

МЕХАНІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ

Кафедра автоматизованих систем електричного транспорту

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до виконання контрольної роботи

з дисципліни

***«ОСНОВИ ТЕОРІЇ НАДІЙНОСТІ І ТЕХНІЧНОЇ
ДІАГНОСТИКИ»***

Харків – 2015

Методичні вказівки розглянуто та рекомендовано до друку на засіданні кафедри автоматизованих систем електричного транспорту 27 серпня 2015 р., протокол №1.

Рекомендуються для бакалаврів напряму підготовки 6.050702 «Електромеханіка» заочної форми навчання.

Укладачі:

доц. Д.Л. Сушко,
старш. викл. В.П. Нерубацький

Рецензент

проф. О.С. Крашенінін

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
до виконання контрольної роботи
з дисципліни
*«ОСНОВИ ТЕОРІЇ НАДІЙНОСТІ І ТЕХНІЧНОЇ
ДІАГНОСТИКИ»*

Відповідальний за випуск Нерубацький В.П.

Редактор Третьякова К.А.

Підписано до друку 04.09.15 р.

Формат паперу 60x84 1/16. Папір писальний.

Умовн.-друк.арк. 1,0. Тираж 50. Замовлення №

Видавець та виготовлювач Українська державна академія залізничного транспорту,

61050, Харків-50, майдан Фейєрбаха, 7.

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 2874 від 12.06.2007 р.

ЗМІСТ

Вступ.....	4
1 Оцінка показників надійності за даними про відмову контрольної партії виробів.....	6
2 Аналіз надійності системи, яка складається з послідовно з'єднаних блоків та паралельно ввімкнутих підсистем (резервування).....	9
3 Аналіз випадкового процесу зношування колісних пар.....	12
4 Питання до захисту контрольної роботи.....	16
Список літератури.....	17
Додаток А Варіанти завдання на контрольну роботу.....	18

ВСТУП

Надійність електровозів та електропоїздів є однією з важливих умов ритмічної та сталої роботи електрифікованих залізниць.

Виконання контрольної роботи має за свою мету допомогти студентові засвоїти початкові положення теорії надійності та отримати перші навички практичних розрахунків показників надійності стосовно електрорухомого складу. У роботі запропоновано виконати розрахунки надійності деякого пристрою (яким може бути контактор, реле, тяговий трансформатор, блок управління та ін.) та колісної пари.

Починаючи виконання контрольної роботи, студент повинен спочатку засвоїти основні терміни та визначення теорії надійності: працездатний та налагоджений стан, відмова та пошкодження, раптова та поступова відмова, відновлюваний та невідновлюваний, ремонтований та неремontований виріб, граничний стан, наробіток та тривалість експлуатації, ресурс, строк служби, безвідмовність, ремонтпридатність, довговічність, надійність [1, 2, 3].

Далі необхідно відновити основні положення теорії ймовірності: випадковість події, ймовірність події, статистична ймовірність, складання та множення ймовірностей, несумісна та незалежна події, випадкова величина, розподіл випадкової величини, середнє значення та математичне очікування випадкової величини, дисперсія, середнє квадратичне відхилення, функція розподілу, густина розподілу, принцип практичної певності, експоненціальний та нормальний закони розподілу, теореми про числові характеристики випадкових величин, випадкові функції. Важливо засвоїти зв'язок між ймовірністю та статистичною ймовірністю події, середнім значенням та математичним очікуванням випадкової величини [2, 3].

Для виконання контрольної роботи необхідно також отримати основні уявлення про підвищення надійності шляхом резервування.

Після цього студент може перейти до вивчення способів розрахунку одиничних та комплексних показників надійності. В контрольній роботі студенту пропонується з безлічі показників

надійності, що використовують на практиці, розрахувати тільки три: ймовірність безвідмовної роботи, середній наробіток до відмови та інтенсивність відмов. Ці показники звичайно розраховуються не для об'єктів, що не відновлюються, а для тих, що відновлюються – тільки стосовно періоду експлуатації до першої відмови. Проте ці показники достатньо широко використовуються для оцінки безвідмовності як на стадії проектування та випробовування, так і при їх експлуатації. Уміння розраховувати вказані показники дає студенту ключ до розрахунку інших одиночних і комплексних показників надійності та формує розуміння основних закономірностей змінювання справності та працездатності електрорухомого складу.

Контрольна робота розбита на окремі завдання, які відображують раціональну послідовність засвоєння матеріалу курсу та супроводжуються методичними вказівками. Виконання кожного завдання завершується контрольними запитаннями, що мають своєю метою допомогти студентові краще осмислити виконану роботу та підготуватися до її захисту. При виконанні контрольної роботи відповіді на контрольні запитання слід записувати з детальним обґрунтуванням.

1 ОЦІНКА ПОКАЗНИКІВ НАДІЙНОСТІ ЗА ДАНИМИ ПРО ВІДМОВУ КОНТРОЛЬНОЇ ПАРТІЇ ВИРОБІВ

У таблиці А1 додатка А задано накопичений з експлуатації масив даних про наробіток до відмови $T = (t_i)$, тис. год, для партії із n -однотипних виробів. Потрібно визначити статистичні ймовірності безвідмовної роботи $P(t)$ та відмов $Q(t)$ виробів.

За допомогою функції $length()$ середовища Mathcad можна підрахувати довжину масиву даних n

$$n := length(T), \quad (1.1)$$

а за допомогою функції $sort()$ виконати сортування даних у порядку зростання

$$T_s := sort(T). \quad (1.2)$$

Середнє значення наробітку $T_{сер}$, а також найбільший T_{max} та найменший T_{min} наробітки до відмови визначаються за допомогою відповідних функцій як:

$$T_{сер} := mean(T); \quad (1.3)$$

$$T_{max} := max(T); \quad (1.4)$$

$$T_{min} := min(T). \quad (1.5)$$

Для побудови гістограми необхідно призначити границі усього діапазону ($lowT$ та upT), довжину окремих інтервалів (крок) h та кількість інтервалів m :

$$lowT := T_{min} - 0,5; \quad (1.6)$$

$$upT := T_{max} + 0,5; \quad (1.7)$$

$$m := \frac{upT - lowT}{h}. \quad (1.8)$$

Підрахувати в циклі масив граничних точок int_i , що розбивають увесь діапазон на окремі інтервали, можна за формулою

$$int_i := lowT + i \cdot h, \quad (1.9)$$

де $i := 0..m$.

Кількість влучень q у кожний з інтервалів (тобто відмов в інтервалі h) можна визначити за допомогою спеціальної функції $hist()$:

$$q := hist(int, T). \quad (1.10)$$

Ілюстрація залежності кількості відмов q_i від наробітку наведена на рисунку 1.1.

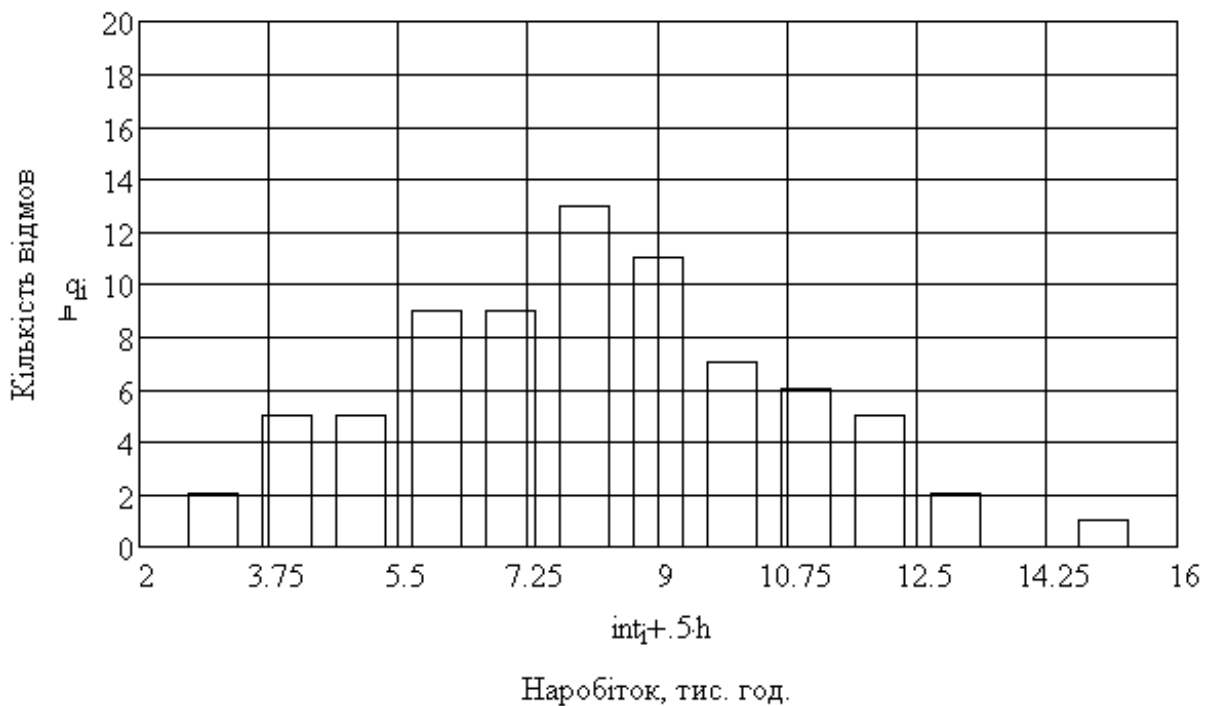


Рисунок 1.1

Позначимо через g_i сумарну кількість виробів, що відмовили до поточної миті:

$$g_{i+1} := g_i + q_i, \quad (1.11)$$

де $g_0 := 0$; $i := 0 \dots m - 1$.

Тоді частка виробів, що відмовили, відносно їх загальної кількості буде статистичною оцінкою ймовірності відмови Q .

$$Q_i := \frac{g_i}{n}, \quad (1.12)$$

де $i := 0 \dots m$.

Ймовірність безвідмовної роботи P можна знайти як ймовірність події, що протилежна відмові:

$$P_i := 1 - Q_i. \quad (1.13)$$

Графік залежності ймовірностей відмов Q і безвідмовності P від наробітку показано на рисунку 1.2.

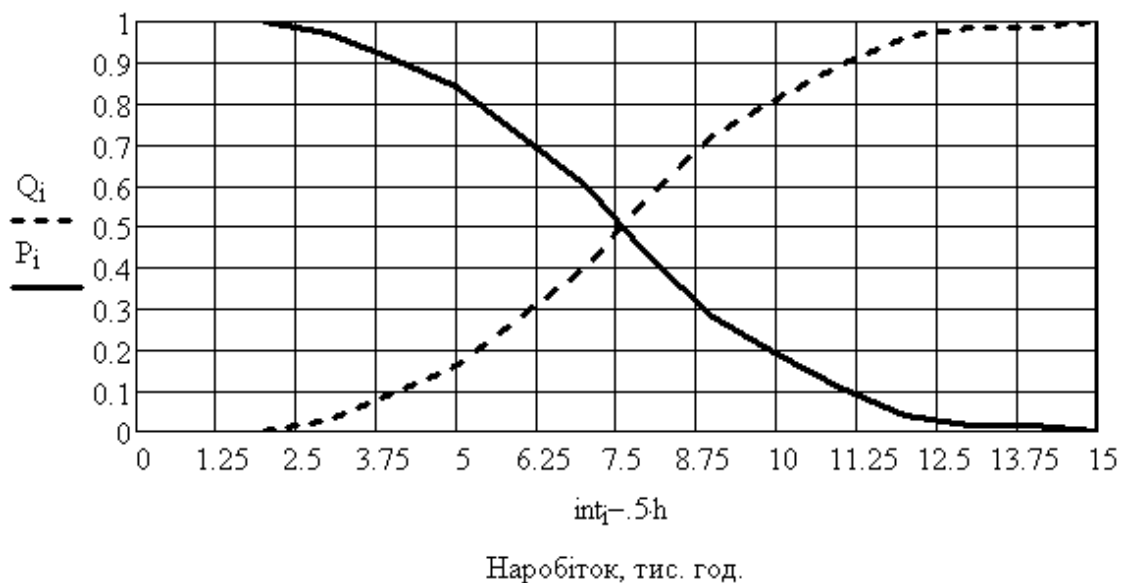


Рисунок 1.2

2 АНАЛІЗ НАДІЙНОСТІ СИСТЕМИ, ЯКА СКЛАДАЄТЬСЯ З ПОСЛІДОВНО З'ЄДНАНИХ БЛОКІВ ТА ПАРАЛЕЛЬНО ВВІМКНУТИХ ПІДСИСТЕМ (РЕЗЕРВУВАННЯ)

Підсистема управління (рисунок 2.1) містить в собі k послідовно з'єднаних блоків, які не зазнають зношування або старіння. Для таких виробів зазвичай приймають, що відмови є раптовими, а інтенсивність відмов не змінюється з часом ($\lambda = const$).

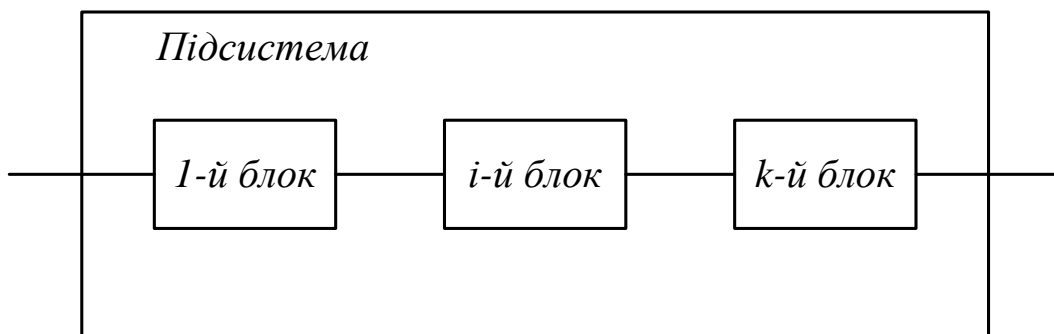


Рисунок 2.1

Інтенсивність відмов підсистеми можна визначити як

$$\lambda := \frac{1}{T_{сер}}, \quad (2.1)$$

де $T_{сер}$ – середній наробіток до відмови, тис. год (таблиця А.1 додатка А).

Ймовірність безвідмовної роботи одного блока підкоряється експонентному закону

$$P(t) := e^{-\lambda \cdot t}. \quad (2.2)$$

При послідовному з'єднанні блоків підсистема буде безвідмовною, якщо буде безвідмовним кожний блок (добуток незалежних випадкових подій). При перемножуванні ймовірностей $P(t)$ показники експоненти додаються. Тому для підсистеми будемо мати:

$$\lambda_n := \sum_{i=1}^k \lambda_i, \quad (2.3)$$

де k – кількість послідовно з'єднаних блоків (таблиця А.1 додатка А);

$$T_{сер.n} := \frac{1}{\lambda_n}. \quad (2.4)$$

Ймовірність безвідмовної роботи підсистеми

$$P_n(t) := e^{-\lambda_n \cdot t}. \quad (2.5)$$

На рисунку 2.2 наведені графіки функцій надійності блока та підсистеми.

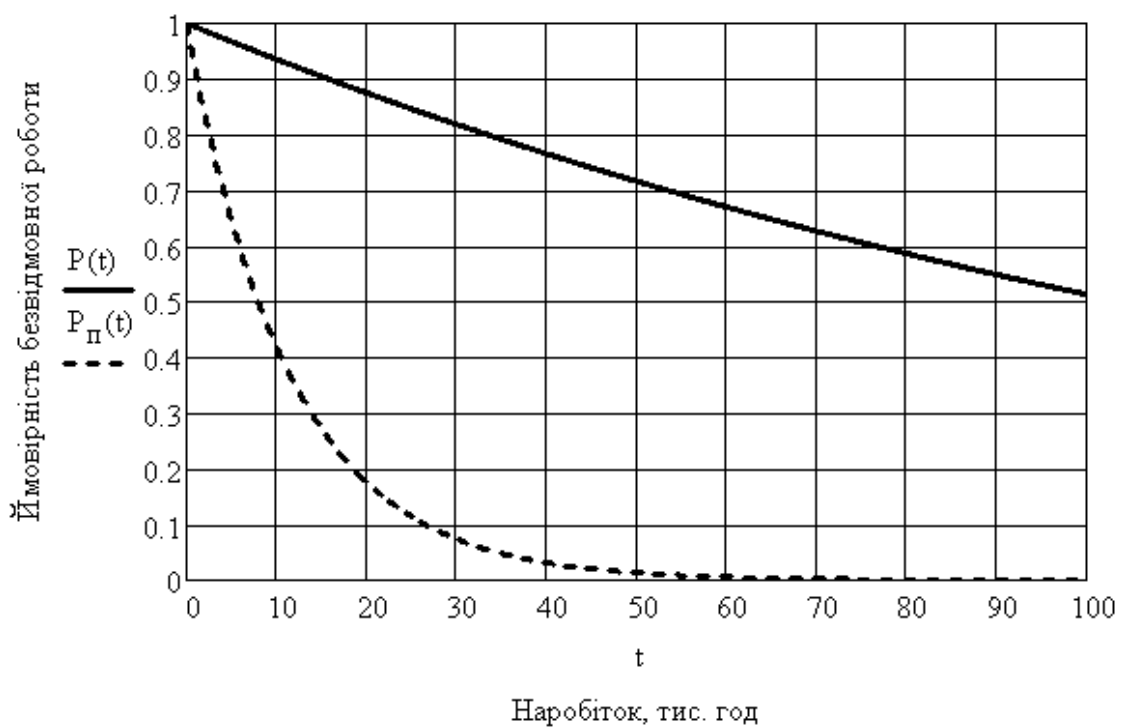


Рисунок 2.2

Для підвищення надійності системи застосовують так зване «резервування» шляхом паралельного з'єднання підсистем (рисунок 2.3).

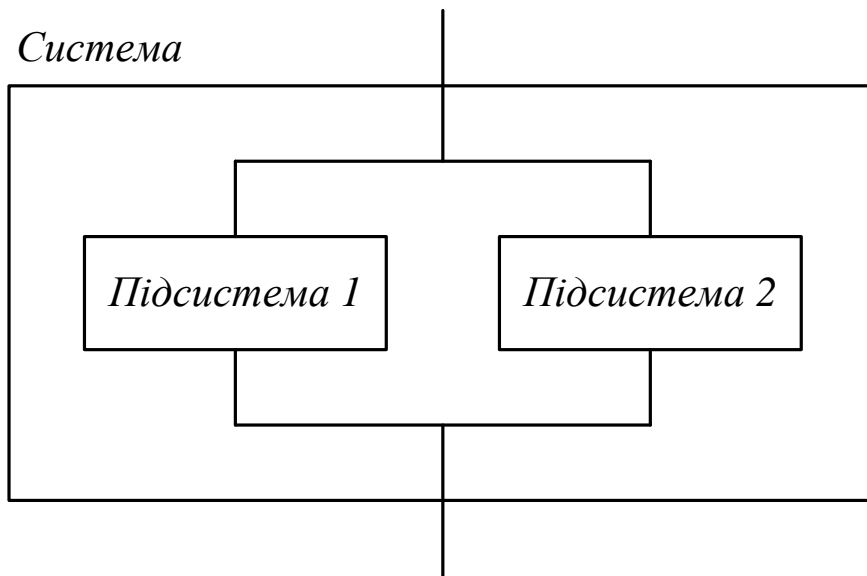


Рисунок 2.3

Розрахунок ведеться за припущенням, що відмови кожної з двох підсистем незалежні, тобто відмова першої системи не порушує працездатності другої та навпаки.

Ймовірності безвідмовної роботи кожної системи однакові та дорівнюють $P_{II}(t)$. Тоді ймовірність відмови однієї підсистеми

$$Q_{II}(t) := 1 - P_{II}(t). \quad (2.6)$$

Ймовірність відмови всієї системи $Q_C(t)$ визначається за умови, що відмовила як перша, так і друга підсистеми, тобто

$$Q_C(t) := (1 - P_I(t))^2. \quad (2.7)$$

Звідси ймовірність безвідмовної роботи системи

$$P_C(t) := 1 - Q_C(t). \quad (2.8)$$

На рисунку 2.4 наведені графіки функцій надійності безвідмовної роботи систем.

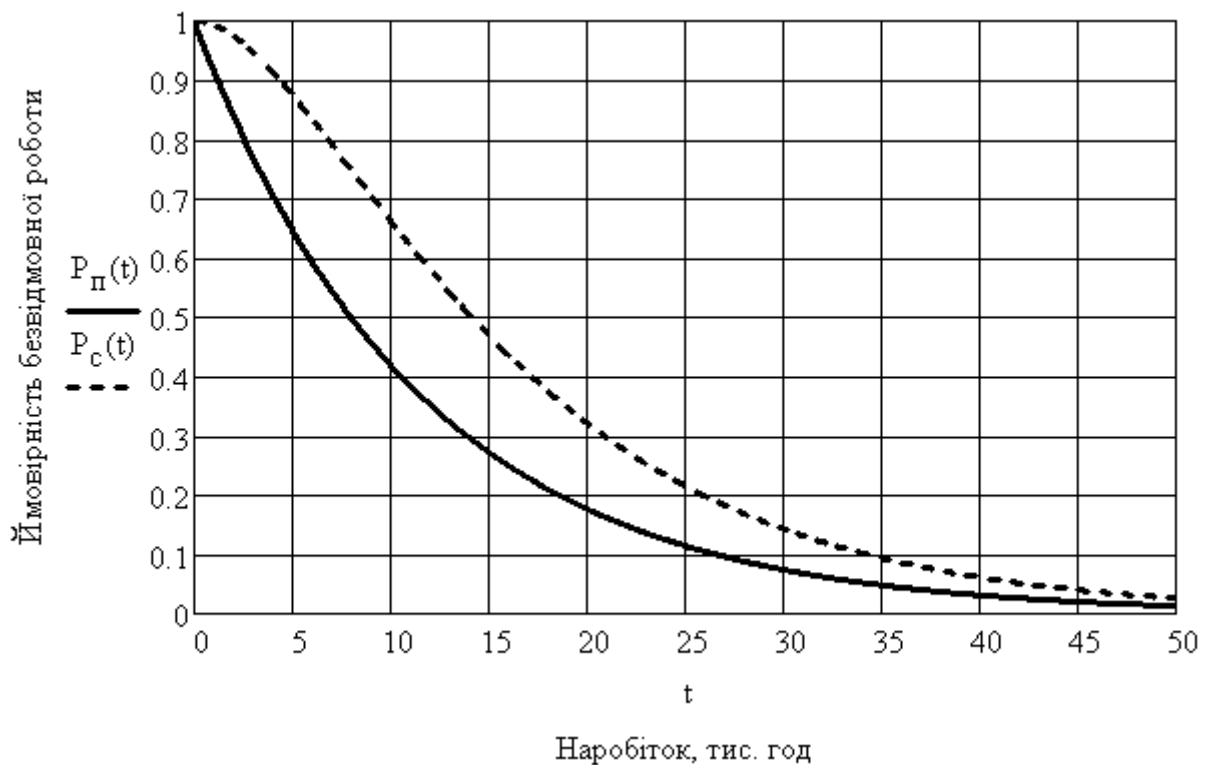


Рисунок 2.4

3 АНАЛІЗ ВИПАДКОВОГО ПРОЦЕСУ ЗНОШУВАННЯ КОЛІСНИХ ПАР

Зношуванням (прокатом) Y (випадкова величина) колісної пари будемо називати зменшення її діаметра за визначений пробіг.

Для двох контрольних значень пробігу T , тис. км, проведені виміри зношування партії колісних пар і знайдені статистичні середні значення прокату MY , мм, і дисперсії DY , мм² (таблиця А.1 додатка А).

Згідно з теорією математичне очікування зношування та його дисперсія нарастають у часі лінійно, якщо умови експлуатації залишаються незмінними. За допомогою функції лінійної інтерполяції можна побудувати лінійні функції для середнього зношування $M(t)$ та дисперсії зносу $D(t)$:

$$M(t) := \text{linterp}(T, MY, t); \quad (3.1)$$

$$D(t) := \text{linterp}(T, DY, t). \quad (3.2)$$

Середньоквадратичне відхилення

$$\sigma(t) := \sqrt{D(t)}. \quad (3.3)$$

Застосовуючи правило «трьох сигма» можна знайти максимальне і мінімальне зношування (верхню і нижню границі можливих значень прокату) як функції часу:

$$Y_{\max}(t) := M(t) + 3 \cdot \sigma(t); \quad (3.4)$$

$$Y_{\min}(t) := M(t) - 3 \cdot \sigma(t). \quad (3.5)$$

Згідно з «Правилами технічної експлуатації залізниць» гранично допустиме зношування Y_{ep} колісних пар складає:

- 5 мм для пасажирських електровозів;
- 7 мм для вантажних електровозів.

На рисунку 3.1 наведені графіки функцій залежності середнього зношування $M(t)$, максимального $Y_{\max}(t)$ і мінімального $Y_{\min}(t)$ зношування, а також гранично допустимого зношування Y_{ep} колісних пар від пробігу електровоза.

Середнє значення пробігу електровоза до обточки бандажів колісних пар за прокатом можна визначити за допомогою функції *root*:

$$t_{cep} := \text{root}(M(t) - Y_{ep}, t, 0, 400). \quad (3.6)$$

Найменший та найбільший практично можливий пробіг до обточки бандажів колісних пар за прокатом визначаються відповідно як:

$$t_{\min} := \text{root}(Y_{\max}(t) - Y_{ep}, t, 0, 400); \quad (3.7)$$

$$t_{\max} := \text{root}(Y_{\min}(t) - Y_{ep}, t, 0, 400). \quad (3.8)$$

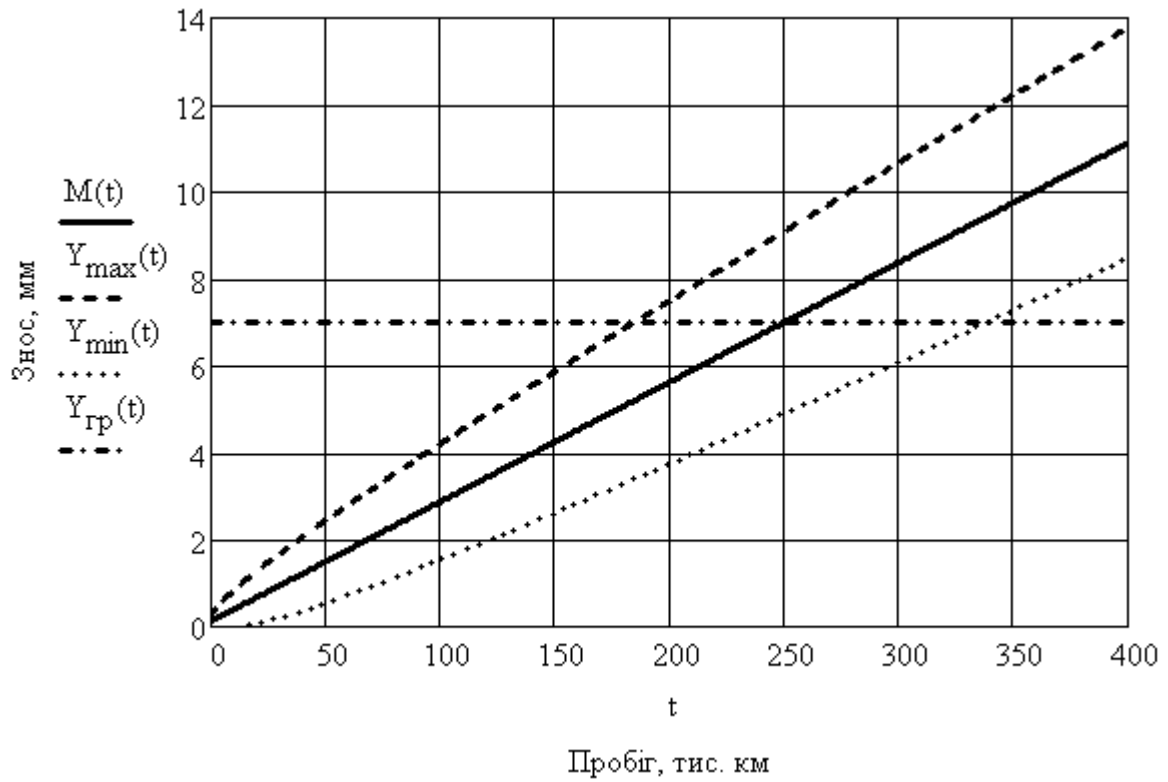


Рисунок 3.1

Густина розподілу при наробітку можна визначити як:

$$f_1(y) := dnorm(y, M(50), \sigma(50)); \quad (3.9)$$

$$f_2(y) := dnorm(y, M(150), \sigma(150)); \quad (3.10)$$

$$f_3(y) := dnorm(y, M(300), \sigma(300)). \quad (3.11)$$

Графік залежності функцій $f_1(y)$, $f_2(y)$, $f_3(y)$ від зношування показано на рисунку 3.2.

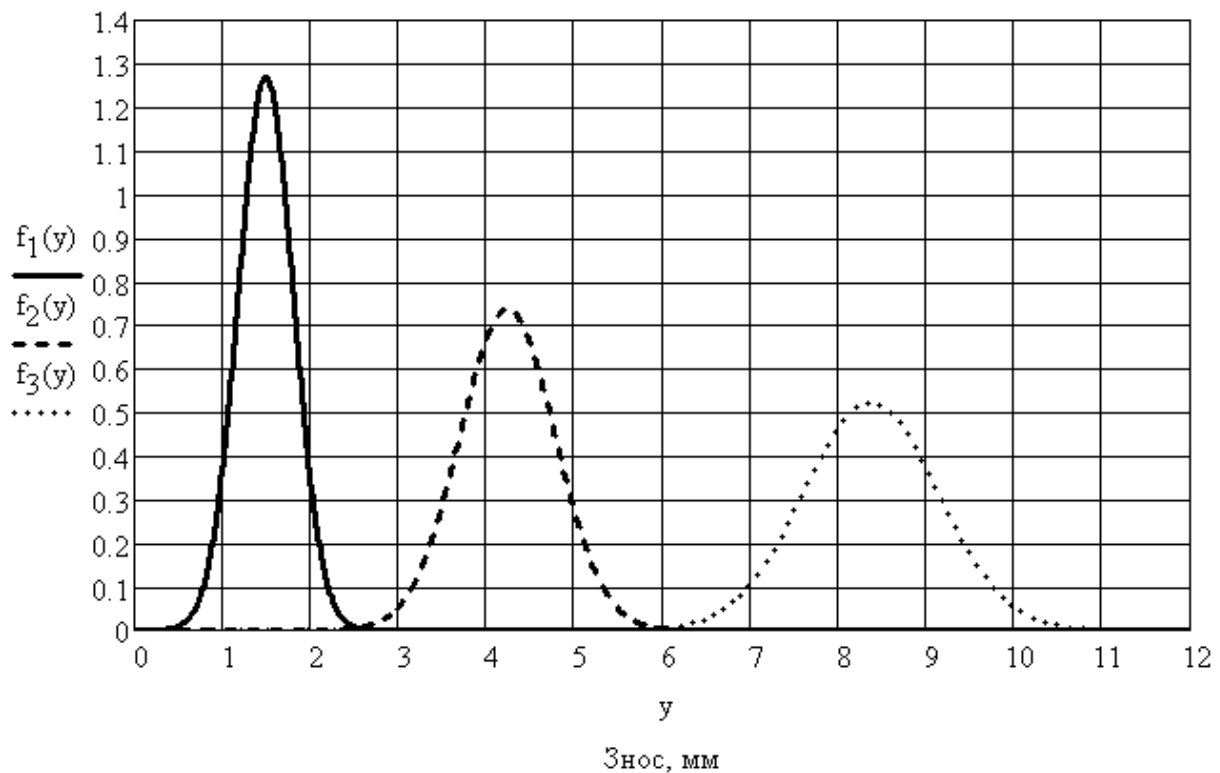


Рисунок 3.2

Знайдемо ймовірність того, що зношування Y виявиться більше гранично допустимого зношування Y_{cp} . Таку подію можна трактувати як умовну (параметричну) відмову, а обточка колісної пари (без викочування з-під локомотива) – це, мовою теорії надійності, відновлення виробу. Слід зазначити, що зношування монотонно зростає зі збільшенням пробігу T , тому шукана ймовірність також буде змінюватися (очевидно, теж зростати) від T .

$$Q(t) := 1 - pnorm(Y_{cp}, M(t), \sigma(t)). \quad (3.12)$$

На рисунку 3.3 показана залежність імовірності відмови $Q(t)$ від пробігу.

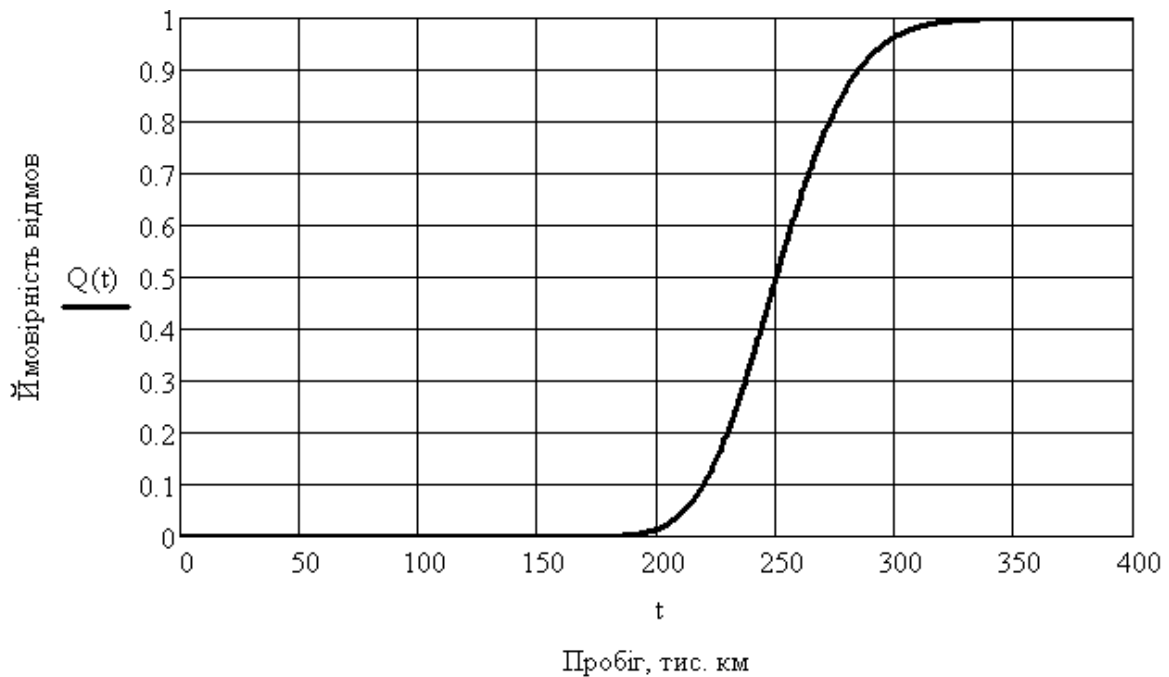


Рисунок 3.3

За допомогою цього графіка можна робити ймовірнісні прогнози щодо майбутнього зношування партії колісних пар через певний пробіг.

4 ПИТАННЯ ДО ЗАХИСТУ КОНТРОЛЬНОЇ РОБОТИ

1 Що таке відмова технічної системи? Які відмінності між поняттями «відмова» та «пошкодження»?

2 Як засобами теорії ймовірностей описати властивості дискретної випадкової величини?

3 Що таке надійність технічної системи?

4 Які властивості випадкової величини характеризує математичне очікування?

5 Що таке довговічність і ресурс технічної системи?

6 Що таке інтенсивність відмов λ ? Як змінюється λ при поступових відмовах?

7 Що таке утом матеріалів? Перелічіть дані, необхідні для розрахунку на утому реальної деталі (на відміну від еталонного зразка).

8 Що таке щільність розподілу ймовірностей випадкової величини?

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1 ДСТУ 2860-94. Надійність техніки. Терміни та визначення [Текст]. – Чин. від 01.01.96. – К.: Держстандарт України, 1996. – 96 с.

2 Электроподвижной состав: эксплуатация, надёжность, технология ремонта: учеб. для вузов железнодорожн. транспорта [Текст] / под ред. А.Т. Головатого, П.И. Борцова. – М.: Транспорт, 1983. – 350 с.

3 Галкин, В.Г. Надёжность тягового подвижного состава: пособ. для вузов железнодорожн. транспорта [Текст] / В.Г. Галкин, В.П. Парамзин, В.А. Четвергов. – М.: Транспорт, 1981. – 184 с.

4 Гурский, Д.А. Вычисления в MathCAD [Текст] / Д.А. Гурский. – Минск: Новое знание, 2003. – 814 с.

ДОДАТОК А

Варіанти завдання на контрольну роботу

Таблиця А.1 – Вихідні дані до виконання контрольної роботи

Остання цифра залікової книжки	Завдання 1	Завдання 2		Завдання 3		
	T , тис. год	$T_{сер}$, тис. год.	k	T , тис. км	$MУ$, мм	$DУ$, мм ²
1	2	3	4	5	6	7
1	5, 14, 12, 7, 3, 10, 12, 14, 12, 11, 6, 9, 9, 13, 16, 5, 8, 10, 12, 9, 11, 8, 7, 15, 8, 10, 17, 15, 10, 5, 9, 6, 11, 10, 13, 16, 9, 13, 8, 10, 9, 14, 9, 5, 11, 13, 7, 12, 5, 10	130	9	60 150	2,24 4,91	0,149 0,343
2	3, 4, 10, 12, 6, 17, 4, 7, 9, 11, 13, 10, 14, 9, 4, 8, 5, 14, 9, 12, 5, 8, 12, 7, 13, 9, 10, 5, 8, 8, 14, 15, 7, 4, 9, 11, 6, 10, 7, 6, 14, 7, 9, 8, 17, 11, 6, 7, 16, 13	135	10	65 155	2,26 4,95	0,151 0,345
3	8, 7, 11, 14, 6, 16, 8, 10, 7, 12, 8, 9, 4, 9, 6, 5, 13, 16, 8, 7, 9, 10, 5, 6, 8, 10, 9, 13, 8, 3, 7, 4, 9, 8, 11, 4, 7, 11, 6, 8, 10, 12, 7, 3, 9, 11, 5, 10, 3, 5	140	11	70 160	2,28 4,99	0,153 0,347

Продовження таблиці А.1

1	2	3	4	5	6	7
4	14, 6, 15, 13, 3, 10, 6, 4, 7, 12, 13, 10, 15, 9, 4, 8, 5, 14, 9, 12, 3, 5, 12, 6, 13, 9, 10, 5, 11, 8, 11, 15, 9, 4, 9, 16, 6, 10, 7, 4, 15, 7, 3, 2, 7, 10, 9, 17, 6, 11	145	12	75 165	2,30 5,03	0,155 0,349
5	16, 14, 12, 7, 3, 11, 13, 14, 12, 11, 6, 7, 8, 13, 16, 5, 8, 4, 15, 9, 11, 8, 7, 15, 8, 17, 17, 15, 12, 5, 9, 14, 11, 10, 13, 16, 9, 11, 8, 10, 9, 14, 9, 5, 7, 16, 9, 12, 15, 3	150	13	80 180	2,32 5,07	0,157 0,351
6	3, 17, 14, 6, 2, 7, 16, 13, 15, 8, 4, 3, 3, 15, 14, 3, 7, 7, 16, 5, 14, 7, 4, 15, 4, 13, 13, 16, 15, 4, 6, 5, 2, 9, 11, 14, 7, 12, 5, 6, 4, 13, 9, 5, 12, 15, 7, 12, 4, 13	155	14	85 185	2,34 5,11	0,159 0,353
7	9, 9, 17, 15, 3, 6, 15, 13, 11, 10, 5, 6, 6, 11, 16, 5, 8, 14, 12, 9, 11, 3, 7, 12, 8, 13, 15, 14, 11, 5, 9, 3, 7, 15, 13, 13, 9, 13, 8, 7, 9, 14, 7, 5, 14, 13, 8, 16, 5, 5	160	15	90 190	2,36 5,15	0,161 0,355

Продовження таблиці А.1

1	2	3	4	5	6	7
8	12, 11, 9, 16, 4, 16, 9, 10, 9, 15, 13, 11, 17, 9, 3, 8, 6, 10, 9, 14, 5, 9, 12, 7, 13, 9, 16, 5, 4, 4, 14, 11, 7, 3, 9, 11, 6, 5, 7, 6, 10, 7, 9, 8, 17, 11, 6, 5, 10, 17	165	16	95 195	2,38 5,19	0,163 0,357
9	8, 8, 13, 12, 2, 6, 11, 9, 7, 14, 13, 10, 13, 9, 4, 8, 5, 15, 9, 12, 2, 8, 12, 7, 13, 9, 10, 7, 9, 3, 14, 17, 7, 8, 4, 11, 6, 10, 7, 6, 14, 6, 9, 8, 13, 17, 6, 8, 6, 7	170	17	100 200	2,40 5,23	0,165 0,359
0	5, 17, 5, 16, 7, 17, 6, 4, 5, 11, 11, 9, 4, 5, 4, 8, 5, 16, 6, 12, 5, 7, 11, 3, 17, 6, 15, 5, 9, 7, 14, 15, 7, 4, 9, 10, 6, 15, 7, 6, 16, 7, 9, 5, 17, 11, 3, 8, 12, 8	175	18	105 205	2,42 5,27	0,167 0,361

