t)$  – кількість ТЗ, що відмовили в інтервалі часу від  $t - \Delta t / 2$  до  $t + \Delta t / 2$ ;

$\Delta t = (t_{i+1} - t_i)$  – інтервал часу;

$t_i$  – час початку  $i$ -го інтервалу;

$t_{i+1}$  – час кінця  $i$ -го інтервалу.

Статистична оцінка інтенсивності відмов визначається за формулою

$$\bar{\lambda}(t) = \frac{n(\Delta t)}{N_{cp} \cdot \Delta t}, \quad (1.16)$$

де  $N_{cp} = (N_i + N_{i+1}) / 2$  – середня кількість працездатних ТЗ, що працюють в інтервалі часу  $\Delta t$ ;

$N_i$  – кількість працездатних ТЗ на початку інтервалу часу  $\Delta t$ ;

$N_{i+1}$  – кількість працездатних ТЗ в кінці інтервалу часу  $\Delta t$ .

Знаючи моменти виходу з ладу всіх ТЗ, за якими ведеться спостереження, можна дати статистичну оцінку середнього напрацювання до першої відмови

$$\bar{T}_{cp} = (\sum_{i=1}^{N_i} t_i) / N_0, \quad (1.17)$$

де  $t_i$  – час безвідмовної роботи  $i$ -го зразка ТЗ.

Маючи дані про кількість ТЗ, що вийшли з ладу в кожному  $i$ -тому інтервалі часу, статистичну оцінку середнього напрацювання до першої відмови можна визначити з рівняння

$$\bar{T}_{cp} \approx \frac{(\sum_{i=1}^m n_i t_{cpi})}{N_0}, \quad (1.18)$$

де  $t_{cpi} = (t_{i+1} - t_i) / 2$ ,  $m = t_k / \Delta t$ ;

$t_i$  – час початку  $i$ -го інтервалу,  $t_{i+1}$  – час кінця  $i$ -го інтервалу;

$t_k$  – час, протягом якого вийшли з ладу всі ТЗ;

$\Delta t = (t_{i+1} - t_i)$  – інтервал часу.

**Приклад 1.2.** На випробування поставлено  $N_0 = 1000$  ТЗ. За час  $t = 3000$  год. відмовило  $n(t) = 200$  ТЗ, а за інтервал часу  $\Delta t = 100$  год. відмовило ще  $n(\Delta t) = 100$  ТЗ. Необхідно визначити статистичну оцінку основних показників надійності  $\bar{P}(3000)$ ,  $\bar{P}(3100)$ ,  $\bar{P}(3050)$ ,  $\bar{a}(3050)$ ,  $\bar{\lambda}(3050)$ .

*Розв'язування:*

За формулою (1.14) визначимо:

для  $t_n = 3000$  (початок інтервалу)

$$\bar{P}(3000) = \frac{N_0 - n(t)}{N_0} = \frac{N_0 - n(3000)}{N_0} = \frac{400 - 200}{400} = 0,5;$$

для  $t_n = 3100$  (кінець інтервалу)

$$\bar{P}(3100) = \frac{N_0 - n(3100)}{N_0} = \frac{400 - 300}{400} = 0,25.$$

Визначимо середню кількість ТЗ, що справно працюють в інтервалі  $\Delta t$

$$N_{cp} = (N_i + N_{i+1}) / 2 = (200 + 100) / 2 = 150.$$

Кількість ТЗ, що відмовили за час  $t = 3050$  год.

$$n(3050) = N_0 - N_{cp} = 400 - 150 = 250.$$

Тоді

$$\bar{P}(3050) = \frac{N_0 - n(3050)}{N_0} = \frac{400 - 250}{400} = 0,375.$$

За формулами (1.15) і (1.16) знаходимо оцінку частоти та інтенсивності відмов:

$$\bar{a}(3050) = \frac{n(\Delta t)}{N_0 \cdot \Delta t} = \frac{100}{400 \cdot 100} = 2,5 \cdot 10^{-3} \text{ (год}^{-1}\text{)};$$

$$\bar{\lambda}(3050) = \frac{n(\Delta t)}{N_{cp} \cdot \Delta t} = \frac{100}{150 \cdot 100} \approx 6,7 \cdot 10^{-3} \text{ (год}^{-1}\text{)}.$$

Перевіримо формулу  $\bar{\lambda}(t) = \bar{a}(t) / \bar{P}(t)$

$$\bar{\lambda}(3050) = \frac{\bar{a}(3050)}{\bar{P}(3050)} = \frac{0,0025}{0,375} \approx 6,7 \cdot 10^{-3} \text{ (год}^{-1}\text{)}.$$

**Приклад 1.3.** На випробування поставлено 6 однотипних виробів. Отримані такі значення часу безвідмовної роботи  $i$ -го виробу:  $t_1 = 280$  год;  $t_2 = 350$  год;  $t_3 = 400$  год;  $t_4 = 320$  год;  $t_5 = 380$  год;  $t_6 = 330$  год. Визначити статистичну оцінку середнього напрацювання відмови партії виробів  $\bar{T}_{cp}$ .

*Розв'язування:*

$$\bar{T}_{cp} = \frac{1}{N_0} \sum_{i=1}^{N_i} t_i = \frac{280 + 350 + 400 + 320 + 380 + 330}{6} = \frac{2060}{6} = 343,3 \text{ год.}$$

**Приклад 1.4.** В результаті спостереження за  $N_0 = 20$  зразками ТЗ отримані дані до першої відмови всіх зразків і зведені в таблицю.

Треба визначити середній наробіток до відмови  $\bar{T}_{cp}$

$$\bar{T}_{cp} = \frac{1}{N_0} \sum_{i=1}^m n_i t_{cp,i},$$

де  $n_i$  – кількість виробів, які відмовили на  $i$ -му інтервалі часу;

$t_{cp,i} = (t_{i-1} + t_i) / 2$  – середини часових інтервалів;

$m$  – кількість інтервалів часу.

$\Delta t_i$ , год.	$n_i$
0-5	3
5-10	5
10-15	8
15-20	4

*Розв'язування:*

$$t_{cp.1} = 2,5; \quad t_{cp.2} = 7,5; \quad t_{cp.3} = 12,5; \quad t_{cp.4} = 17,5.$$

$$\bar{T}_{cp} = \frac{3 \cdot 2,5 + 5 \cdot 7,5 + 8 \cdot 12,5 + 4 \cdot 17,5}{20} = 10,75 \text{ год.}$$

### 1.3 Показники надійності відновлюваних ТЗ

Найчастіше нормованими показниками надійності відновлюваних ТЗ є параметр потоку відмов  $\omega(t)$ , середнє напрацювання до відмови  $t_{cp}$ , ймовірність відновлення працездатності ТЗ протягом часу  $t$   $P_B(t)$ , інтенсивність відновлення  $\mu(t)$  та ін.

Для відновлюваних ТЗ існує зацікавленість у вивченні послідовності випадкових подій, що являють собою повторюваність відмов, які виникають в результаті багаторазових відновлень.

Послідовність відмов називається **потокком відмов (stream failure)**.

Виділимо деякий інтервал часу від моменту включення  $t = 0$  до деякого поточного значення часу  $t$ . Зробимо припущення, що на цьому інтервалі часу  $(0; t)$  виникло  $V_t$  відмов. Причому  $V_t$  являє собою дискретну випадкову величину.

Позначимо через  $F_n(t)$  ймовірність того, що на інтервалі  $(0; t)$  виникло не менше  $n$  відмов, тобто

$$F_n(t) = P(V_t \geq n). \quad (1.19)$$

З виразу (1.19) отримаємо формулу для визначення ймовірності появи  $n$  відмов на інтервалі  $(0; t)$

$$P(V_t = n) = P(V_t \geq n) - P(V_t \geq n + 1) = F_n(t) - F_{n+1}(t). \quad (1.20)$$

#### 1.3.1 Ведуча функція потоку відмов (функція відновлення)

Найважливішою характеристикою потоку відмов є математичне сподівання кількості відмов на інтервалі  $(0; t)$ . Ця характеристика називається **ведучою функцією потоку відмов (leading function failures flow)**. Позначимо цю функцію через  $H(t)$

$$H(t) = M(V_t). \quad (1.21)$$

У зв'язку з тим, що після кожної відмови відбувається відновлення, то  $H(t)$  являє собою також і середню кількість відновлень на інтервалі  $(0; t)$ .

Середня кількість відмов в інтервалі часу  $(t_1; t_2)$  буде дорівнювати

$$M(V_{t_2} - V_{t_1}) = M(V_{t_2}) - M(V_{t_1}) = H(t_2) - H(t_1). \quad (1.22)$$

За дефініцією середнього значення дискретної випадкової величини (математичного сподівання) маємо

$$H(t) = \sum_{n=0}^{\infty} nP(V_t = n). \quad (1.23)$$

Підставляючи вираз (1.20) у вираз (1.23) і розділивши суму на два доданки, отримаємо

$$H(t) = \sum_{n=0}^{\infty} nF_n(t) - \sum_{n=0}^{\infty} nF_{n+1}(t). \quad (1.24)$$

В першій сумі виразу (1.24) член при  $n = 0$  буде дорівнювати нулю і ним можна знехтувати. У другій сумі індекс підсумовування замінимо на  $m=n+1$ . Тоді вираз (1.24) набуде вигляду

$$H(t) = \sum_{n=1}^{\infty} nF_n(t) - \sum_{m=1}^{\infty} (m-1)F_m(t). \quad (1.25)$$

Об'єднуючи суми рівняння (1.25), отримаємо кінцевий вираз для **ведучої функції потоку відмов**

$$H(t) = \sum_{n=1}^{\infty} F_n(t). \quad (1.26)$$

**1.3.2 Інтенсивність потоку відмов (intensity flow failure).** Тепер знайдемо середню кількість відмов на інтервалі  $(t_1; t_2)$ , віднесена до тривалості цього інтервалу  $(t_2 - t_1)$ . Відповідно до виразу (1.22) це відношення буде дорівнювати  $M[H(t_2) - H(t_1)] / (t_2 - t_1)$ .

Межа такого відношення називається інтенсивністю потоку відмов і позначається через  $\omega_{\text{пв}}$

$$\omega_{\text{пв}}(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{H(t + \Delta t) - H(t)}{\Delta t} = \frac{dH(t)}{dt}. \quad (1.27)$$

З виразів (1.26) і (1.27) випливає, що

$$\omega_{\text{пв}}(t) = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{dF_n(t)}{dt}. \quad (1.28)$$

**1.3.3 Функція розподілу потоку відмов (function distribution flow failure).** Розглянемо зв'язок функції розподілу кількості відмов  $F_n(t)$  з показником безвідмовності та відновлюваності ТЗ, тобто зі щільністю розподілу напрацювання до відмови та зі щільністю розподілу часу відновлення.

При цьому існує два припущення:

1. Потік відмов і потік відновлень кожний окремо та разом являють собою послідовність незалежних подій;
2. На інтервалі відновлення відмови не виникають.

Через  $T_k$  позначимо випадковий інтервал часу моменту виникнення  $k$ -ої відмови після першого ввімкнення ТЗ. В цьому випадку

$$\varepsilon = T_k - T_{k-1}, \quad (1.29)$$



де  $\varepsilon$  – інтервал часу між відмовами, що складається з інтервалу відновлення  $\eta_k$  та інтервалу безвідмовної роботи  $\phi_k$ :

$$T_0 = \eta_1 = 0; T_1 = \varepsilon_1 = \phi_1.$$

Момент  $n$ -ої відмови буде дорівнювати сумі інтервалів між відмовами

$$T_n = \sum_{k=1}^n \varepsilon_k. \quad (1.30)$$

Подія, яка полягає в тому, що на інтервалі часу  $(0; t)$  з'явиться мінімум  $n$  відмов, еквівалентна події, при якій момент  $n$ -ої відмови передреє моменту часу  $t$ .

Відповідно

$$F_n(t) = P(V_t \geq n) = P(T_n < t),$$

або

$$F_n(t) = P\left(\sum_{k=1}^n \varepsilon_k < t\right). \quad (1.31)$$

Оскільки випадкові величини  $\varepsilon_1 - \varepsilon_n$  незалежні, то визначення функції  $F_n(t)$  зводиться до задачі про розподіл суми скінченного числа незалежних величин. Як правило, для вирішення подібних задач використовують метод характеристичних функцій.

Позначимо через  $\omega_{\varepsilon_k}(t)$  щільність розподілу випадкової величини  $\varepsilon_k$ . При цьому характеристичною функцією  $\Theta_{\varepsilon_k}(jv)$  випадкової величини називається перетворення Фур'є її щільності розподілу, тобто

$$\Theta_{\varepsilon_k}(-jv) = \int_0^{\infty} \omega_{\varepsilon_k}(t) e^{jvt} dt. \quad (1.32)$$

Щільність розподілу отримується з характеристичної функції шляхом оберненого перетворення Фур'є

$$\omega_{\varepsilon_k}(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \Theta_{\varepsilon_k}(jv) e^{-jvt} dt. \quad (1.33)$$

З виразу (1.33) випливає, що характеристична функція випадкової величини  $\varepsilon_k$  це середнє значення від  $e^{jv\varepsilon_k}$ . Але тоді для суми незалежних випадкових величин отримуємо:

$$\begin{aligned} \sum_n &= \sum_{k=1}^n \varepsilon_k, \\ \Theta_{\sum_n}(jv) &= M\left\{ e^{jv \sum_{k=1}^n \varepsilon_k} \right\} = \prod_{k=1}^n M(e^{jv\varepsilon_k}), \end{aligned}$$

або

$$\Theta_{\sum_n}(jv) = \prod_{k=1}^n \Theta_{\varepsilon_k}(jv). \quad (1.34)$$

З рівняння (1.34) випливає, що характеристична функція суми незалежних випадкових величин дорівнює добутку характеристичних функцій доданків.

Щільність розподілу вказаної суми знаходиться оберненим перетворенням Фур'є

$$W_{\Sigma_n}(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \prod_{k=1}^n \Theta_{\varepsilon_k}(jv) e^{jvt} dt. \quad (1.35)$$

Оскільки  $\varepsilon_k = \eta_k + \varphi_k$  і ці доданки незалежні, то

$$\Theta_{\varepsilon_k}(jv) = \Theta_{\eta_k}(jv) \Theta_{\varphi_k}(jv), \quad (1.36)$$

де  $\Theta_{\eta_k}(jv)$  і  $\Theta_{\varphi_k}(jv)$  – відповідно, характеристичні функції відновлення та безвідмовної роботи.

Розраховуючи ці функції за допомогою перетворення Фур'є від щільності розподілу часу відновлення  $\omega_{\eta_k}(t)$  і щільності розподілу напрацювання до відмови  $\omega_{\varphi_k}(t)$ :

$$\Theta_{\eta_k}(jv) = \int_0^{\infty} \omega_{\eta_k}(t) e^{jvt} dt, \quad (1.37)$$

$$\Theta_{\varphi_k}(jv) = \int_0^{\infty} \omega_{\varphi_k}(t) e^{jvt} dt. \quad (1.38)$$

Об'єднуючи вирази (1.31), (1.33), (1.35)–(1.38) отримаємо шукану залежність функції  $F_n(t)$  від характеристик відновлення і безвідмовності

$$F_n(t) = \int_0^{\infty} W_{\Sigma_n}(t) dt = \frac{1}{2\pi} \int_0^t \int_{-\infty}^{\infty} \prod_{k=1}^n \left[ \int_0^{\infty} \omega_{\eta_k}(x) e^{jvx} dx \int_0^{\infty} \omega_{\varphi_k}(y) e^{jvy} dy \right] e^{-jvt} dv dt. \quad (1.39)$$

У випадку однорідних потоків відмов і потоків відновлень функції розподілу  $\omega(t)$  та  $\omega_b(t)$  не залежать від номера інтервалу. Тому в рівнянні (1.39) добуток можна замінити  $n$ -им степенем виразу, поміщеного в квадратні дужки, тобто

$$F_n(t) = \frac{1}{2\pi} \int_0^t \int_{-\infty}^{\infty} \left[ \int_0^{\infty} \omega_b(x) e^{jvx} dx \int_0^{\infty} \omega(y) e^{jvy} dy \right]^n e^{-jvt} dv dt. \quad (1.40)$$

Якщо відновлення відбувається миттєво, то  $\omega_b(t) = \delta(x)$  і, відповідно, рівняння (1.40) набуває вигляду

$$F_n(t) = \frac{1}{2\pi} \int_0^t \int_{-\infty}^{\infty} \left[ \int_0^{\infty} \omega(y) e^{jvy} dy \right]^n e^{-jvt} dv dt. \quad (1.41)$$

**1.3.4 Статистичною оцінкою параметра потоку відмов (parameter of stream failure)** називається відношення кількості відмовлених ТЗ за одиницю часу до загальної кількості ТЗ, що підлягають дослідженню, за умови, що всі ТЗ, які вийшли з ладу, замінюються справними

$$\bar{\omega}(t) = n(\Delta t) / (N \cdot \Delta t), \quad (1.42)$$

де  $n(\Delta t)$  – кількість відмовлених ТЗ в інтервалі часу від  $t - \Delta t/2$  до  $t + \Delta t/2$ ;  
 $N$  – загальна кількість ТЗ, що підлягають випробуванням;  
 $\Delta t$  – інтервал часу.

**1.3.5 Середнім напрацюванням до відмови (mean operating time to failure)** відновлюваного ТЗ називається середнє значення часу між сусідніми відмовами.

Для **одного** ТЗ статистична оцінка середнього напрацювання до відмови буде дорівнювати

$$\bar{T}_{cp} = \sum_{i=1}^n t_i / n, \quad (1.43)$$

де  $t_i$  – час справної роботи ТЗ між  $(i - 1)$ -ою та  $i$ -ою відмовами;  
 $n$  – число відмов за час  $t$ .

Для  $N$  ТЗ, за якими ведеться спостереження в момент часу  $t$ , статистична оцінка середнього напрацювання до відмови визначається за формулою

$$\bar{T}_{cp} = \left( \sum_{j=1}^N \sum_{i=1}^{n_j} t_{ij} \right) / \sum_{j=1}^N n_j, \quad (1.44)$$

де  $t_{ij}$  – час справної роботи  $j$ -го ТЗ між  $(i - 1)$ -ою та  $i$ -ою відмовами;  
 $n_j$  – число відмов  $j$ -го ТЗ за час  $t$ .

**1.3.6 Ймовірність відновлення працездатного стану (probability restoration operability state)**,  $P_B(t)$  – ймовірність відновлення працездатного стану ТЗ протягом заданого часу  $t$

$$P_B(t) = N_{Bt} / N_{B0}, \quad (1.45)$$

де  $N_{Bt}$  і  $N_{B0}$  – відповідно, кількість ТЗ, відновлених протягом інтервалу  $(0, t)$ , та тих, що потребують відновлення при  $t = 0$ .

**1.3.7 Інтенсивність відновлення (intensity restoration)**,  $\mu(t)$  – умовна густина ймовірності відновлення працездатності ТЗ, визначена для одного моменту часу, за умови, що до цього моменту відновлення не завершилося

$$\mu(t) = \frac{\Delta n_B}{N_B \Delta t} = \frac{1}{\bar{T}_B}, \quad (1.46)$$

де  $\Delta n_B$  – кількість ТЗ, відновлених протягом інтервалу  $\Delta t$ ;

$N_B$  – кількість ТЗ, які потребують відновлення після завершення часу  $\Delta t$ ;

$\bar{T}_B$  – середній час відновлення.

Параметри відновлення працездатного стану пов'язані співвідношеннями

$$P_B(t) = 1 - \exp \left[ - \int_0^t \mu(t) dt \right], \quad (1.47)$$

$$\bar{T}_B(t) = \int_0^{\infty} 1 - P_B(t) dt. \quad (1.48)$$

**1.3.8 Коефіцієнт відновлення ресурсу (coefficient of restitution resource),**  $\eta(t)$  рівний відношенню середнього ресурсу відремонтованих ТЗ  $t_{\text{від}}$  до середнього ресурсу нових ТЗ (до першого ремонту)  $t_{\text{нов}}$ , який повинен бути не менше 80%.

$$\eta(t) = t_{\text{від}} / t_{\text{нов}}. \quad (1.49)$$

**Приклад 1.5.** При експлуатації  $N = 300$  відновлюваних приладів спостерігались відмови 30 приладів протягом напрацювання (0, 1000) год. Потрібно знайти параметр потоку відмов.

*Розв'язування:*

За формулою (1.42) знаходимо

$$\bar{\omega}(t) = n(\Delta t) / (N \cdot \Delta t) = 30 / (300 \cdot 1000) = 1 \cdot 10^{-4} (\text{год}^{-1}).$$

**Приклад 1.6.** Напрацювання до першої заміни деталі ТЗ  $\bar{T}_{\text{сп}} = 58$  год., середньоквадратичне відхилення  $\sigma = 10$  год, коефіцієнт відновлення ресурсу  $\eta = 0,6$ . Визначити можливе число замін при роботі ТЗ 150 годин. Прийняти нормальний закон розподілу.

*Розв'язування:*

Визначаємо за формулою (1.26)  $F_1, F_2$  і т. д. для нормального закону

$$H(t) = \sum_{n=1}^{\infty} F_n(t) = \sum_{n=1}^{\infty} \Phi \left( \frac{t - n \cdot \eta \cdot \bar{T}_{\text{сп}}}{\sigma \cdot \sqrt{n}} \right);$$

$$F_1 = \Phi_1(150) = \Phi \left( \frac{150 - 1 \cdot 0,6 \cdot 58}{10 \cdot \sqrt{1}} \right) = \Phi(11,52) = 1;$$

$$F_2 = \Phi_2(150) = \Phi \left( \frac{150 - 2 \cdot 0,6 \cdot 58}{10 \cdot \sqrt{2}} \right) = \Phi(5,7) = 1;$$

$$F_3 = 0,995; \quad F_4 = 0,69; \quad F_5 = 0,136; \quad F_6 = 0,007.$$

З огляду на те, що значення  $F_6$  мале, подальші розрахунки для  $F_7$  і інших можна не проводити. Таким чином, при роботі ТЗ 150 годин можливе число замін деталі буде дорівнювати

$$H(150) = \sum_{n=1}^6 F_n(150) = 3,83 \approx 4.$$

**Приклад 1.7.** Протягом деякого періоду часу проводилося спостереження за роботою одного відновлюваного ТЗ. За весь період спостереження було зареєстровано 15 відмов. До початку спостереження ТЗ пропрацював 258 год., до кінця спостереження напрацювання ТЗ склало 1233 год. Потрібно визначити середнє напрацювання до відмови  $\bar{T}_{\text{сп}}$ .

*Розв'язування:*

Напрацювання ТЗ за період, що спостерігається, дорівнює

$$t = t_2 - t_1 = 1233 - 258 = 975 \text{ год.}$$

Взявши  $\sum_{i=1}^n t_i = 975$  год. за формулою (1.43) знаходимо середнє

напрацювання до відмови:  $\bar{T}_{cp} = (\sum_{i=1}^n t_i) / n = 975 / 15 = 65$  год.

**Приклад 1.8.** Проводилося спостереження за роботою трьох однакових відновлюваних ТЗ. За період спостереження було зафіксовано стосовно першого ТЗ 6 відмов, другого – 11 відмов і третього – 8 відмов. Напрацювання першого ТЗ склало 181 год., другого – 329 год. і третього – 245 год. Потрібно визначити середнє напрацювання ТЗ до відмови.

*Розв'язування:*

Сумарне напрацювання трьох ТЗ визначається так:

$$t_{\Sigma} = \sum_{j=1}^N \sum_{i=1}^{n_j} t_{ij} = 181 + 329 + 245 = 755 \text{ год.}$$

Сумарна кількість відмов за виразом:

$$n_{\Sigma} = \sum_{j=1}^N n_j = 6 + 11 + 8 = 25 \text{ відмов.}$$

Середнє напрацювання до відмови згідно з формулою (1.44):

$$\bar{T}_{cp} = (\sum_{j=1}^N \sum_{i=1}^{n_j} t_{ij}) / \sum_{j=1}^N n_j = t_{\Sigma} / n_{\Sigma} = 755 / 25 = 30,2 \text{ год.}$$

## 1.4 Комплексні показники надійності

Зазвичай **комплексні показники надійності (integrated indicators of dependability)** використовуються для спільної оцінки властивостей безвідмовності і ремонтпридатності відновлюваних ТЗ.

**1.4.1 Коефіцієнт готовності (coefficient readiness)** називається відношення часу справної роботи до суми часу справної роботи і вимушених простоїв ТЗ, взятих за один і той самий календарний термін.

Відповідно до визначення статистична оцінка коефіцієнта готовності буде дорівнювати

$$\bar{K}_r = t_p / (t_p + t_n), \quad (1.50)$$

де  $t_p = \sum_{i=1}^n t_{pi}$  – сумарний час справної роботи ТЗ;

$t_n = \sum_{i=1}^n t_{ni}$  – сумарний час вимушеного простою ТЗ;

$t_{pi}$  – час роботи ТЗ між  $(i - 1)$ -ою та  $i$ -ою відмовами;

$t_{ni}$  – час вимушеного простою після  $i$ -ої відмови;

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Основы теории надёжности / Половко А. М. – М. : Наука, 1964. – 446 с.
2. Справочник по расчету надежности аппаратуры радиоэлектроники и автоматики / Козлов В. А., Ушаков И. А. – М. : Советское радио, 1985. – 462 с.
3. ГОСТ 27.002 – 89. «Надежность в технике. Основные понятия. Термины и определения». – М.: Издательство стандартов, 1989. – 20 с.
4. Надежность технических средств управления / Матвеевский В. Р. – М. : МГИЭМ, 1993. – 92 с.
5. Проектирование и надежность устройств автоматики и телемеханики / Матвеевский В. Р. – М. : МИЭМ, 1990. – 96 с.
6. Основы метрологии, точность и надёжность в приборостроении / Рудзит Я. А., Плуталов В. Н. – М. : Машиностроение, 1991. – 303 с.
7. Надійність техніки. Терміни та визначення: ДСТУ 2860—94. – К. : Держстандарт України, 1994. — 91 с.
8. Методи оцінки показників надійності за експериментальними даними ДСТУ 3004-95. – К.: Держстандарт України, 1995. – 123 с.
9. Практикум з метрологічного нагляду за засобами вимірювань / Васілевський О. М., Поджаренко В. О. – Вінниця: ВНТУ, 2008. – 87 с.
10. Надёжность программного обеспечения АСУ / Липаев В. В. – М. : Энергоиздат, 1981. – 240 с.
11. Надёжность программного обеспечения систем обработки данных / Шураков В. В. – М. : Финансы и статистика, 1987. – 271 с.
12. Методы оценки надёжности и обеспечения устойчивости функционирования программ / Садчиков П. И., Приходько Ю.Г. – М. : Знание, 1983. – 102 с.
13. Надёжность программного обеспечения / Майерс Г. – М. : Мир, 1980. – 360 с.
14. Руководство по надёжному программированию / Гласс Р. – М. : Финансы и статистика, 1982. – 256 с.
15. Статистична обробка даних / Володарський Є. Т., Кошева Л. О. – К. : НАУ, 2008. – 308 с.
16. Елементи та пристрої систем управління і автоматики / Васюра А. С. – Вінниця: ВДТУ, 1999. – 157 с.
17. Основы теории надёжности та контролю якості виробів електронної техніки: Лабораторний практикум / Федун І. В. – Вінниця: ВДТУ, 2003. – 71 с.
18. Васілевський О. М. Нормування показників метрологічної надійності / О. М. Васілевський // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2011. – № 4. – С. 9–13.

*Навчальне видання*

**Васілевський Олександр Миколайович  
Ігнатенко Олександр Григорович**

## **Нормування показників надійності технічних засобів**

Навчальний посібник

Редактор В. Дружиніна

Оригінал-макет підготовлено О. Васілевським

Підписано до друку 16.07.2013 р.  
Формат 29,7x42¼. Папір офсетний.  
Гарнітура Times New Roman.  
Друк різнографічний. Ум. друк. арк. 10,2.  
Наклад 300 (1-й запуск – 100) прим. Зам. № 2013-136.

Вінницький національний технічний університет,  
навчально-методичний відділ ВНТУ.  
21021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95,  
ВНТУ, к. 2201.  
Тел. (0432) 59-87-36.  
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи  
серія ДК № 3516 від 01.07.2009 р.

Віддруковано у Вінницькому національному технічному університеті  
в комп'ютерному інформаційно-видавничому центрі.  
21021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95,  
ВНТУ, ГНК, к. 114.  
Тел. (0432) 59-81-59.  
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи  
серія ДК № 3516 від 01.07.2009 р.