

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ДЕРЖАВНИЙ ЕКОНОМІКО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ТРАНСПОРТУ

Кафедра «Тяговий рухомий склад залізниць»

**Ю.М. Черних**

## ОСНОВИ ТЕОРІЇ НАДІЙНОСТІ ЕЛЕКТРОРУХОМОГО СКЛАДУ

Конспект лекцій для студентів напрямку підготовки 6.050702  
«Електромеханіка» всіх форм навчання

**Частина 2**

Київ 2015

УДК 629.423.42-192

**Черних Ю.М.**

**Конспект лекцій з дисципліни «Основи теорії надійності електрорухомого складу» – Частина 2./ Черних Ю.М. – К.: ДЕТУТ, 2015. – 47с.**

Викладенні основні визначення і показники надійності, поняття про надійність і стан локомотива, кількісні показники властивостей локомотива, принципи розрахунку надійності та методика визначення рівня надійності. Вказані чинники, що враховуються при визначенні капітальних вкладень і експлуатаційних витрат, залежність витрат від рівня надійності локомотива. Розглянуті методи підвищення надійності електрорухомого складу при проектуванні, виробництві та експлуатації. Наведені показники надійності невідновних деталей, узагальнений закон надійності невідновних виробів у диференціальній та інтегральній формі.

Конспект лекцій розглянутий та затверджений на засіданні кафедри ТРСЗ (протокол №5 від 02.03.2015 року) та на засіданні методичної комісії факультету ІРСЗТ (протокол № 7 від 24.03.2015 року).

Призначений для студентів напряму підготовки 6.050702 «Електромеханіка» всіх форм навчання та відповідають робочій програмі курсу «Основи теорії надійності електрорухомого складу»

Укладач:

*Ю.М. Черних*, доцент

Рецензенти:

*Дубравін Ю.Ф.*, к.т.н., доцент, доцент кафедри ТРСЗ

*Гончаров О.М.*, к.т.н., доцент, Начальник відділення організації наукової діяльності ДНДЦ УЗ

У роботі над конспектом лекцій брали участь  
студенти-дипломники: *А.Є. Пилипенко*,  
*Д.Ю. Русавський*

## Зміст

Вступ	4
<i>Лекція 6.</i> Методи розрахунку надійності невідновних вузлів при раптових відмовах	6
6.1. Періоди зміни інтенсивності відмов невідновних вузлів.	6
6.2. Визначення показників надійності в період нормальної експлуатації.	7
6.3. Визначення показників надійності невідновних вузлів в період припрацювання.	9
<i>Лекція 7.</i> Надійність вузлів, що відновляються.	12
7.1. Види станів вузлів і локомотива в цілому.	12
7.2. Основні показники надійності вузлів, що відновляються.	12
7.3. Прогнозування впливу збільшення міжремонтних пробігів на надійність електровозів.	15
7.4. Визначення показників надійності, залежних від процесу відновлення.	15
<i>Лекція 8.</i> Оцінка показників надійності за даними експлуатації.	19
8.1. Вимоги, що висуваються до системи збору і обробки інформації про надійність локомотива.	19
8.2. Використання результатів обробки інформації про надійність.	19
8.3. Порядок і мета збору інформації.	20
8.4. Кодування інформації про відмови.	21
<i>Лекція 9.</i> Організація випробувань на надійність.	24
9.1. Види випробувань на надійність.	24
9.2. Етапи випробувань локомотивів у процесі експлуатації.	24
9.3. Форсовані випробування.	25
9.4. Результати стендових випробувань рам візків і тягових двигунів.	26
<i>Лекція 10.</i> Статистичне визначення показників надійності локомотивів.	29
10.1. Графік наростання зносу деталей у функції пробігу локомотива.	30
10.2. Схема «накопичення ушкоджень».	32
10.3. Визначення показників надійності у функції пробігу і черговість цих розрахунків.	34
База даних тестів для проведення діагностики рівня підготовки студентів	37
<i>Література</i>	45

## Вступ

Однією з найважливіших проблем локомотивного господарства залізничного транспорту країни є необхідність забезпечення надійності роботи локомотивного парку. Ця проблема загострюється по мірі ускладнення конструкції локомотивів, автоматизації процесів перетворення енергії, управління, регулювання за допомогою сучасних електричних і електронних систем, підвищення інтенсивності режимів їх використання.

У комплексній програмі по модернізації парку тепловозів і електровозів та створенні тягового рухомого складу нового покоління поряд з проблемами підвищення тягово-енергетичних, швидкісних характеристик і економічності локомотивів проблема надійності посідає одне з чільних місць. Тому інженери-локомотивники повинні володіти знаннями та навичками в області аналізу стану та підвищення надійності тягового рухомого складу при його створенні, експлуатації, технічному обслуговуванні та ремонті.

Успішне розв'язання задач, зв'язаних із підвищенням ефективності виробництва, досягається, у першу чергу, за рахунок підвищення надійності технічних засобів, що експлуатуються.

Ритмічна та стійка робота залізничного транспорту багато в чому залежить від надійності рухомого складу та окремих його вузлів.

Надійність електровозів і електропоїздів є однією із найважливіших умов, які визначають ритмічну та усталену роботу електрифікованих залізниць.

Конспект лекцій має за мету допомогти студентові засвоїти вихідні положення теорії надійності та одержати перші навички практичних розрахунків показників надійності, стосовно до електрорухомого складу.

Пристаюючи до вивчення дисципліни студент повинен відновити в пам'яті основні положення теорії ймовірності: випадкова подія, ймовірність події, статистична ймовірність, додавання та множення ймовірностей, неспільні та незалежні події, випадкова величина, розподіл випадкової величини, середнє значення та математичне чекання випадкової величини, дисперсія розподілу, щільність розподілу, експонентний і нормальний закон розподілу, теореми про числові характеристики випадкових величин, випадкова функція.

Конспект лекції допоможе, насамперед, засвоїти основні терміни та визначення теорії надійності: працездатний і справний стани, відмови та ушкодження, раптове та поступове відмови, відновлюванні чи не відновлюванні, вироби які підлягають ремонту чи не підлягають, граничний стан, напрацювання та тривалість експлуатації, ресурс, термін служби, безвідмовність, ремонтоздатність, збереження, надійність. Важливо засвоїти зв'язок між ймовірністю та статичною ймовірністю (частоти) події, середнім значенням і математичним сподіванням випадкової величини, потрібно, також одержати основні уявлення про підвищення надійності шляхом резервування. Насамперед, мають на увазі, структурне резервування. Необхідно засвоїти поняття: основний і резервний елемент, навантажений резерв, кратність резерву, дублювання, загальне резервування тощо.

Після цього студент може перейти до вивчення способів розрахунку одиничних і комплексних показників надійності. Студентові пропонується із безлічі використовуваних на практиці показників надійності розрахувати тільки три: ймовірність безвідмовної роботи, середнє напрацювання до відмови та інтенсивність відмови. Ці показники, звичайно розраховуються для невідновлюваних об'єктів, а для відновлюваних – тільки стосовно до періоду експлуатації до першого відмовлення. Проте, ці показники досить широко використовуються для оцінки безвідмовності як на стадії проектування й іспиту об'єктів, так і при їхній експлуатації. Вміння розрахувати зазначені показники дає студентові ключ до розрахунку інших одиничних і комплексних показників надійності та формує розуміння основних закономірностей зміни справності та працездатності електрорухомого складу.

Весь конспект лекцій поділений на окремі теми, які відбивають раціональну послідовність засвоєння матеріалу курсу. Кожна лекція завершується контрольними питаннями, що має за мету допомогти студентові краще осмислювати тему, яку вивчає, і підготуватися до екзамену з курсу.

## ЛЕКЦІЯ 6

**Тема:** Методи розрахунку надійності невідновних вузлів при раптових відмовах.

**Мета:** Вивчення періодів зміни інтенсивності відмов невідновних вузлів, визначення показників надійності в період нормальної експлуатації та в період припрацювання.

**План лекції:** Періоди зміни інтенсивності відмов невідновних вузлів. Визначення показників надійності в період нормальної експлуатації. Визначення показників надійності невідновних вузлів в період припрацювання.

### 6.1. Періоди зміни інтенсивності відмов невідновних вузлів.

Протягом всього часу роботи елементів інтенсивність їх відмов має різне значення. Зміни інтенсивності раптових відмов можна розбити по часу на три характерних ділянки:

перша тривалістю від початку відліку часу до того моменту, коли інтенсивність відмов стає майже постійною;

друга відповідає інтервалу часу, протягом якого інтенсивність відмов зберігається приблизно постійною;

третя починається в той момент, коли інтенсивність відмов різко зростає.

Для більшої наочності графік  $\lambda(t)$  із зазначенням примірних меж цих ділянок подано на рис. 6.1. Період *I* характерний тим, що інтенсивність відмов різко знижується приблизно до постійного значення наприкінці цього періоду. Відбувається припрацювання елементів, в процесі якого виникають відмови елементів, що мають дефекти, допущені при виготовленні та ремонті. Поступово число таких елементів убуває. Для цього періоду характерне переважання припрацювання раптових відмов, через що зазвичай цей період називають *періодом припрацювання*.

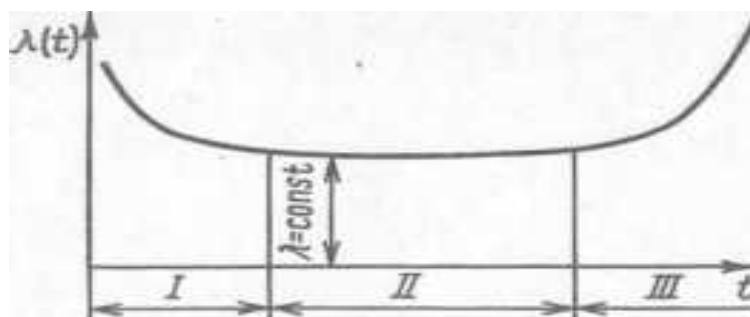


Рис. 6.1. Графік інтенсивності відмов:

*I* – період припрацювання;

*II* – період нормальної експлуатації;

*III* – період старіння (зносу).

У періоді II практично значення  $\lambda(t) = \text{const}$ . Це вказує на наявність тільки раптових відмов, що виявляються під час нормальної експлуатації. Тому цей період називають періодом нормальної експлуатації.

У періоді III переважають поступові відмови, які є наслідком процесів старіння та зносу матеріалу, при яких елементи або вузли втрачають свою працездатність. Цей період називають періодом старіння (зносу).

У деяких вузлів і деталей електрорухомого складу, як, наприклад, тиристорів, діодів і т.п., період старіння настає при досить великих пробігах. Тому у таких вузлів III період на графіку  $\lambda(t)$  практично не спостерігається і їх надійність оцінюють тривалістю I і II періодів.

## 6.2. Визначення показників надійності в період нормальної експлуатації

Розглянемо спочатку період нормальної експлуатації і визначимо для нього залежності показників надійності від часу, використовуючи узагальнений закон надійності. Оскільки в період нормальної експлуатації інтенсивність відмов постійна, тобто  $\lambda(t) = \lambda$ , то

$$P(t) = e^{-\int_0^t \lambda(t) dt} = e^{-\lambda t} \quad (6.1)$$

Отже, протягом періоду нормальної експлуатації ймовірність безвідмовної роботи, або, що те саме, надійність невідновлювальних елементів убуває за експонентним законом (рис. 6.2, а), показником якого є добуток значень інтенсивності відмов і часу роботи. Для цього періоду частота відмов:

$$f(t) = -\frac{dP(t)}{dt} = -\frac{d}{dt} e^{-\lambda t} = \lambda e^{-\lambda t}$$

та інтенсивність відмов:

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{P(t)} = \frac{\lambda e^{-\lambda t}}{e^{-\lambda t}} = \lambda = \text{const}$$

Припустимо, відомо значення  $\lambda$  на інтервалі часу  $[t_1, t_2]$  і потрібно знайти середній час безвідмовної роботи цих елементів (див. рис. 6.2, а). Оскільки по осі ординат зображені значення  $P(t)$ , а по осі абсцис час  $t$ , то середній час безвідмовної роботи в інтервалі  $[t_1, t_2]$  графічно визначається заштрихованою площею, а аналітично можна виразити так:

$$T = \int_{t_1}^{t_2} P(t)dt \quad (6.2)$$

Підставляючи сюди значення  $P(t)$  з виразу (6.1) й інтегруючи, отримаємо середній час безвідмовної роботи на даному інтервалі:

$$T = \int_{t_1}^{t_2} e^{-\lambda t} dt = \frac{1}{\lambda} \int_{t_1}^{t_2} e^{-\lambda t} = \frac{1}{\lambda} (e^{-\lambda t_2} - e^{-\lambda t_1})$$

Для визначення середнього часу безвідмовної роботи в інтервалі часу  $(0, t_1)$ , потрібно обчислити інтеграл:

$$T = \int_0^t e^{-\lambda t} dt = -\frac{1}{\lambda} (1 - e^{-\lambda t_1})$$

тобто площу, обмежену заданим інтервалом часу і кривою  $P(t)$ .

При  $t_1=0$  ніякого напрацювання до відмови не буде, адже елементи не працюють:  $P(t=0)=1$ . Оскільки розглядаємо показники надійності невідновлювальних елементів, то середній час їх безвідмовної роботи  $T_0$  є напрацювання до відмови. Скориставшись умовою (6.1), знайдемо зв'язок між  $T_0$  і  $\lambda$  для періоду нормальної експлуатації:

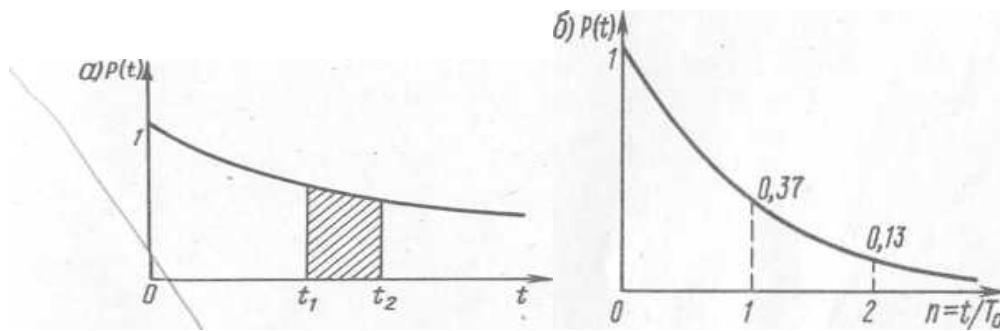
$$T_0 = \int_0^{\infty} P(t)dt = \int_0^{\infty} e^{-\lambda t} dt = -\frac{1}{\lambda} (e^{-\infty} - e^{-0}) = \frac{1}{\lambda}$$

Підставляючи значення  $T_0 = 1/\lambda$  в рівняння (6.1), отримаємо інший запис ймовірності безвідмовної роботи, або, що те саме, надійності невідновлювальних елементів в період їх нормальної експлуатації:

$$P(t) = e^{-\lambda t} = E^{-\frac{t}{T_0}} \quad (6.3)$$

Це співвідношення також широко використовують у практиці розрахунку надійності. Аналіз залежності (6.3) дозволяє попередити помилкове судження, що полягає в тому, що нібито кожен з невідновлювальних елементів безвідмовно пропрацює часом не менше напрацювання на відмову  $T_0$ . Визначимо з цією метою ймовірність безвідмовної роботи елементів за умови, що час їх роботи дорівнює  $T_0$ , тобто тривалості напрацювання до відмови. Поклавши, згідно з цією умовою, у виразі (6.3) час  $t = T_0$ , отримаємо  $P(t = T_0) = e^{-1} = 0,37$ .





**Рис. 6.2. Графік зміни ймовірності безвідмовної роботи від  $t$  при раптових відмовах (а), те саме в залежності від  $n = t/T_0$  (б)**

Значить, ймовірно, тільки 37% елементів від їх початкового числа залишаться працездатними після часу  $T_0$ . Решта 63% відмовлять до моменту  $T_0$ .

Дійсно,  $Q(t = T_0) = 1 - P(t = T_0) = 0,63$ . Тому було б неправильним призначати показники надійності невідновлювальних елементів і, зокрема, час їх нормальної експлуатації рівним напрацюванню до відмови. Майже 2/3 загального числа елементів відмовлять раніше цього часу. Цікаво також знати, яке число елементів залишиться справним, якщо допустити подвоєний термін їх роботи, тобто вважати у виразі (6.3) час  $t = 2T_0$ . Як і раніше на підставі рівняння (6.1), знайдемо, що  $P(2T_0) = 0,13$ , тобто, 13% елементів, мабуть, пропрацюють безвідмовно подвоєний час, рівний  $2T_0$ . Аналогічно знайдемо, що при  $t = 3T_0$  ймовірність  $P(3T_0) = 0,05$ . Отже, 5% елементів, мабуть, безвідмовно пропрацюють час, що дорівнює  $3T_0$ . Графік залежності  $P(t)$  для різних значень  $t = nT_0$  поданий на рис. 6.2, б.

При призначенні показників надійності елементів і вузлів локомотива слід виходити не з середнього часу їх роботи, а відповідальності даних елементів у забезпеченні безпеки руху і дати техніко-економічне обґрунтування цим показникам.

### **6.3. Визначення показників надійності невідновних вузлів у період припрацювання**

Досі ми розглядали період нормальної експлуатації, протягом якого  $\lambda = \text{const}$ . У період припрацювання інтенсивність відмов можна представити, як показано на рис. 6.3, у вигляді суми  $\lambda(t) = \lambda + \lambda_{\text{пр}}(t)$ . До кінця цього періоду, тобто при  $t = t_{\text{пр}}$ , інтенсивність відмов  $\lambda(t) = \lambda = \text{const}$ . Інтегруючи рівняння узагальненого закону надійності за умови  $\lambda(t) = \lambda + \lambda_{\text{пр}}(t)$ , знайдемо, що в період припрацювання ймовірність безвідмовної роботи описується добутком двох показових функцій:

$$P(t) = e^{-\int_0^t \lambda_{\text{пр}}(t) dt} = e^{-\lambda t} \quad (6.4)$$

Перша з цих функцій характеризує вплив інтенсивності припрацьованих відмов, друга – відмов у період нормальної експлуатації.

Залежно від типу, призначення, якості виготовлення і ремонту, а також навантажувальних умов і режимів експлуатації залежність інтенсивності відмов від часу  $\lambda(t)$  може мати різноманітний характер. Уявімо цю залежність у загальному вигляді

$$\lambda(t) = \lambda + \lambda_1 t^n \quad (6.5)$$

де  $\lambda$  – інтенсивність відмов у період нормальної експлуатації;  
 $n$  та  $\lambda_1$  – параметри інтенсивності відмов.

Підставивши рівняння (6.5) в ліву частину рівняння узагальненого закону надійності, отримуємо:

$$-(\lambda + \lambda_1 t^n) dt = \frac{dP(t)}{dt}$$

Проінтегрувавши за часом в межах від 0 до  $t$ , знайдемо, що:

$$-\left(\lambda t + \frac{\lambda_1}{n+1} t^{n+1}\right) = \ln P(t)$$

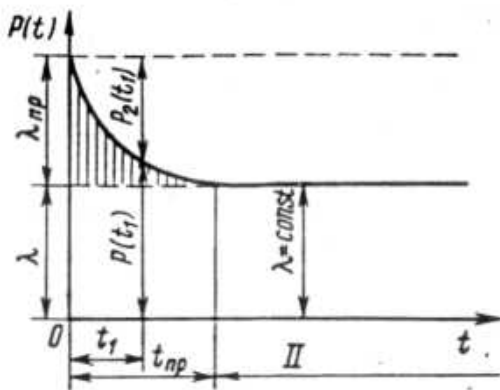


Рис. 6.3

Рис. 6.3. Графік зміни ймовірності безвідмовної роботи в період припрацювання

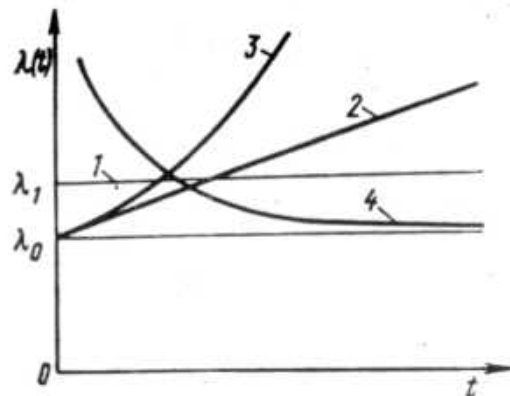


Рис. 6.4

Рис. 6.4. Графік зміни інтенсивності відмов  $\lambda(t)$  залежно від показників ступеня  $n$

Потенціюючи, остаточно отримаємо:

$$P(t) = e^{-\lambda t} e^{-\frac{\lambda_1}{n+1} t^{n+1}} \quad (6.6)$$

З рівняння (6.6) видно, що ймовірність безвідмовної роботи визначається як добуток (одночасна наявність) ймовірності безвідмовної роботи при постійній інтенсивності  $\lambda$  в період нормальної експлуатації та ймовірності безвідмовної роботи зі змінною у часі інтенсивністю [другий множник правої частини рівняння (6.6)].

Зауважимо, що другий співмножник у правій частині цього рівняння представляє розподіл Вейбулла. Вигляд цього розподілу залежить за інших

рівних умов від значення показника  $n$ . На підставі рівняння (6.6) складена табл. 6.1 залежностей  $\lambda(t)$  при деяких найбільш характерних значеннях  $n$  (рис. 6.6).

Використовуючи в кожній задачі конкретні залежності  $\lambda(t)$ , розраховують показники надійності невідновлювальних елементів при раптових відмовах.

Вибір значення показника ступеня  $n$  виробляють при цьому виходячи з трьох можливостей: результатів спеціальних випробувань даних елементів на надійність (так званих тренувальних випробувань), відомостей, накопичених в експлуатації про відмови цих елементів при різних режимах роботи, та довідкових матеріалів про інтенсивність відмов елементів (якщо ці матеріали є).

*Таблиця 6.1.*

Значення $n$ в рівнянні (6.5)	Залежність	Крива на рис 6.6
0	$\lambda = \lambda_0 + \lambda_1$	1
1	$\lambda(t) = \lambda_0 + \lambda_1 t$	2
Більше 1	$\lambda(t) = \lambda_0 + \lambda_1 t^{n>1}$	3
Менше 0	$\lambda(t) = \lambda_0 + \lambda_1 t^{\frac{1}{t^n}}$	4

### **Контрольні запитання**

1. На які ділянки по часу можна розбити зміни інтенсивності раптових відмов невідновних вузлів?
2. Чим характеризується період припрацювання невідновних вузлів?
3. Чим характеризується період нормальної експлуатації невідновних вузлів?
4. Чим характеризується період старіння невідновних вузлів?
5. Який зв'язок між середнім часом безвідмовної роботи невідновних вузлів і інтенсивністю відмов в умові нормальної експлуатації?
6. Який зв'язок між ймовірністю безвідмовної роботи та інтенсивністю відмов в період пропрацювання?

### **Література**

[3],[6],[7], [10], [12], [14].

## ЛЕКЦІЯ 7

### **Тема: Надійність вузлів, що відновляються**

**Мета:** Вивчення видів станів локомотива та основних показників надійності вузлів, що відновляються. Визначення показників надійності, залежних від процесу відновлення.

**План лекції:** Види станів вузлів і локомотива в цілому. Основні показники надійності вузлів, що відновляються. Прогнозування впливу збільшення міжремонтних пробігів на надійність електровозів. Визначення показників надійності, залежних від процесу відновлення.

### **7.1. Види станів вузлів і локомотива в цілому**

На відміну від невідновлювальних вузлів, які можуть перебувати лише у двох станах: працездатному (справному) і непрацездатному (несправному), відновлювані вузли, як і локомотив в цілому, мають значно більше число станів; крім двох зазначених вище, вони можуть перебувати в плановому і неплановому ремонтах, в очікуванні ремонту, в ремонті, транспортуванні до місця ремонту, транспортуванні після ремонту до місця приписки та інше. Невідновлювальні вузли експлуатуються тільки до настання першої відмови, після чого замінюються новими, разом з тим відновлювані вузли можуть мати кілька відмов і наступних відновлень. Тому такі показники надійності, як, наприклад, частота відмов, напрацювання до відмови, втрачають сенс у застосуванні до відновлювальних вузлів. Для відновлювального вузла характерним є час між двома сусідніми відмовами, тоді як для невідновлювального вузла час справної роботи від початку експлуатації до першого і єдиної можливої відмови.

### **7.2. Основні показники надійності вузлів, що відновляються**

Основним показником надійності відновлювальних вузлів служить ймовірність  $P(t)$  їх безвідмовної роботи за час  $t$ . Поняття ймовірності безвідмовної роботи відновлювального вузла не відрізняється за своїм визначенням від ймовірності безвідмовної роботи невідновлювального вузла.

Для характеристики надійності відновлювальних вузлів вводять, крім ймовірності безвідмовної роботи  $P(t)$ , такі показники, як середнє напрацювання на відмову вузлів даного типу  $T_0$ , параметр потоку відмов  $\omega(t)$ , ймовірність відновлення за заданий час  $v(\tau)$ , швидкість (частота) відновлення  $f_v(\tau)$ , інтенсивність відновлення  $\mu(\tau)$ , інтенсивність переходу з одного можливого стану в інший. Ремонтопридатність вузлів оцінюють за вартістю їх відновлення, використовуючи такі показники, як середня і питома трудомісткості, вимірювані в грошових витратах і людино-годинах за видами ремонту і

технічного обслуговування. Аналогічні показники використовують і для електровоза в цілому, розглядаючи його як систему, що складається з ряду відновлюваних вузлів.

Поширеним показником надійності відновлювальних вузлів, крім ймовірності їх безвідмовної роботи, є середнє напрацювання на відмову. Її визначають не по першій і єдиній відмові, як при розрахунку напрацювання до відмови невідновлювальних вузлів, а на підставі усієї кількості відмов відновлювальних вузлів за час, що розглядається. Значення напрацювання на відмову визначають статистичним шляхом і вигляді:

$$T_0 = \frac{\sum_1^{N_0} \sum_1^{m_k} t_{ik}}{\sum_1^{N_0} m_k} \quad (7.1)$$

де  $t_{ik}$  – час напрацювання між сусідніми відмовами  $k$ -го вузла;  $m_k$  – число відмов  $k$ -го вузла ( $1 \leq k \leq N_0$ );  $N_0$  – число вузлів, що знаходяться під наглядом.

При найпростішому потоці відмов середнє напрацювання на відмову являє собою середній час безвідмовної роботи між сусідніми відмовами.

Параметром потоку відмов відновлювального вузла називають відношення швидкості настання відмов цього вузла до загального числа таких вузлів:

$$\omega(t) = \frac{dm_k}{dt} \frac{1}{N_0} \quad (7.2)$$

де  $\omega(t)$  – параметр потоку відмов вузлів даного типу;  $dm_k$  – загальне число відмов цих вузлів за час їх роботи  $dt$ , включаючи як первинні їхні відмови, так і які виникли після відновлення або заміни вузлів що відмовили;  $N_0$  – число вузлів даного типу, які в експлуатації залишається постійним внаслідок заміни тих, що відмовили відремонтованими або новими.

Середнє значення параметра потоку відмов визначають за час  $\Delta t$  роботи вузла статистичним шляхом у вигляді:

$$\omega_{cp}(t) = \frac{\sum_1^{N_0} m_k(t + \Delta t) - \sum_1^{N_0} m_k(t)}{\Delta t N_0} = \frac{\Delta[\sum_1^{N_0} m_k(t)]}{\Delta t} \frac{1}{N_0} \quad (7.2, a)$$

де  $m_k(t + \Delta t)$  – число відмов  $k$ -го вузла до кінця інтервалу спостереження  $t + \Delta t$ ;  $m_k(t)$  – число відмов цього самого вузла на початок інтервалу спостереження (момент  $t$ ).

Як видно з формули ( 7.2, а) при простому потоці відмов параметр із  $\omega(t)$  являє собою середню частоту відмов відновлювального вузла.

Аналогічно виразу (7.2) можна представити параметр потоку відмов (середню частоту відмов) електровозів, якщо кожен з них розглядати в цілому як систему, що складається з відновлювальних вузлів:

$$\Omega(t) = \frac{\Delta m_3}{\Delta t} \frac{1}{N_3} \quad (7.3)$$

де  $\Delta m_3 = \sum_1^{N_3} m_i$  – сумарна кількість відмов електровозів всього експлуатаційного парку за час  $\Delta t$ ;  $N_3$ , – чисельність експлуатаційного парку електровозів ( залишається постійною внаслідок заміни тих що відмовили, з них); при цьому сезонність перевезень враховують відповідною зміною  $N_3$  протягом розглянутого часу.

При розрахунках надійності відновлювальних вузлів і електровоза в цілому потік відмов зазвичай вважають найпростішим. Це допущення виправдовується певною мірою тією обставиною, що відновлювальні вузли, а тим більше електровоз в цілому, складаються з великого числа елементів, параметри потоку відмови яких невеликі, всі вони приблизно одного порядку і кожен з них має незначний вплив на сумарний потік. З теорії надійності відомо, що при підсумовуванні (взаємне накладення) великої кількості найпростіших потоків утворюється також найпростіший потік. Це важливо для практичних розрахунків надійності, оскільки при цьому параметр потоку відмов системи дорівнює сумі потоків відмов відновлювальних вузлів.

Розглядаючи електровоз як систему, що складається з  $N$  відновлювальних вузлів різного призначення, уявімо ймовірність його безвідмовної роботи у вигляді:

$$P(t) = e^{-\omega_1 t} e^{-\omega_2 t} \dots e^{-\omega_N t} = e^{-t} \sum_1^N \omega_i = e^{-\Omega t} \quad (7.4)$$

Звідси параметр потоку відмов електровоза:

$$\Omega = \omega_1 + \omega_2 + \dots + \omega_N = \sum_1^N \omega_i \quad (7.5)$$

Тому для визначення ймовірності безвідмовної роботи електровоза як відновлювальної системи можна користуватися (після періоду припрацювання) експоненціальним законом виду:

$$P(t) = e^{-\Omega t} \quad (7.6)$$

де  $\Omega$  – параметр потоку відмов електровоза в цілому як системи, який визначається згідно з виразом (7.5).

### 7.3. Прогнозування впливу збільшення міжремонтних пробігів на надійність електровозів

Використовуючи залежності (7.6), можна не тільки кількісно оцінити надійність електровозів, а й вирішувати завдання з прогнозування впливу збільшення міжремонтних пробігів на їхню надійність. Так, якщо ймовірність безвідмовної роботи електровоза в момент  $t_1$  позначимо через  $P(t_1)$ , а до моменту  $t_2 > t_1$  – через  $P(t_2)$ , то зміна ймовірності безвідмовної роботи електровозів за інтервал  $(t_2, t_1)$  складе  $P(t_2, t_1) = P(t_2) / P(t_1)$ . Звідси шукана ймовірність  $P(t_2)$  до кінця передбачуваного часу експлуатації  $t_2$

$$P(t_2) = P(t_2, t_1)P(t_1) \quad (7.7)$$

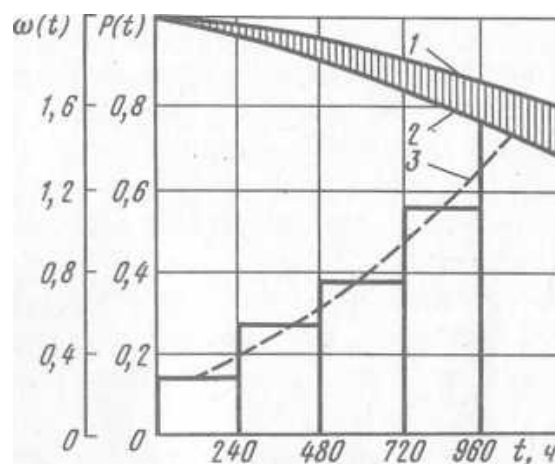


Рис. 7.1. Графік ймовірності безвідмовної роботи 160 електровозів ВЛ8 (за даними локомотивного депо за пробіг між поточними ремонтами ПР-1(1200 г)): 1 – без обліку відмов з вини локомотивних бригад; 2 – з урахуванням цих відмов; 3 – параметр потоку відмов

### 7.4. Визначення показників надійності, залежних від процесу відновлення

Процес відновлення деталей, вузлів і електровоза в цілому, що ремонтується, полягає у попередженні і усуненні їх несправностей і відмов.

Час відновлення залежить від багатьох факторів, головними з яких є характер відмови, яка виникла, пристосованість вузла до виявлення відмови, наявність засобів технічної діагностики, ступінь кваліфікації обслуговуючого і ремонтного персоналу. Тому процес відновлення є за своєю природою ймовірнісним.

Важливою характеристикою надійності, яка залежить від процесу відновлення, є ймовірність відновлення справного стану деталі, вузла або локомотива в цілому за заданий час. Іншими словами, це ймовірність того, що час виконання даної операції при технічному обслуговуванні або ремонті не перевершить нормативного  $v\{\tau \leq \tau_n\} = v(\tau)$ , де  $\tau_n$  – нормативний час виконання даної операції.

Час відновлення прийнято позначати через  $\tau$ , щоб підкреслити його незалежність від часу роботи  $t$ .

Для більш повної характеристики процесу відновлення використовують поняття *частоти відновлення*, яку записують у вигляді:

$$f_B(\tau) = \frac{dv(\tau)}{d\tau}$$

Іншими словами, частота відновлення є швидкість виконання ремонту даного обсягу. Середнє значення цієї швидкості визначають по накопичених статистичних даних у вигляді:

$$f_{B\text{ ср}}(\tau) = \frac{\Delta m_p(\tau)}{\Delta\tau} \frac{1}{N_{op}}$$

де  $\Delta m_p(\tau)$  – число виконаних ремонтів даного обсягу за час  $\Delta\tau$ ;  $N_{op}$  – число деталей (вузлів), що підлягають ремонту до моменту початку його виконання.

Оскільки, частота виконання ремонту визначає тільки середню швидкість його виконання, то для оцінки зміни її в процесі тривалості ремонту вводять ще поняття інтенсивності ремонту (відновлення). Під інтенсивністю ремонту розуміють кількість відремонтованих вузлів (деталей) в одиницю часу, віднесене до числа таких же вузлів (деталей), що залишилися ще не відремонтованими до даного моменту:

$$\mu(\tau) = \frac{dm_p(\tau)}{d\tau} \frac{1}{N_{op} - m_p(\tau)} \quad (7.14)$$

Оскільки ймовірність відновлення  $v(\tau) = \frac{m_p(\tau)}{N_{op}}$ , то вираз подамо у вигляді:

$$\mu(\tau) = \frac{dv(\tau)}{d\tau} \frac{1}{1 - v(\tau)} \quad (7.15)$$

Знайдемо на підставі рівняння (7.15) залежність імовірності відновлення від інтенсивності цього процесу. Розділивши для цього змінні в рівнянні (7.15) і, проінтегрувавши за часом в межах  $[0, \tau]$ , отримаємо  $\int_0^\tau \mu(\tau) d\tau = -\ln[1 - v(\tau)]$ . Звідси:

$$v(\tau) = 1 - e^{-\int_0^\tau \mu(\tau) d\tau} \quad (7.16)$$

Залежність (7.16), що характеризує зв'язок між імовірністю відновлення в заданий час та інтенсивністю відновлення, являє узагальнений закон відновлення ( ремонту). Ця залежність дозволяє визначити ймовірність виконання операцій з



огляду, технічного обслуговування та ремонту електрорухомого складу для будь-яких обсягів цих операцій.

Щоб врахувати процес багаторазового обслуговування і ремонту, тобто повторюваність їх при прийнятій в експлуатації системі планово-попереджувальних ремонтів і технічних обслуговувань, вводять поняття *параметр потоку відновлення* (ремонтів)  $\omega_B(\tau)$ , аналогічне поняттю «частота виконання ремонтів», з тією лише різницею, що враховують можливість виконання неодноразового ремонту деталей ( вузлів) даного типу за розглянутий проміжок часу.

Параметр потоку відновлення дорівнює інтенсивності відновлення тільки тоді, коли моменти закінчення ремонтних операцій або операцій з технічного обслуговування утворюють найпростіший потік подій. Аналіз роботи електровозних депо свідчить, що в першому наближенні такий потік подій виникає при виконанні непланових ремонтів, викликаних раптовими відмовами електровозів на лінії. Розглянемо характеристики відновлення електровозів при такому простому потоці подій.

При найпростішому потоці відновлень інтенсивність його  $\mu(\tau) = \mu = \text{const}$ .

За цієї умови на підставі рівняння (7.16) ймовірність відновлення за заданий час  $\tau$ :

$$v(\tau) = 1 - e^{-\mu\tau} \quad (7.17)$$

і швидкість відновлення:

$$f_B = \frac{dv(\tau)}{d\tau} = \mu e^{-\mu\tau}$$

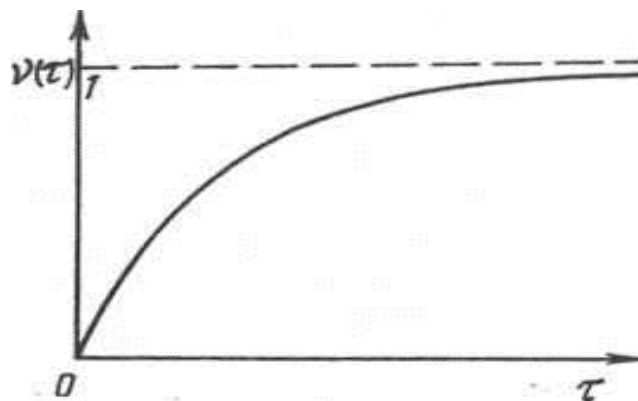
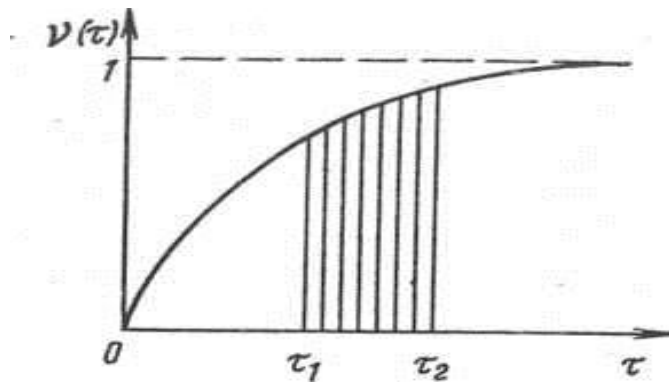


Рис. 7.2. Графік ймовірності відновлення працездатного стану за час  $\tau$



**Рис. 7.3. Графік ймовірності відновлення працездатного стану за інтервал часу  $\tau_1 \tau_2$**

У момент  $\tau = 0$  ймовірність відновлення  $v(0) = 0$ ; при  $\tau = \infty$  маємо  $v(\infty) = 1$ . Графік залежності (7.17) представлений на рис. 7.2. Середній час відновлення:

$$T_B = \int_0^{\infty} \tau \mu e^{-\mu\tau} d\tau = -\tau e^{-\mu\tau} \Big|_0^{\infty} + \frac{1}{\mu} \int_0^{\infty} e^{-\mu\tau} d\tau \quad (7.18)$$

Доданок в правій частині рівняння (7.18) при верхній межі убуває швидше, ніж  $\tau \rightarrow \infty$ , і тому дорівнює нулю. Таким чином,

$$T_B = 1 / \mu. \quad (7.19)$$

Підставивши значення  $T_B$  з формули (7.19) у формулу (7.17), отримаємо інший запис імовірності відновлення:

$$v(\tau) = 1 - e^{-\tau/T_B} \quad (7.20)$$

### **Контрольні запитання**

1. Як визначається середнє напруцювання на відмову відновлювальних вузлів?
2. Як визначається параметр потоку відмов відновлювальних вузлів?
3. Як визначається середня частота відмов відновлювальних вузлів?
4. Як визначається ймовірність безвідмовної роботи відновлювальних вузлів?
5. Що таке частота відновлювання та як вона визначається?
6. Що характеризує узагальнений закон відновлення?

### **Література**

[1],[2],[3],[4], [5], [8],[10], [17].

## ЛЕКЦІЯ 8

### **Тема: Оцінка показників надійності за даними експлуатації**

**Мета:** Вивчення вимог, що висуваються до системи збору і обробки інформації про надійність локомотиву. Ознайомлення з кодуванням, порядком і метою збору інформації про відмови.

**План лекції:** Вимоги, що висуваються до системи збору і обробки інформації про надійність локомотиву. Використання результатів обробки інформації про надійність. Порядок і мета збору інформації. Кодування інформації про відмови.

#### **8.1. Вимоги, що висуваються до системи збору і обробки інформації про надійність локомотива**

Основні вимоги, пропоновані до системи збору та обробки інформації про надійність виробів, що серійно випускаються, сформульовані в ГОСТ 16468-79. У додатку до локомотивного господарства ці основні вимоги, що визначають структуру системи збору та обліку інформації в умовах експлуатації локомотивів, полягають у такому:

дані про надійність повинні бути об'єктивними і представницькими, що дозволяють оцінювати їх точність; порівнянними для однотипних локомотивів, що експлуатуються на різних ділянках обігу та приписаних до різних депо; передбачати можливість централізованої обробки одержуваної інформації за допомогою засобів обчислювальної техніки.

Форми збору та результати обробки інформації повинні забезпечувати ефективність зворотного зв'язку депо, служб та управлінь УЗ з локомотивобудівельними заводами. Результати обробки інформації про надійність повинні сприяти проведенню проектними організаціями конструктивних удосконалень вузлів і деталей, а також змін електричних схем локомотивів для підвищення їх надійності; локомотивобудівним заводам – удосконалювати технологію виготовлення, складання, контролю та випробувань, спрямовану на забезпечення необхідного рівня надійності і його підвищення у знову випущених локомотивів; депо і ремонтним заводам – здійснювати організаційно-технічні заходи, спрямовані на підвищення надійності та якості ремонту та технічного обслуговування локомотивів, зниження витрат на їхнє виконання та підвищення ефективності використання локомотивів.

#### **8.2. Використання результатів обробки інформації про надійність**

Збір і облік інформації здійснюється лабораторіями і групами надійності депо для визначення фактичних показників надійності деталей і вузлів локомотивів та елементів їхнього обладнання, вивчення закономірностей виникнення відмов і розробки методів їх попередження, дослідження процесу

знос деталей і вузлів з метою розробки заходів щодо підвищення їх працездатності, встановлення раціональних термінів ремонтів локомотивів. У депо, де проводиться збір інформації про надійність локомотивів, з приписного парку виділяють досвідчені і контрольні локомотиви. Локомотиви, що пройшли модернізацію з метою підвищення надійності, вважаються дослідної групою. За даними про відмови цієї групи розраховують показники їх надійності і порівнюють з аналогічними показниками локомотивів контрольної групи, яких не торкнулося дане удосконалення. Число дослідних і контрольних локомотивів встановлюють на підставі вимог про довірчі інтервали даних по надійності з урахуванням загальної чисельності приписного парку депо. За експлуатацією та ремонтом дослідних і контрольних локомотивів здійснюють ретельне спостереження з реєстрацією відмов деталей, вузлів і агрегатів, виконаних ремонтів і технічних обслуговувань, роботи локомотива протягом даного періоду, витрат електроенергії.

Показники надійності розраховують на підставі інформації про відмови локомотивів, що міститься в картці відмов, яка є основним накопичувачем первинних статистичних даних про відмови. Інформація, крім карток відмов, фіксується в спеціальних формах обліку: картах планових ремонтів, картах обліку зносів. На кожен відмову обладнання локомотива заповнюють окрему картку. На кожен досвідчений і контрольний локомотив ведуть окремі карти обліку планових ремонтів. У карті обліку планових ремонтів фіксують вид і дату ремонту, його тривалість, трудомісткість, витрати на даний вид ремонту, пробіг від початку експлуатації і т.п.

Показники надійності, розраховані за даними про відмови дослідних локомотивів, що експлуатуються в межах гарантійного пробігу після побудови, заводського або деповського ремонту, характеризують фактичний рівень їх надійності в порівнянні з вказаними у технічних умовах на побудову або ремонт локомотивів.

Як контрольні локомотиви виділяють тільки ті, які введені в експлуатацію після побудови або ремонту великого обсягу (ПР-2, ПР-3 і капітальні). Збір даних, що стосуються контрольного локомотива, починають з реєстрації в депо його технічного стану при надходженні в експлуатацію. При заміні агрегата на контрольному локомотиві до виконання ним пробігу, відповідного ремонту великого обсягу, збір даних по цьому агрегата припиняють і починають збір даних про надійність агрегата, встановленого замість несправного.

### **8.3. Порядок і мета збору інформації**

З метою можливості механізованої обробки інформації про відмови локомотивів передбачене її кодування при внесенні у картку відмови. Картку заповнюють на відмови, виявлені в процесі експлуатації, включаючи технічні обслуговування та ремонт, незалежно від впливу інших документів (рекламаційних і технічних актів, облікових форм що діють в депо і т. п.). Картка відмови – це стандартна карта з крайовою перфорацією формату К- 5,

призначена для автоматичної обробки на селекторі пошуку перфокарт з крайовою перфорацією. Для реєстрації даних у картці відмови використовують як поле перфорації, так і поля картки. Заповнюють поля картки від руки, поля перфорації – спеціальним компостером відповідно до встановлених кодів.

Відомості, які кодуються на полі перфорації для подальшої механізованої обробки, наносять на лицьовий бік поля картки. На зворотний бік поля картки заносять дані, при обробці яких не використовують механізацію (дані про пробігах до відмови, кількості ремонтів агрегата від початку експлуатації або ремонту ПР-2 та ін.)

Для кодування інформації про відмови обладнання локомотивів її доцільно розбити умовно на п'ять систем: 1 – електричні машини, 2 – електричні апарати, 3 – допоміжне обладнання, 4 – механічне обладнання, 5 – автогальмівне обладнання. Кожну з цих систем можна розбити на агрегати (їх максимальне число 100), кожен агрегат можна поділити на вузли, кожен вузол – на деталі. Слід передбачити ще кодування типу або модифікації кожного агрегату і вузла. Оскільки обсяг інформації при обробці даних по надійності локомотивів в обсязі залізниць, а тим більше мережі залізниць, обчислюється мільйонами двійкових одиниць, то своєчасна і ефективна обробка його може бути проведена тільки із застосуванням цифрових обчислювальних машин.

Вкажемо п'ять класифікаційних ознак відмов, прийнятих для кодування в картці відмов:

1. Місце появи відмови: на шляху прямування; виявлений при технічному обслуговуванні або ремонтах (у тому числі при технічному обслуговуванні і прийманні локомотива локомотивними бригадами).
2. Вплив даної відмови на виконання графіка руху поїздів: з порушенням графіка; без порушення графіка;
3. Тривалість простою складу на шляху прямування або на станції.
4. Потреби в резервному локомотиві: з вимогою резерву; без вимоги резерву.
5. Місце усунення відмови: відновлення в депо або на ПТО; відновлення на час рейсу.

#### **8.4. Кодування інформації про відмови**

Цією класифікації наслідків відмови і відновлення працездатності локомотивів надають такий код:

Код	Характеристика наслідків відмов
1.	Псування без вимоги резерву, відновлення на позаплановому ремонті.
2.	Псування без вимоги резерву, відновлення на плановому ремонті (технічному обслуговуванні) з перевищенням встановленого обсягу робіт.

3. Псування без вимоги резерву, що не викликало позаплановий ремонт або перевищення обсягу планового ремонту (обслуговування).
4. Псування з вимогою резерву, відновлення на позаплановому ремонті.
5. Псування з вимогою резерву, відновлення на плановому ремонті (технічному обслуговуванні) з перевищенням встановленого обсягу робіт.
6. Псування з вимогою резерву, що не викликало позаплановий ремонт або перевищення обсягу планового ремонту (технічного обслуговування).
7. Позаплановий ремонт.
8. Відновлення працездатності локомотива на шляху прямування без порушення графіка руху.
9. Відновлення працездатності локомотива на шляху прямування з порушенням графіка руху.
10. Підвищений обсяг робіт що до встановлених норм на плановому ремонті або технічному обслуговуванні.

На підставі аналізу інформації, отриманої в результаті статистичної обробки даних, зібраних лабораторіями надійності в депо, визначають рівень надійності локомотива даної серії, його найбільш ушкоджені вузли і розробляють економічно обґрунтовані припущення, спрямовані на підвищення їх надійності. Ці ж дані використовують для вирішення на науковій основі завдань, що є складовими частинами АСУ залізниць: прогнозування міжремонтних пробігів локомотивів даної серії стосовно конкретних умов їх експлуатації, розробку прогресивних норм і правил ремонтів, розподіл ремонтних та деповських баз по мережі залізниці і т. п.

### ***Контрольні запитання***

1. Які повинні бути дані про надійність?
2. Чому повинні сприяти результати обробки інформації про надійність для проектних організацій?
3. Чому повинні сприяти результати обробки інформації про надійність для локомотивобудівних заводів?
4. Чому повинні сприяти результати обробки інформації про надійність для депо та ремонтних заводів?
5. Призначення дослідних і контрольних локомотивів?
6. На які системи умовно розбивають інформацію про відмови при її кодуванні?
7. Скільки кодів має характеристика наслідків відмов?
8. Для яких цілей використовується інформація, яка отримана в результаті статистичної обробки даних?

### **Література**

[3],[5],[10],[12], [14].

## ЛЕКЦІЯ 9

### **Тема: Організація випробувань на надійність**

**Мета:** Вивчення видів та етапів випробувань локомотивів на надійність в процесі експлуатації. Ознайомлення з результатами стендових випробувань рам візків і тягових двигунів.

**План лекції:** Види випробувань на надійність. Етапи випробувань локомотивів в процесі експлуатації. Форсовані випробування. Результати стендових випробувань рам візків і тягових двигунів.

### **9.1. Види випробувань на надійність**

Згідно з ГОСТ 13216 - 74 випробування виробу на надійність поділяються на дослідні та контрольні. Метою дослідних випробувань є отримання оцінки кожного з встановлених показників надійності з урахуванням довірчих меж. Мета контрольних випробувань полягає у перевірці відповідності досягнутих показників надійності зазначеним у технічному завданні і технічних умовах.

При обох видах випробувань оцінка надійності конструкцій та електрообладнання е.р.с. повинна проводитися при впливі вібраційних навантажень, що виникають при русі е.р.с, оскільки саме ці навантаження визначають важкі умови роботи. З досвіду експлуатації встановлено, що вібраційні навантаження надають саме різнобічний вплив на надійність е.р.с., викликаючи втомні руйнування рам візків, руйнування несучих, струмоведучих і ізоляційних деталей, електрообладнання, порушення комутації тягових електродвигунів, зміни режимів регулювання систем управління ВІП і т.д. Ці впливи звичайно зростають при підвищенні швидкостей руху е.р.с. і зниженні температури навколишнього середовища.

Залежно від умов експлуатації та наявного обладнання випробування на надійність можна проводити як в нормальних, так і в форсованих режимах роботи е.р.с.. Випробування в нормальних режимах проводять на лінії в процесі експлуатації, на що потрібен тривалий час. Прискорені випробування проводять на спеціальних стендах за рахунок інтенсифікації навантажувальних режимів. У результаті цього значно скорочується термін випробувань.

### **9.2. Етапи випробувань локомотивів в процесі експлуатації**

Випробування в процесі експлуатації містять послідовні етапи їх планування, організації, виконання та обробки отриманої інформації. Планування випробувань полягає у розробці правил відбору локомотивів для випробувань, складанні методики спостережень, визначенні необхідного обсягу вибірки для оцінки кожного показника надійності та тривалості випробувань.



Організація випробувань визначає умови їх проведення, контролю працездатності вузлів і деталей, методів і засобів фіксації відмов, форми облікових документів і т.п. Залежно від конкретних умов депо і ділянки випробування локомотивів на надійність в експлуатації можуть бути організовані за різними планами:

- із заміною (відновленням) вузлів, що відмовили, або без заміни;
- із безперервним контролем функціонування і працездатності вузлів або тільки в певні моменти часу, наприклад, при планових ремонтах, перед початком випробувань і після закінчення їх;
- при одночасному початку випробувань всіх локомотивів або їх вузлів або при не одночасному початку випробувань локомотивів і зняття їх з випробування по мірі відмов вузлів, що випробовуються;
- випробування одного локомотива або групи локомотивів однієї серії;
- випробування до відмови всіх локомотивів дослідної партії або випробування протягом встановленого при організації цих випробувань терміну експлуатації.

### **9.3. Форсовані випробування**

Для проведення експлуатаційних випробувань потрібен тривалий час, щоб отримати обґрунтовані значення показників надійності. Більш ефективними є прискорені випробування натурних вузлів і конструкцій локомотивів, при яких їх експлуатаційні режими навантаження замінюють форсованими, що дозволяє отримати значення показників надійності в стислі терміни. Основна трудність здійснення прискорених випробувань полягає в тому, щоб при призначенні форсованих режимів не спотворити фізичну сутність процесів, що протікають в звичайних експлуатаційних умовах. Відступ від цієї вимоги може привести до виникнення таких явищ і відмов, які не властиві нормальним умовам роботи локомотивів.

Для випробувань на надійність деталей і вузлів локомотивів використовують гідропульсаційні і резонансні електромагнітні стенди. Оскільки гідропульсаційні стенди мають зазвичай максимальну частоту прикладання навантаження 500 Гц, то на випробування витрачають багато часу. Резонансні вібростенди, що використовуються для прискорених випробувань вузлів механічної частини локомотивів та електрообладнання (у тому числі і тягових двигунів), дозволяють істотно скоротити тривалість випробувань. Випробувальний комплекс, призначений для випробування тягових двигунів, складається з електромагнітного резонансного стенда, стенда взаємного навантаження, кліматичної камери, замкнутої системи вентиляції та пилової установки. Крім випробувань на повне електричне навантаження і несталі режими, на стенді випробують тягові двигуни і допоміжні машини на холодостійкість (у діапазоні від  $-10$  до  $-60^{\circ}\text{C}$ ), цикlostійкі теплових режимів (від  $+15$  до  $+150^{\circ}\text{C}$ ), вплив інею, роси і туману. Електричне обладнання випробовують при різній запиленості охолоджуючого повітря (від 2 до 150

мг/м<sup>3</sup>). При випробуваннях конструкцій (рам візків, тягових приводів і т. п.) інерційний вібростіл разом із закріпленою на ньому конструкцією, що випробовуюються, розміщують в холодильній камері і піддають дії вертикальних прискорень.

Стенд працює на принципі збудження вимушених коливань інерційного вібростола резонансної частоти. Для підтримки цих коливань потрібно відносно невелика енергія, про яку повідомляють електромагнітні вібратори, що отримують живлення від перетворювача регульованої частоти. Максимальна амплітуда вертикальних прискорень інерційного столу 20 g.

#### **9.4. Результати стендових випробувань рам візків і тягових двигунів**

Випробування на стендах свідчать, що втомна міцність рам візків залежить від технології виготовлення і насамперед від якості зварних швів. Перетини поздовжніх балок, утворених з двох штампованих або прокатних профілів, слід зварювати швами по горизонтальній осі симетрії перетину. Ці шви знаходяться в зоні найменших нормальних напружень, внаслідок чого можливі дефекти зварювання позначаються найменшим чином. До того ж при такому розташуванні поздовжні шви не перетинаються зі швами, якими приварюються до боковин вузли кріплення гальмівних деталей, кронштейни й т.п. Не рекомендується проводити зварювання профілів боковин без оброблення крайок, оскільки частина шва, що виступає над полками, повинна бути вилучена, а ті, що залишилися (з можливим непроваром), не забезпечить безвідмовну роботу навіть, якщо поставити підсилюючі накладки. Попереднє оброблення крайок зварюваних профілів підвищує втомну міцність рами. Для якісного зварювання профілів боковин їх кромки обробляють під шов, перед накладанням якого попередньо приварюють підкладки. Шов, що кріпить ці підкладки, повинен бути безперервним, оскільки переривчастий шов є концентратором напруг, що знижує втомну міцність. Переривчасті шви допускаються тоді, коли їх виконують за місцем майбутніх основних швів. У цьому випадку переривчастий шов, що кріпить прокладку, перебивається основним поздовжнім швом і не знижує втомну міцність з'єднання. Поздовжні балки, зварювані з чотирьох окремих листів, мають велике число швів, що збільшує ймовірність появи дефектів зварювання, що призводять до зниження надійності конструкції. У таких балках листи, що утворюють перетин, зварюють двостороннім швом з обробленням крайок у вертикальних листів.

Наявність поперечних швів значно знижує втомну міцність і їх слід уникати. У місцях різкої зміни розмірів перетину і його жорсткості за рахунок, наприклад, отворів для постановки втулок виникає концентрація напружень і як наслідок відбувається зниження втомної міцності.

Істотно знижують втомну міцність рам візків залишкові напруги від зварювання, які можна зняти термічною обробкою рам після приварки всіх деталей.

Домогтися значного (до 50%) підвищення втомної міцності конструкції можна в результаті наклепу швів. Слід звертати увагу на якість виконання швів: непровари, підрізи металу, перепали, нерівномірна товщина шва, задирки і тому подібні дефекти знижують втомну міцність конструкції.

Комплексні випробування на вібростенді тягових двигунів НБ-418К6 свідчать, що їх безвідмовність знаходиться в межах  $(31 \div 35) 10^6$  циклів вібрацій з вертикальним прискоренням  $(12 \div 15) g$ . Це еквівалентно пробігу до першого заводського ремонту. Встановлено, що однією з причин відмов тягових двигунів в експлуатації є порушення міцності міжкотушкових з'єднань через зниження попереднього затягування болтових з'єднань, що призводить в кінцевому результаті до втомним пошкоджень їх у місцях виходу з катушок.

Збільшення амплітуди прискорень тягового двигуна від нуля до  $15g$  чинить істотний вплив не тільки на механічну міцність його вузлів, але й на електромагнітні процеси, що відбуваються в ньому, тому що викликають збільшення (до 40%) нерівномірності розподілу струму між однойменними щіткотримачами. У результаті щільність струму, що протікає через щітку, на 20-40% перевищує допустиме значення для тривалого режиму. Крім того, вказане збільшення амплітуди вертикальних прискорень призводить до зростання на два класи інтенсивності іскріння під щітками, збільшення зносу щіток і колекторів приблизно в 1,5 рази.

Ґрунтовний аналіз відмов тягових двигунів свідчить, що вібрації, які виникають при русі е.р.с., викликають зміни інших, крім зазначених, параметрів двигунів, важко піддаються розрахунку та прогнозуванню. До таких параметрів належать, наприклад, зміни не тільки середнього значення, а й розкиду температур нагрівання обмоток двигунів під впливом вібрацій, зміни розподілу міжламельних напруг і вироблення колекторів, інтенсивності струму витоку ізоляції обмоток, пробивної напруги тягових двигунів і т.п.

Для оцінки впливу певних експлуатаційних факторів на зміну умов роботи вузлів тягових двигунів та їхню надійність в МПТе було вперше проведено методами планування експерименту спеціальне дослідження.

Встановлено, наприклад, що зміни струму тягових двигунів НБ-418К6 електровозів ВЛ80Т, що працюють на гірських ділянках залізниць, призводять до зниження терміну служби ізоляції якорів цих двигунів більш ніж в 20 разів, ізоляції «Моноліт 2»- у 3,5 рази, ізоляції тягових двигунів НБ-508а – більш ніж у 10 разів.

Вібрації тягових двигунів, що виникають при русі е.р.с., зменшують термін служби якорів НБ- 418К6 в 1,2 рази , ізоляції «Моноліт 2» – у 1,5 рази, ізоляції двигунів НБ- 508а – в 1,05 рази.

Динамічні напруги, що з'являються під впливом прискорення  $20g$ , досягають в остові і підшипникових щитах двигуна НБ-418К6 30 МПа, у висновках головних полюсів – 50 МПа і є причиною їх руйнування. Максимальні прискорення, що зумовлюють найбільші динамічні сили, виникають в діапазоні частот 20-40 Гц (частот коливань системи шлях – колісна пара – візок – кузов).

Другий максимум – при частотах 130-140 Гц, відповідних вібраціям зачеплення тягової передачі.

Випробування довели, що ефективним заходом, який знижує динамічні сили, що діють на електричне і, зокрема, електронне обладнання е.р.с., є установка віброізолюючих систем, демпфіруючи параметри яких обрані за наведеною спектральною щільністю збурень, що враховує розподіл швидкостей руху локомотива в експлуатації. Введення віброізолюючих прокладок різної жорсткості, як і зміна затягування різьбових з'єднань вузлів електронного устаткування не тільки є неефективним, але і в несприятливих випадках може привести до негативних результатів взагалі.

Наведені дані дозволяють оцінити вплив низки важкопрогнозованих факторів на надійність тягових двигунів при їх проектуванні та експлуатації, що є однією з важливих умов системного підходу до забезпечення їх надійності та електрорухомого складу в цілому.

### ***Контрольні запитання***

1. Які існують види випробувань на надійність?
2. Яка мета дослідних випробувань виробів на надійність?
3. Яка мета контрольних випробувань виробів на надійність?
4. Які етапи випробувань локомотивів у процесі експлуатації?
5. За якими планами можуть бути організовані випробування локомотивів на надійність в експлуатації?
6. Переваги та недоліки експлуатаційних випробувань.
7. Переваги та недоліки форсованих випробувань.
8. Які стенди використовують при випробуванні на надійність деталей і вузлів локомотивів?
9. Які недоліки гідропульсаційного стенду?
10. За яким принципом працює резонансний електромагнітний стенд?

### **Література**

[3],[4],[6],[12], [14].

## ЛЕКЦІЯ 10

### **Тема: Статистичне визначення показників надійності локомотивів**

**Мета:** Вивчення графіка наростання зносу деталей у функції пробігу локомотива та схеми «накопичення ушкоджень». Визначення показників надійності у функції пробігу.

**План лекції:** Графік наростання зносу деталей у функції пробігу локомотива. Схема «накопичення ушкоджень». Визначення показників надійності у функції пробігу і черговість цих розрахунків.

### **10.1. Графік наростання зносу деталей у функції пробігу локомотива**

Вихідним матеріалом для визначення показників надійності є статистичні дані, накопичені в експлуатації на локомотивобудівних і ремонтних заводах, а також отримані в результаті спеціальних випробувань.

У процесі роботи е.р.с. змінюються значення їх багатьох параметрів, що характеризують процес зносу його деталей, наприклад, прокат і товщина бандажа колісної пари, зазор моторно-осьового підшипника, поперечний і повздовжній розбіг букси і т.п. Знос деталей не вдається спостерігати в експлуатації безперервно. Контролювати знос можна тільки через певні пробіги на одному з планових видів ремонту, наприклад, прокат бандажів колісних пар, починаючи з обточування, товщину бандажа після перетяжки і т.п. Оскільки відхилення міжремонтних пробігів від встановлених норм допускається до  $\pm 10\%$ , то пробіги до вимірювань будуть також відрізнятися у різних локомотивів. Якщо в першому наближенні знехтувати розходженням у цих пробігах і вважати, що вимірювання проводяться через однакові інтервали пробігу, то графік наростання зносу  $x$  у функції пробігу  $l$  деталей локомотивів має звичайно вигляд, поданий на рис. 10.1. Ділянка I – припрацьовувальний період, протягом якого деталь зношується з підвищеною інтенсивністю. Це пояснюється головним чином притиранням сполучених поверхонь, в результаті чого вони вирівнюються й процес зносу стабілізується – настає період нормальної експлуатації (ділянка II). У цей період інтенсивність зносу постійна, і, як було зазначено в лекції 6, параметр потоку відмов  $\lambda = \omega = \text{const}$  має найменше значення. Потім настає знову період посиленого зносу (ділянка III) через зростання відносних переміщень деталей внаслідок їх зносу ( $X_{\text{доп}}$  – гранично допустимий знос).

Практично виміри зносів деталей виготовляють в експлуатації не частіше, ніж при ремонті ПР-1, тоді як прироблений період більшості деталей е.р.с. закінчується раніше. Тому дані про зносах зазвичай не містять інформації про період припрацьовування. Допуски на знос контрольованих параметрів встановлюють з таким розрахунком, щоб попередити появу посиленого зносу. Тому спостереження за зносом закінчується перш, ніж такий знос настає.

Внаслідок зазначених причин отримані в експлуатації значення контрольованих параметрів утворюють тільки ділянка нормальної експлуатації (II), в якій залежність зміни цих параметрів від пробігу близька до лінійної.

## 10.2. Схема «накопичення ушкоджень»

Лінійна залежність від пробігу свідчить, що процес зносу деталей е.р.с. протікає з постійною інтенсивністю і його можна описати за допомогою моделі «накопичення ушкоджень». На схемі рис. 10.2 штрихова лінія відповідає середньому значенню зносу за пробіг  $L$ . Відхилення зносу від середнього обумовлені випадковими факторами. За схемою накопичень вважають, що при випадкових напрацюваннях в деталі виникають пошкодження, рівні за значенням, і при накопиченні таких ушкоджень настає відмова деталі. Відмова викликана тим, що знос стрибкоподібно збільшується на постійну величину

$$y=D/L \quad (10.1)$$

де  $L$  – середнє значення пробігу;  $D$  – дисперсія зносу.

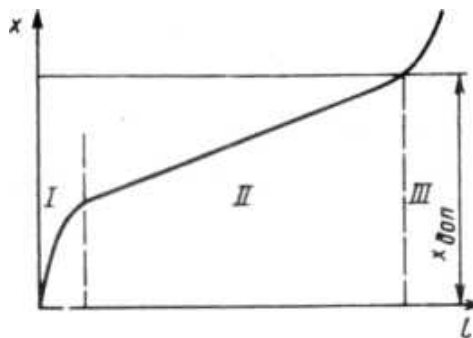


Рис. 10.1 Типова крива наростання зносу

де I – період припрацювання; II – ділянка нормальної експлуатації; III – період посиленого зносу.

Значення дисперсії зносу  $D$  підраховують за статистичними даними. Воно служить кількісною характеристикою розкиду зносу деталі при даному значенні пробігу або характеристикою розподілу ресурсу.

Знаючи кількісні характеристики розподілу ресурсу даної деталі і задавшись певним значенням ймовірності безвідмовної її роботи, знаходять її  $\gamma\%$ -й ресурс, який включають до вимоги надійності локомотивів.

Як видно з рис. 10.3, при пробігу 440 тис. км 7% моторно-осьових підшипників мають зазор більше припустимого (2,5 мм); при збільшенні пробігу, наприклад, до 528 тис. км відсоток таких підшипників зростає до 30.

У тих випадках, коли не виконуються умови моделі накопичувальних ушкоджень, тобто інтенсивність зносу не постійна в часі, розподіл ресурсу такої деталі знаходять інтегруванням кривої розподілу контрольованого параметра  $p(l)$ . Оскільки знос більше встановленого допуску  $x_{\text{доп}}$  класифікують як відмову, то ймовірність відмови деталі:

$$Q\{l \geq l_{x_{\text{доп}}}\} = \int_{l_{x_{\text{доп}}}}^{l_{x_{\text{max}}}} p(l) dl \quad (10.2)$$

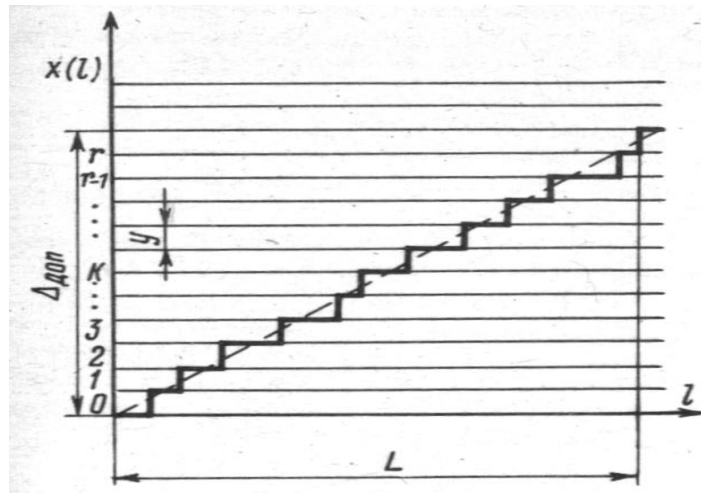


Рис. 10.2. Схема «накопичення ушкоджень»:  
 $k$  – номер пошкоджень ( $0 \leq k \leq r$ );  $y$  – розмір пошкодження.

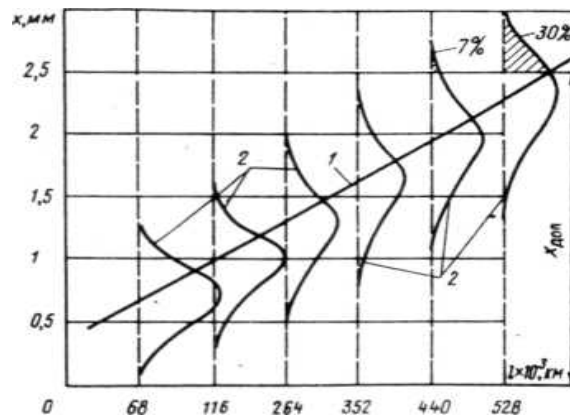


Рис. 10.3. Залежність середнього значення зносу  $x$  моторно-осьових підшипників електровоза ВЛ8 (1) і розподіл їх ресурсів від пробігу  $l$  (2)

На рис.10.3 ймовірність відмови моторно-осьових підшипників зображена заштрихованою площею.

Імовірність безвідмовної роботи деталі

$$P = 1 - Q = 1 - \int_{l_{x_{\text{доп}}}}^{l_{x_{\text{max}}}} p(l) dl \quad (10.3)$$

Обчислення ведуть за розрахунковими формулами, наведеними в табл. 10.1, використовуюючи статистичні дані, накопичені в експлуатації.

Таблиця 10.1

Показник надійності	Розрахункова формула	Пояснення
Імовірність безвідмовної роботи локомотива	$P(t)=(N-\Sigma\Delta N(t))/N$	$N$ – Число локомотивів на початок експлуатації; $\Sigma\Delta N(t)$ – число локомотивів, що відмовили в процесі експлуатації за час $t$
Імовірність відмови локомотива	$Q(t)=1-P(t)=\Sigma\Delta N(t)/N$	$Q(t)$ – подія не спільна з безвідмовністю
Середнє число відмов локомотива	$m_{cp} = \sum_1^N m_j(t)/N$	$m_j(t)$ – число відмов $j$ -го локомотива за час $t$
Параметр потоку відмови локомотива	$\omega(t) = \frac{\sum_1^N m_j(t + \Delta t) - \sum_1^N m_j(t)}{N\Delta t}$	$m_j(t + \Delta t)$ – число відмов $j$ -го локомотива за час $t + \Delta t$ ; $m_j(t)$ – число відмов $j$ -го локомотива до моменту $t$ ; $t + \Delta t$ – час роботи $j$ -го локомотива до моменту визначення надійності
Напрацювання на відмову	$T_0 = \frac{\sum_1^N \sum_1^N t_{ji}}{\sum_1^N m_j}$	$t_{ji}$ – час роботи $j$ -го локомотива між попереднім $(i-1)$ - м і подальшим $i$ -м відмовами ; $m_j$ – число відмов $j$ -го локомотива за час $t$
Інтенсивність відмови (вузлів, що неремонтнопридатні)	$\lambda(t) = \frac{M(t) - M(t + \Delta t)}{M(t)\Delta t}$	$M(t)$ – число справних вузлів в моменту $t$ $M(t+\Delta t)$ – те ж саме до моменту $t+\Delta t$



Показник надійності	Розрахункова формула	Пояснення
Напрацювання до відмови (вузлів, що неремонтнопридатні)	$T_0 = \frac{\sum_1^K n_i t_{cpi}}{M}$	$n_i$ – Число поламаних неремонтопридатних вузлів в $i$ -му інтервалі пробігу; $t_{cpi}$ – середній час роботи в $i$ -му інтервалі; $k=t_k / \Delta t$ – число інтервалів часу ( $t_k$ – час, протягом якого вийшли з ладу всі $M$ вузлів, що не ремонтуються)
Середній час відновлювання локомотива	$T_B = \frac{1}{m_B} \sum_1^{m_B} \tau_i$	$\tau_i$ – час відновлення працездатного стану локомотива після $i$ -го відмови; $m_B$ – кількість відновлень локомотива
Трудомісткість відновлювання локомотива	$W_B = \frac{1}{m_B} \sum_1^{m_B} W_i$	$W_i$ – трудомісткість відновлення працездатного стану локомотива після $i$ -ї відмови
Середня вартість ремонту локомотива	$C_K = \frac{1}{n} \sum_1^n C_{ki}$	$C_{ki}$ – грошові витрати на $i$ -й ремонт даного виду; $n$ – число ремонтів локомотива
Питома вартість планових ремонтів локомотива	$C_{пп} = \frac{C_K}{L_{пл}} 10^4$	$L_{пл}$ – пробіг локомотива між плановими ремонтами даного виду $C_K$ – середня вартість планового ремонту даного виду;
Питома вартість непланових ремонтів локомотивів	$C_{ппн} = \frac{C_{нп}}{L_{нп}} 10^4$	$C_{нп}$ – середня вартість непланового ремонту; $L_{нп}$ – пробіг локомотива між неплановими ремонтами

### 10.3. Визначення показників надійності у функції пробігу і черговість цих розрахунків

У табл. 10.1 як параметр прийнято час роботи локомотива. За необхідності можна показники надійності визначати не в функції цього часу, а у функції еквівалентного йому пробігу. При цьому, наприклад, напрацювання на відмову визначають у вигляді:

$$L_0 = \sum_{j=1}^N \sum_{i=1}^{m_j} l_{ji} / \sum_{j=1}^N m_j$$

де  $l_{ji}$  – пробіг  $i$ -го локомотива між попереднім  $(i-1)$ -м і подальшим  $i$ -м відмовами;  $m_j$  – число відмов  $j$ -го локомотива за пробіг, еквівалентний часу  $t$ .

Для наочності обчислень дані експлуатації про пробіги локомотивів, при яких зафіксовані їх відмови, подають у вигляді схеми (рис. 9.7). При розрахунку показників надійності локомотива величину інтервалу часу  $\Delta t$  або еквівалентного йому пробігу  $\Delta l$  вибирають, виходячи з поставленої задачі та обсягу статистичних даних. Зазвичай такий показник, як інтенсивність відмови, або в припущенні найпростішого потоку відмов еквівалентний йому показник, параметр потоку відмов вираховують не на 1 км пробігу, а на пробіг, рівний  $10^6$  км. При цьому розмірність показників буде  $l/(\text{км} \cdot 10^6)$  для кожного виду обладнання е.р.с.

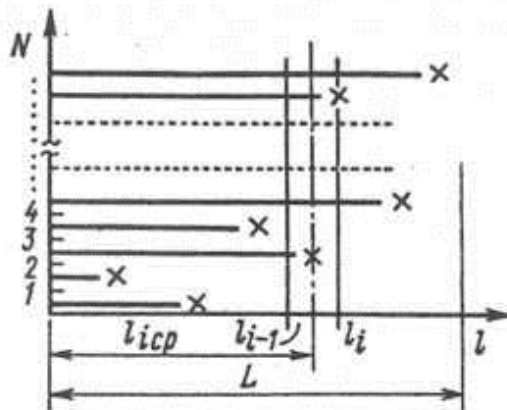


Рис. 10.4. Схема уявних даних про відмови локомотивів

Розрахунок показників надійності на підставі формул табл. 10.1 і даних, занесених до картки відмов, ведуть в такій черговості:

виробляють сортування карт про відмови за кодовою ознакою відмов. Кожен отриманий таким чином обсяг інформації далі обробляють окремо від інших;

розбивають пробіг між існуючими видами планових ремонтів на інтервали  $\Delta l$ , значення яких вибирають залежно від поставлених цілей;

визначають число локомотивів, які безвідмовно працювали в кожному

інтервалі пробігу і підраховують сумарне число відмов локомотивів в кожному інтервалі пробігу;

обчислюють за формулами табл. 10.1 значення показників, які характеризують надійність стосовно кожного інтервалу пробігу;

будують гістограму розподілу кожного з показників надійності, тобто розподіл його значень по пробігу.

Порівнюючи отримані значення показника надійності із заданим, оцінюють фактичний рівень надійності локомотивів і, якщо він виявляється нижче необхідного, розробляють на підставі аналізу даних про відмови найбільш ефективні заходи щодо підвищення надійності цих локомотивів.

Оскільки відмови різних вузлів локомотивів викликають різні наслідки, прийнято при аналізі інформації про відмови виділяти із загального її обсягу три потоки, відповідно до яких виділяють і обробляють відповідні карти:

пошкодження;

відмов, що викликали неплановий ремонт;

відмов, виявлених і усунених на планових ремонтах з перевищенням їх обсягу або тривалості.

Показники надійності по перших двох видах відмов визначають розглянутим вище порядком.

Для третього виду із зазначених відмов визначення такого показника, як параметр потоку відмов, не має фізичного сенсу, оскільки ці відмови виявлені не в експлуатації, а на планових ремонтах локомотивів. Тому для цього виду відмов визначають умовний показник надійності локомотивів за черговий період (місяць, квартал, півріччя, рік тощо) у вигляді ймовірності відмови:

$$q_{\text{пл}} = \Delta N_{\text{пл}} / N_0 \quad (10.5)$$

де  $\Delta N_{\text{пл}}$  – число локомотивів, відмови яких виявлені на планових ремонтах;  
 $N_0$  – загальна кількість локомотивів, що знаходяться під наглядом.



Рис. 10.5. Схема довірчих інтервалів

Аналогічним чином визначають для цього ж (третього) виду відмов умовне число відмов, що припадають на 1 км пробігу локомотивів за звітний період:

$$q_{\text{пл}} = \Delta N_{\text{пл}} / \sum_1^N l_j$$

де  $l_j$  – пробіг  $i$ -го локомотива між розглянутими видами ремонту.

Оскільки відмови локомотивів настають у випадкові моменти часу, які не вдається чітко фіксувати в експлуатації, то і показники надійності, визначені за статистичними даними, будуть більш-менш відрізнятися від їхніх істинних значень. Щоб мати уявлення про розкид, прийнято ставити певну ймовірність того, що даний показник не вийде за межі цього розкиду. Такі межі називають *довірчими* (рис. 10.5).

Довірчі межі при поступових відмовах, наприклад, напрацювання  $T_0$  на відмову, визначають за формулою:

$$\left(T^* - z_\gamma \frac{\sigma_T}{\sqrt{N}}\right) \leq T_0 \leq \left(T^* + z_\gamma \frac{\sigma_T}{\sqrt{N}}\right)$$

де  $T^*$  - середнє значення напрацювання на відмову, визначене за даними експлуатації;  $z_\gamma = \varepsilon/\sigma_T^*$  – відношення довірчого інтервалу  $\varepsilon$  до середнього квадратичним значенням  $\sigma_T^*$  напрацювання на відмову;

$\sigma_T^* = \sqrt{\frac{\sum_1^N (T - T^*)^2}{N}}$ ,  $N$  – число локомотивів, за статистичними даними яких визначають напрацювання на відмову.

При цьому числові характеристики нормального розподілу, наприклад, напрацювання на відмову, розраховують звичайним шляхом:

$$T^* = \sum_1^N T_i / N; \quad \sigma_T^* = \sigma_T / \sqrt{N}$$

### **Контрольні запитання**

1. Що є вихідним матеріалом для визначення показників надійності?
2. Коли можливо контролювати знос деталей?
3. Коли настає період нормальної експлуатації?
4. Що служить кількісною характеристикою розкиду зносу деталі?
5. З якою метою використовують модель «накопичення ушкоджень»?
6. Яка черговість розрахунків показників надійності локомотивів?

### **Література**

[3],[4], [9],[10],[13], [17].

# БАЗА ДАНИХ ТЕСТІВ ДЛЯ ПРОВЕДЕННЯ ДІАГНОСТИКИ РІВНЯ ПІДГОТОВКИ СТУДЕНТІВ

з навчальної дисципліни: **Основи теорії надійності ЕРС**

СЕМЕСТР №8

## Модуль №1. Основи надійності ЕРС

### Перелік тестових завдань

1. Надійність – це властивість локомотива...
  - а) виконувати тягові функції;
  - б) зберігати свої параметри протягом заданого часу;
  - в) виконувати тягові функції, зберігаючи свої параметри в встановлених межах протягом заданого часу.
  
2. Безвідмовність – це властивість локомотива зберігати...
  - а) працездатність;
  - б) працездатність протягом заданого часу;
  - в) працездатність протягом заданого часу без потрібних перерв у роботі.
  
3. Безвідмовність – це властивість локомотива зберігати...
  - а) працездатність без потрібних перерв у роботі;
  - б) працездатність протягом заданого часу без потрібних перерв у роботі;
  - в) працездатність протягом заданого часу.
  
4. Кількісною мірою робото здатного стану локомотива служить...
  - а) коефіцієнт готовності;
  - б) коефіцієнт використання;
  - в) коефіцієнт ремонтпридатності.
  
5. Кількісним показником безвідмовності є...
  - а) ймовірність відмови;
  - б) ймовірність безвідмовної роботи;
  - в) ймовірність справного стану.
  
6. Наслідками відмов може бути...
  - а) заміна вузла;
  - б) неплановий ремонт;
  - в) плановий ремонт.
  
7. Наслідками відмов може бути...
  - а) плановий ремонт;
  - б) заміна вузла;
  - в) дострокова заміна вузла.

8. Стан локомотива вважається несправним, якщо він не відповідає...
- а) одній із вимог ПТЕ;
  - б) двом вимогам ПТЕ;
  - в) трьом вимогам ПТЕ.
9. В яких станах може знаходитися локомотив...
- а) в двох;
  - б) в трьох;
  - в) в п'ятьох.
10. В яких станах може знаходитися локомотив...
- а) в трьох;
  - б) в п'ятьох;
  - в) в чотирьох.
11. Збереженість – це властивість локомотива зберігати...
- а) свій справний стан;
  - б) свій працездатний стан;
  - в) свій справний і працездатний стан протягом встановленого часу транспортування або знаходження в резерві.
12. Збереженість – це властивість локомотива зберігати...
- а) свій справний стан протягом встановленого часу;
  - б) свій працездатний стан;
  - в) свій справний і працездатний стан протягом встановленого часу транспортування або знаходження в резерві.
13. Довговічність визначається...
- а) двома умовами;
  - б) трьома умовами;
  - в) однією умовою.
14. Довговічність – це властивість вузла, деталі або локомотива зберігати...
- а) свою працездатність;
  - б) свою працездатність до останнього стану;
  - в) свою працездатність до останнього стану з необхідними перервами на ремонт.
15. Ремонтпридатність – це пристосування вузла, деталі або системи...
- а) до виявлення відмови;
  - б) до усунення відмови;
  - в) до виявлення та усунення відмови.

16. Надійність – це властивість локомотива ...
- а) виконувати тягові функції, зберігаючи свої параметри у встановлених межах протягом заданого часу;
  - б) зберігати свої параметри у встановлених межах;
  - в) зберігати свої параметри протягом заданого часу.
17. Надійність – це властивість локомотива ...
- а) зберігати свої параметри у встановлених межах;
  - б) виконувати тягові функції, зберігаючи свої параметри у встановлених межах протягом заданого часу;
  - в) виконувати тягові функції.
18. Потік відмов називають стаціонарним, якщо ймовірність відмов залежить від ...
- а) тривалості інтервалу часу (пробігу), протягом якого ведеться відлік;
  - б) вибору початку відліку часу (пробігу);
  - в) вибору початку та кінця відліку часу.
19. Потік відмов називають ординарним, якщо ймовірність двох і більше відмов, що одночасно з'явилися рівна...
- а) 1;
  - б) 0;
  - в) 2.
20. Потокотом відмов називають потік без наслідків, якщо закон розподілення числа відмов у будь-якому проміжку часу (пробігу) не залежить від того, які були відмови...
- а) до цього проміжку;
  - б) після цього проміжку;
  - в) до та після цього проміжку.
21. Складна подія, полягає в одночасному здійсненні (співпаданні) декількох подій, називають...
- а) добутком вихідних подій;
  - б) сумою вихідних подій;
22. Складна подія  $A$ , полягає в тому, що відбудеться подія  $A_1$ , або  $A_2$ , ... або  $A_n$  називають ...
- а) сумою вихідних подій;
  - б) добутком вихідних подій.
23. Елементом системи називають:
- а) частину системи, яка не має самостійного експлуатаційного призначенняГ;
  - б) частину системи, яка виконує в системі обмежені функції;

в) частину системи, яка не має самостійного експлуатаційного призначення та виконує в системі обмежені функції.

24. Послідовним з'єднанням елементів в теорії надійності називають таке з'єднання, при якому...

- а) відмова хоча б одного елемента викликає відмову всієї системи в цілому;
- б) відмова системи настає при відмові всіх без винятку елементів.

25. Паралельним з'єднанням елементів в теорії надійності називають таке з'єднання, при якому...

- а) відмова хоча б одного елемента викликає відмову всієї системи в цілому;
- б) відмова системи настає при відмові всіх без винятку елементів.

26. Змішаним з'єднанням елементів в теорії надійності представляє одну або декілька комбінацій...

- а) логічного послідовного з'єднання елементів;
- б) логічного паралельного з'єднання елементів;
- в) логічного послідовного та паралельного з'єднання елементів.

27. Як визначаються вимоги до показників надійності вузлів локомотива?:

- а) економікою;
- б) відповідальністю вузлів;
- в) економікою та відповідальністю вузлів.

28. Як визначаються сумарні капітальні витрати на заходи з підвищення надійності:

- а) капітальними вкладками в локомотивний парк;
- б) капітальними вкладками в вагонний парк;
- в) капітальними вкладками в локомотивний і вагонний парки і вартістю вантажної маси на колесах.

29. Як визначаються сумарні річні експлуатаційні витрати при визначенні залежності витрат від рівня надійності локомотива:

- а) річними затратами на ремонт локомотивів;
- б) амортизаційними відрахуваннями на реновацію локомотивного парку;
- в) річними витратами на ремонт локомотивів, на зберігання та ремонт вагонного парку, на відновлення роботоздатного стану локомотивів у депо, на втрати через простій поїздів, амортизаційними відрахуваннями на реновацію локомотивного парку.

30. Як визначаються сумарні річні експлуатаційні витрати при визначенні залежності витрат від рівня надійності локомотива:

- а) річними затратами на ремонт локомотивів;
- б) експлуатаційними річними витратами на зберігання та ремонт вагонного парку;



в) річними витратами на ремонт локомотивів, на зберігання та ремонт вагонного парку, на відновлення робоздатного стану локомотивів у депо, на втрати через простій поїздів, амортизаційними відрахуваннями на відновлення локомотивного парку.

31. Як визначаються сумарні річні експлуатаційні витрати при визначенні залежності витрат від рівня надійності локомотива:

а) річними втратами через простій поїздів на ділянках обертання в наслідок відмови локомотивів;

б) річними експлуатаційними витратами на відновлення робоздатного стану локомотивів у депо;

в) річними витратами на ремонт локомотивів, на зберігання та ремонт вагонного парку, на відновлення робоздатного стану локомотивів у депо, на втрати через простій поїздів, амортизаційними відрахуваннями на відновлення локомотивного парку.

32. Як визначаються сумарні капітальні витрати на заходи з підвищення надійності:

а) капітальними вкладками в локомотивний парк;

б) вартістю вантажної маси на колесах;

в) капітальними вкладками в локомотивний і вагонний парки і вартістю вантажної маси на колесах.

### *Модуль №2 Надійність складних систем*

33. Полегшення режимів роботи елементів для підвищення надійності локомотивів здійснюється при...

а) проектуванні;

б) виробництві;

в) експлуатації.

34. Тренування елементів для підвищення надійності локомотивів здійснюється при...

а) проектуванні;

б) виробництві;

в) експлуатації.

35. Технічна діагностика для підвищення надійності локомотивів здійснюється при...

а) проектуванні;

б) виробництві;

в) експлуатації.

36. Підвищення кваліфікації персоналу для підвищення надійності локомотивів здійснюється при...

- а) проектуванні;
- б) виробництві;
- в) експлуатації.

37. Облік психологічних можливостей машиніста для підвищення надійності локомотивів здійснюється при...

- а) проектуванні;
- б) виробництві;
- в) експлуатації.

38. Статистичний контроль якості для підвищення надійності локомотивів здійснюється при...

- а) проектуванні;
- б) виробництві;
- в) експлуатації.

39. Уніфікація матеріалів, деталей і вузлів для підвищення надійності локомотивів здійснюється при...

- а) проектуванні;
- б) виробництві;
- в) експлуатації.

40. Полегшення ремонту для підвищення надійності локомотивів здійснюється при...

- а) проектуванні;
- б) виробництві;
- в) експлуатації.

41. Удосконалення технології для підвищення надійності локомотивів здійснюється при...

- а) проектуванні;
- б) виробництві;
- в) експлуатації.

42. Автоматизація для підвищення надійності локомотивів здійснюється при...

- а) проектуванні;
- б) виробництві;
- в) експлуатації.

43. Розрегулювання апаратури належать...

- а) до постійних відмов;
- б) до раптових відмов.

44. Перекидання на колекторах двигунів належать...

- а) до постійних відмов;
- б) до раптових відмов.

45. Частота відмов вузлів, що не відновлюються – це...

- а) швидкість настання відмов вузлів у даний момент часу, розраховану з припущенням, що число вузлів у кожний момент часу рівне вихідному;
- б) швидкість настання відмов вузлів у даний момент часу, які пропрацювали справно до цього моменту.

№46 Інтенсивність відмов вузлів, що не відновлюються – це...

- а) швидкість настання відмов вузлів у даний момент часу, розраховану з припущенням, що число вузлів у кожний момент часу рівне вихідному;
- б) швидкість настання відмов вузлів у даний момент часу, які пропрацювали справно до цього моменту.

47. Частота відмов вузлів, що не відновлюються – це...

- а) число відмов у одиницю часу, віднесене до початкового числа вузлів;
- б) число відмов у одиницю часу, віднесене до числа вузлів, які безвідмовно пропрацювали до цього часу.

48. Інтенсивність відмов вузлів, що не відновлюються – це...

- а) число відмов у одиницю часу, віднесене до початкового числа вузлів;
- б) число відмов у одиницю часу, віднесене до числа вузлів, безвідмовно пропрацювавши до цього часу.

49. Скільки періодів роботи вузлів і деталей ЕРС:

- а) 2; б) 3; в) 4.

50. Скільки видів випробувань виробів на надійність згідно з ДСТУ:

- а) 1; б) 2; в) 3.

51. Метою досліджуваних випробувань на надійність є:

- а) отримання оцінки кожного з встановлених показників надійності з урахуванням довірливих меж;
- б) перевірка відповідності досягнутих показників надійності, які вказані в технічному завданні та технічних умовах.

52. Метою контрольних випробувань на надійність є...

- а) отримання оцінки кожного з встановлених показників надійності з урахуванням довірливих меж;
- б) перевірка відповідності досягнутих показників надійності, які вказані в технічному завданні та технічних умовах.

53. Випробування на надійність проводять у нормальних режимах роботи ЕРС...

- а) на лінії в процесі експлуатації;
- б) на спеціальних стендах.

54. Випробування на надійність проводять у прискорених режимах роботи ЕРС...

- а) на лінії в процесі експлуатації;
- б) на спеціальних стендах.

55. Для випробування на надійність деталей і вузлів локомотивів використовують...

- а) гідропульсаційні стенди;
- б) резонансні стенди;
- в) гідропульсаційні та резонансні електромагнітні стенди.

56. При зборі та обробці інформації про відмови обладнання локомотивів її умовно розділяють на...

- а) три системи;
- б) чотири системи;
- в) п'ять систем.

57. Скільки класифікаційних ознак відмов приймається для кодування їх в картці відмов:

- а) два;
- б) три;
- в) чотири;
- г) п'ять.

58. Скільки класифікаційних ознак відмов приймається для кодування їх в картці відмов:

- а) три;
- б) чотири;
- в) п'ять;
- г) шість.

59. При зборі та обробці інформації про відмови обладнання локомотивів її умовно розділяють на...

- а) чотири системи;
- б) п'ять системи;
- в) шість систем.

## Література

1. ДСТУ 2860 – 94. НАДІЙНІСТЬ ТЕХНІКИ. Терміни та визначення. – Київ: Держстандарт України, 1995. – 92 с.
2. ГОСТ 27.002-89. Надежность в технике. Основные понятия. Термины и определения. – М.: Изд-во стандартов, 1990. – 37 с.
3. Электроподвижной состав: эксплуатация, надежность и технология ремонта: Учебник для вузов ж.-д. транспорта. /Под ред. А.Т. Головатого, П.И. Борцова.: М.: Транспорт, 1983. – 350с.
4. Галкин В.Г., Парамзин В.П., Четвергов В.А. Надежность тягового подвижного состава: Учебное пособие для вузов ж.-д. транспорта. – М.: Транспорт, 1981. – 184 с.
5. Решетов Д.М. др.. Надежность машин. – М.: Высшая школа, 1988.
6. Кубарев А.И. Надежность в машиностроении.–М.: Издательство стандартов, 1988.
7. Соловьев В.К. Основы математической теории надежности. – М.: Знание, 1975.
8. Саульев В.К. Математическая теория надежности. – М.: Наука, 1974.
9. Поленюк А.В., Черных Ю.М. Методические указания по проведению практических занятий по курсу «Надежность ЭПС». – Днепропетровск: ДИИТ, 1991.– 18 с.
10. Черних Ю.М. Методичні вказівки до практичних занять з курсу «Основи надійності вагонів» – К.: КІЗТ, 2001.
11. Шульгінов Б.С. «Надійність електрорухомого складу»: Методичні вказівки до курсової роботи із дисципліни «Основи теорії надійності електрорухомого складу», – К.:ДЕТУТ, 2008. – 32 с.
12. Ивлев В.В. Надежность систем из однотипных элементов. – М.: Радио и связь, 1986. – 96 с.
13. Вентцель Э.С. Теория вероятностей. Издания стереотипное: Учебник для высших технических учебных заведений.–М.: Наука, 1969. – 576 с.
14. Смирнов Н.В., Дунин-Барковский И.В. Краткий курс математической статистики для технических приложений. – М. Физматгиз, 1959. – 436 с.
15. Бронштейн И.Н., Семендяев К.А. Справочник по математике для инженеров и учащихся вузов. – М.: Наука, 1980. – 975 с.
16. Устич П.А., Карпычев В.А., Овечников М.Н. Надежность рельсового нетягового подвижного состава. – М.: ИГ «Вариант», 1999. – 41 с.
17. Алексюк М.М. «Основи теорії надійності електрорухомого складу»: Методичні рекомендації щодо виконання практичних робіт із дисципліни «Основи теорії надійності електрорухомого складу». – К.:ДЕТУТ, 2008. – 30 с.
18. Четвергов В.А., Пузанков А.Д. Надежность локомотивов, –М.: Маршрут, 2003.– 415 с.

*Навчально-методичне видання*

**Юрій Максимович Черних**

## ОСНОВИ ТЕОРІЇ НАДІЙНОСТІ ЕЛЕКТРОРУХОМОГО СКЛАДУ

Конспект лекцій  
для студентів напряму підготовки 6.050702  
«Електромеханіка» всіх форм навчання

Частина 2

Відповідальний за випуск: Черних Ю.М.

Редактор: Щенбак Н.В.

Макет і верстка Андрієнка В.О.

Підписано до друку 07.04.2015 р. Форма – 60x84/16. .  
. Зам. № 42/15 . Тираж 15 прим.

Підготовлено до подання в електронну бібліотеку Університету  
Редакційно-видавничим відділом ДЕТУТ  
Свідоцтво про реєстрацію від 2014р. Серія ДК № 3079  
03049, м. Київ – 49, вул. Миколи Лукашевича, 19