

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ ЕКОНОМІКО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ТРАНСПОРТУ

Кафедра «Тяговий рухомий склад залізниць»

Черних Ю.М.

ОСНОВИ ТЕОРІЇ НАДІЙНОСТІ РУХОМОГО СКЛАДУ

Методичні вказівки до виконання розрахунково-графічної роботи
для студентів напряму підготовки 6.050702 «Електромеханіка»
усіх форм навчання

Київ 2016

УДК 629.423.42-192

Черних Ю.М.

Методичні вказівки до виконання розрахунково-графічної роботи з дисципліни «Основи теорії надійності рухомого складу» для студентів усіх форм навчання напряму підготовки 6.050702 «Електромеханіка» / Черних Ю.М. – К.: ДЕГУТ, 2016. – 38 с.

Методичні вказівки розглянуті та затверджені на засіданні кафедри «ТРСЗ» (протокол № 7 від 29.02.2016р.) та на засіданні методичної комісії факультету ІРСЗ (протокол № 7 від 23.03.2016р.).

Призначені для студентів університету всіх форм навчання та відповідають робочій програмі дисципліни: «Основи теорії надійності рухомого складу».

Укладач:

Ю.М. Черних, кандидат технічних наук, доцент;

Рецензенти:

Дубравін Ю.Ф., к.т.н., доцент кафедри «ТРСЗ» ДЕГУТ;

Гончаров О.М. к.т.н., доцент, начальник науково-дослідного відділу рухомого складу філії НДКТІ ПАТ «Укрзалізниця»

У роботі над методичними вказівками брав участь аспірант кафедри ТРСЗ
Малюк С.В.

Зміст

Вступ.....	4
1. Загальні вказівки	5
2. Завдання і методичні вказівки на виконання розрахунково-графічної роботи.....	7
2.1. Задача №1. Визначення статистичної ймовірності безвідмовної роботи та відмови обладнання.....	7
2.2. Задача №2. Розрахунок середнього напрацювання до відмови обладнання різними способами.....	10
2.3. Задача №3. Оцінка надійності рухомого складу і його елементів	13
2.4. Задача №4. Розрахунок надійності невідновлювального обладнання.....	16
2.5. Задача №5. Розрахунок показників надійності рухомого складу за даними експлуатації.....	19
2.6. Задача №6. Визначення імовірності безвідмовної роботи секції електровоза ВЛ80 ^р із урахуванням наявності в ній випрямно-інверторного перетворювача (ВП), блока керування цим перетворювачем (БУВИП) і чотирьох тягових двигунів (ТД).....	20
3. Додаток. Приклади розрахунку задач.....	24
Список рекомендованої літератури	37

ВСТУП

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

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

Дуже важливо, щоб випускники вищих навчальних закладів – майбутні фахівці з експлуатації і ремонту рухомого складу – опанували практичними навиками розрахунку й оцінки показників надійності рухомого складу і його вузлів. Навики самостійного аналізу надійності дозволять майбутньому інженеру не тільки засвоїти традиційні методи організації робіт із забезпечення надійності рухомого складу і відновлення його працездатності в умовах експлуатації, але і розробляти нові перспективні напрямки ефективного використання досягнень науки і техніки зі своєї спеціальності. У вказівках розглянуті методи розрахунку основних показників надійності, установлених ГОСТ 27.002-89. «Надійність у техніці. Основні поняття. Терміни і визначення».

Надійність електровозів і електропоїздів є однією із найважливіших умов, які визначають ритмічну і усталену роботу електрифікованих залізниць. Виконання роботи має за мету допомогти студентові засвоїти вихідні положення теорії надійності і одержати перші навички практичних розрахунків показників надійності, стосовно до електрорухомого складу. У роботі запропоновано виконати розрахунки для електровоза і деякого пристрою (ним може бути контактор, реле, випрямна установка, тяговий трансформатор, блок керування випрямно-інверторною установкою та ін.).

Приступаючи до виконання роботи, студент повинен, насамперед, засвоїти основні терміни і визначення теорії надійності: працездатний і справний стани, відмови та ушкодження, раптову і поступову відмову, відновлювані чи не відновлювані, вироби які підлягають ремонту чи не підлягають, граничний стан, напрацювання і тривалість експлуатації, ресурс,

термін служби, безвідмовність, ремонтоздатність, довговічність, збереження, надійність [1, 2, 3,10,11]

Далі, необхідно відновити у пам'яті основні положення теорії ймовірності: випадкова подія, ймовірність події, статистична ймовірність (частота), додавання та множення ймовірностей, неспільні і незалежні події, випадкова величина, розподіл випадкової величини, середнє значення і математичне очікування випадкової величини, теореми про числові характеристики випадкових величин, випадкова функція. Важливо засвоїти зв'язок між ймовірністю і статистичною ймовірністю (частотою) події, середнім значенням і математичним сподіванням випадкової величини [4, 5, 6]. Для виконання роботи потрібно також одержати основні уявлення про підвищення надійності шляхом резервування. Насамперед, мається на увазі, структурне резервування. Необхідно засвоїти поняття: основний і резервний елемент, навантажений резерв, кратність резерву, дублювання, загальне резервування тощо. [7, 8, 10]

Після цього студент може перейти до вивчення способів розрахунку одиничних і комплексних показників надійності. У роботі студентів пропонується із безлічі використовуваних на практиці показників надійності розрахувати тільки три: ймовірності безвідмовної роботи, середнє напрацювання до відмови та інтенсивність відмови. Проте, ці показники досить широко використовуються для оцінки безвідмовності, як на стадії проектування й випробування об'єктів, так і при їхній експлуатації. Вміння розраховувати зазначені показники дає студентів ключ до розрахунку інших одиничних і комплексних показників надійності і формує розуміння основних закономірностей зміни справності і працездатності електрорухомого складу.

Вся робота поділена на окремі завдання, які відбивають раціональну послідовність засвоєння матеріалу курсу, що супроводжуються методичними вказівками.

1. ЗАГАЛЬНІ ВКАЗІВКИ

Дані методичні вказівки до розрахунково-графічної роботи складені за таким розрахунком, щоб студенти могли самостійно виконати усі розрахункові і графічні завдання. При виконанні роботи потрібно вивчити методичні вказівки, в яких наведені відомості з теорії, порядок виконання робіт і, якщо необхідно, додаткову літературу. Робота оформлюється у вигляді розрахункової записки, яка складається з рисунків, формул, таблиць, графіків і пояснювального тексту. Записка виконується на одній стороні аркуша формату А4, з лівої сторони якого залишається поле шириною 25 -30 мм. На титульному листі розрахункової записки потрібно написати найменування навчального закладу і кафедри, найменування роботи, посаду, прізвище та ініціали керівника, прізвище та ініціали виконавця і його шифр.

У розрахунковій записці потрібно вписати з таблиць 2.1.1, 2.1.2, 2.4.1, 2.5.1 вихідні дані, які відповідають вашому варіантові завдання, у рекомендованому нижче порядку.

Робота поділена на окремі задачі, що мають наскрізну нумерацію. У записці досить вказати номер задачі, її заголовок і далі вести необхідний розрахунок. Записуються найменування величини, що розраховується, розрахункова формула в загальному вигляді, після чого, через знак рівності її вираження і результат. Значення символів чисельника і числових коефіцієнтів, що входять у формули, потрібно розшифрувати. Якщо, на підставі розрахункової формули заповнюється таблиця або графа (рядок) таблиці, то спочатку записується формула у загальному вигляді, а потім один раз приводяться її чисельне вираження і результат з указівкою значення параметра, для якого отримано результат .

2. ЗАВДАННЯ І МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ НА ВИКОНАННЯ РОЗРАХУНКОВО-ГРАФІЧНОЇ РОБОТИ

2.1.ЗАДАЧА №1. ВИЗНАЧЕННЯ СТАТИСТИЧНОЇ ЙМОВІРНОСТІ БЕЗВІДМОВНОЇ РОБОТИ ТА ВІДМОВИ ОБЛАДНАННЯ

У таблиці 2.1.1 подані значення напрацювань до відмови партії однакового обладнання, що знаходилося під контролем.

Таблиця 2.1.1.Значення напрацювань обладнання до відмови T , нижньої межі першого інтервалу T_0 і заданого часу t_3

Варіант	Масив значень напрацювань до відмови T , 10^3 год.	Нижня межа T_0 , 10^3 год.	Встановлений час t_3 , 10^3 год
1	2	3	4
10	10, 15, 7, 9, 6, 11, 13, 4, 15, 12, 12, 8, 5, 14, 8, 11, 12, 8, 10, 11, 15,	3	9
20	6,7, 9, 10, 14, 7, 11, 13, 5, 9, 8, 9, 15, 10, 9, 12, 14, 10, 12, 11, 8,	3,5	11,5
30	10, 12, 11, 12. 10. 11, 7, 9	4	10
01	11, 9, 12, 16, 7, 8, 10, 11, 15, 8, 12, 14, 6, 10, 9, 10, 16, 11, 10, 13,	4	10
11	15, 11, 13, 12, 9, 11, 13, 12, 13, 11, 12, 8, 10, 15, 16, 8, 10, 7, 12,	4,5	12,5
21	14, 5, 16, 13, 13, 9, 6, 11, 9, 12, 13	5	11
02	12, 17, 9, 11, 8, 13, 15, 6, 17, 14, 14, 10, 7, 16, 10, 13, 15, 10, 12, 13,	5	11
12	17, 8, 9, 11, 12, 16, 9, 13, 15, 7,	5,5	13,5
22	11,10,11,17,12,11,14,16,12,14,13,10,12,14,13, 14,12, 13,9,11	6	12
03	13, 12, 15, 17, 13, 15, 14, 11, 13, 15, 14, 15, 13, 14, 10, 12, 7, 18,	6	12
13	10, 12, 9, 14, 16, 7, 18, 15, 15, 11, 8, 13, 11, 14, 16, 11, 13, 14, 18,	6,5	14,5
23	9, 10, 12, 13,17,10, 14, 16, 8, 12, 11, 12, 18	7	13
04	14, 13, 16, 18, 14, 16, 15, 12, 14, 16, 15, 16, 14, 15, 11, 13, 18, 19,	7	13
14	11, 13, 10, 15, 17, 8, 19, 16, 16, 12, 9, 14, 12, 15, 17, 12, 14, 15, 19,	7,5	15,5
24	10, 11, 13, 14, 18, 11, 15, 17, 9, 13, 12, 13, 19	8	14
05	5, 10, 4, 6, 9, 6, 7, 2, 5, 5, 9, 12, 4, 1, 6, 8, 7, 4, 3, 11, 5, 7, 8, 3, 4, 6,	0,4	4
15	8, 7, 11, 6, 1, 5, 2, 7, 6, 5, 9, 4, 6, 8, 10, 5, 1, 7, 9, 3, 8,2, 1, 4	0,5	6,5
25		0,6	5
06	6,9,7,2,5,13,10,6,6,3,8,7,11,8,5,4,12,5,7,6,8,9,4,5,7,9,8,12,7,2,6,3,8,	1,5	7,5
16	7,10,3,6,10,5,7,9,11,6,2,8,10,4,9,2,5	1	5
26		2	6
07	7,7,11,14,6,3,8,10,7,12,8,9,4, 9,6,5,13,6,8,7,9,10,5,6,8,10,9,13,8,3,	2,5	8,5
17	7,4,9,8,11,4,7,11,6,8,10,12,7,3,9,11, 5,10,3,6	2	6
27		3	7
08	8,4,10,12,6, 11,4,7,9,11,13,10,14,9,4,8, 5,10,9,12,5,8,12,7,	3,5	9,5
18	13,9,10,5, 8,8,12,15,7,4,9,11,8,10,7, 6,14,7,9,8,10, 11,6,7,9,11	3	7
28		4	8
09	9, 11,12, 7,8,10,12,14, 12,11, 6, 9,9,13,16, 8,	4,5	10,5
19	5,10,12,9,11,8,7,15,8,10,11,15,10,5,9,6,11,10,13, 6,9, 13,8,10,	4	8
29	12,14, 9,5, 11, 13,7,10,5, 8	5	9

Потрібно визначити статистичну ймовірність безвідмовної роботи $P(t)$ і відмови $Q(t)$ однакових пристроїв за 50 значеннями напрацювань до відмови для встановленого часу t_3 , зазначеного у табл. 2.1.1, графі 4. Далі, необхідно розрахувати значення ймовірності безвідмовної роботи $P^*(t)$ і відмови $Q^*(t)$ за першими 20 значеннями напрацювання до відмови, зазначеним для відповідного варіанта. Отримане значення $P^*(t)$ зіставити з $P(t)$. Потім для заданого напрацювання t_3 , потрібно розрахувати математичне очікування числа працездатних пристроїв $\bar{N}_p(t)$ при загальному обсязі партії $N_{\text{парт}}$. (таблиця 2.1.2) пристроїв, що знаходилися в експлуатації.

Таблиця 2.1.2. Обсяг партії пристроїв

Варіант	10	01	02	03	04	05	06	07	08	09
	20	11	12	13	14	15	16	17	18	19
	30	21	22	23	24	25	26	27	28	29
Обсяг партії	1000	100	200	300	400	500	600	700	300	900
$N_{\text{парт}}$, штук										

Методичні вказівки

1. Записати напрацювання 50 пристроїв до відмови, наведених у табл.2.1.1, у графі 2, у вигляді простого варіаційного ряду, тобто як порядок зростання T . У цьому ряді відзначити встановлений час t_3 . Підрахувати число працездатних пристроїв $N_n(t_3)$ на момент встановленого часу t_3 , (табл. 2.1.1, графа 4), тобто число пристроїв, у яких напрацювання до відмови більше заданого часу t_3 . Підрахувати число непрацездатних пристроїв $N_{\text{нп}}(t_3)$ на час t_3 , тобто число пристроїв, у яких напрацювання до відмови менші встановленого від часу t_3 . Підрахунки проведені правильно, якщо $N_n(t_3) + N_{\text{нп}}(t_3) = N = 50$.

Статистично ймовірність безвідмовної роботи пристрою для напрацювання t_3 , визначається за залежністю:

$$P(t_3) = \frac{N_n(t_3)}{N} \quad (2.1.1)$$

а ймовірність відмови пристрою за напрацювання t_3 визначається за залежністю:

$$Q(t_3) = \frac{N_{\text{нп}}(t_3)}{N} \quad (2.1.2)$$

де N – загальне число всіх пристроїв;

$N_{\text{п}}$ – число працездатних пристроїв;

$N_{\text{нп}}$ – число непрацездатних пристроїв.

Оскільки $N_{\text{п}}(t_3) + N_{\text{нп}}(t_3) = N$, неважко бачити, що сума ймовірності $P(t_3) + Q(t_3) = 1$.

Підрахунок цієї суми використовуйте для перевірки правильності своїх обчислень.

При виконанні розрахунків треба бути дуже уважним, оскільки отримані результати використовуються в подальшому, і помилка на першому кроці призводить до неправильних результатів усіх наступних розрахунків.

2. Записати перші 20 значень напрацювань до відмови пристроїв (табл. 2.1.1, графа 2) у вигляді простого варіаційного ряду і відзначити встановлений час t_3 . Підрахувати число працездатних пристроїв $N_{\text{п}}(t_3)$ і число непрацездатних пристроїв $N_{\text{нп}}(t_3)$ на встановлений момент часу t_3 . Визначити ймовірність безвідмовної роботи $P^*(t_3)$ і ймовірність відмови $Q^*(t_3)$ пристрою за залежностями 2.1.1, 2.1.2 відповідно. Перевірити правильність підрахунків. Вони проведені правильно, якщо $N_{\text{п}}(t_3) + N_{\text{нп}}(t_3) = N = 20$, а $P^*(t_3) + Q^*(t_3) = 1$. Отримані за напрацюваннями 20 пристроїв результати зіставити із результатами, отриманими за напрацюваннями 50 пристроїв.

3. Обчислити для заданого напрацювання t_3 , математичне сподівання числа працездатних пристроїв $\bar{N}_n(t_3)$ при загальному числі пристроїв, що знаходилися в експлуатації, зазначеному у табл. 2.1.2. Будемо вважати, що умови досвіду, що включає 50 спостережень, дозволили однозначно визначити ймовірність безвідмовної роботи пристроїв, тобто $P(t) = 1 - F(t)$. Тут $F(t)$ – функція розподілу випадкової величини «наробіток до відмови», що визначає ймовірність події $T \leq t$ при $N \rightarrow \infty$. Тоді з урахуванням формули (2.1.1)

математичне сподівання числа працездатних об'єктів $N_n(t_3)$ до напрацювання t_3 визначається за залежністю:

$$\bar{N}_n(t_3) = P(t_3) * N_{\text{парт}} \quad (2.1.3)$$

де $N_{\text{парт}}$ – обсяг партії пристроїв, що береться з таблиці 2.1.2.

2.2. ЗАДАЧА №2. РОЗРАХУНОК СЕРЕДНЬОГО НАПРАЦЮВАННЯ ДО ВІДМОВИ ПРИСТРОЮ РІЗНИМИ СПОСОБАМИ

Потрібно розрахувати середнє напрацювання пристроїв до відмови за даними простого варіаційного ряду (T_1), а потім за даними інтервального варіаційного ряду (T_2). Оцінити помилку при визначенні середнього напрацювання до відмови пристроїв T_2

Методичні вказівки

2.2.1. Середнє напрацювання до відмови пристроїв за даними простого варіаційного ряду.

Середнє напрацювання до відмови T_1 випадкової величини T за даними простого варіаційного ряду визначають за формулою:

$$T_1 = \frac{1}{N} * \sum_{i=1}^N T_i \quad (2.2.1)$$

де N – число всіх значень T_i в таблиці 2.1.1. Для усіх варіантів $N = 50$.

Помилки, які можна зробити при розрахунках, розділяють на технічні й методичні. Технічна помилка є наслідком неправильних дій обчислювача (помилка при введенні числа в калькулятор, повторне введення того самого числа, пропуск одного або декількох чисел і т.п.). Методична помилка визначається використанням методом і формулами розрахунку. Формула 2.2.1 не несе в собі методичної помилки, однак розрахунки з її допомогою при великих масивах значень звичайно трудомісткі і часто призводять до неправильних результатів через технічні помилки.

2.2.2. Середнє напрацювання до відмови пристроїв за даними інтервального варіаційного ряду.

Значно спростити і прискорити обчислення T_1 при великому обсязі партії пристроїв можна шляхом запису результатів спостережень (сукупності значень t_i) у інтервальный варіаційний ряд. З цією метою весь діапазон простого варіаційного ряду значень, що спостерігаються, поділяють на m інтервалів (або «розрядів»), призначають нижні t_{nj} і верхні t_{bj} межі кожного j -го інтервалу. Для кожного інтервалу визначають середину інтервалу t_j , і частоту відмов n_j в інтервалі, тобто число відмов, який припадає на кожен інтервал. Результати такого підрахунку записують у таблицю 2.2.1. Межі розподілу випадкової величини для кожного завдання будуть індивідуальні. Довжини Δt всіх інтервалів найчастіше приймають однаковими, а число інтервалів m встановлюють порядку 10. Для виконання даного завдання прийміть для всіх варіантів $\Delta t = 3 \cdot 10^3$, а $m = 4$. Для першого інтервалу нижня межа $t_{n1} = T_0$, а верхня межа $t_{b1} = T_0 + \Delta t$. Значення T_0 подані у таблиці 2.1.1, графа 3. Потім розташовані межі t_{bj} , t_{nj} інших інтервалів. Середини інтервалів визначите за залежністю $\bar{t}_j = \frac{t_{nj} + t_{bj}}{2}$. Число відмов, або їхню частоту, у кожному інтервалі легко підрахувати за даними таблиці 2.1.1, записаним у простий варіаційний ряд з оцінками меж інтервалів. Правильність підрахунків (у графі 4 таблиці 2.2.1) визначають, використовуючи співвідношення:

$$\sum_{j=1}^m n_j = N = 50 \quad (2.2.2)$$

Таблиця 2.2.1. Інтервальный варіаційний ряд напрацювань пристроїв до їх відмов

№ інтервалу, j	Інтервал Δt , 10^3 год. (понад – до включно, починаючи з T_0)	Середина інтервалу, t_j , 10^3 год.	Кількість відмов у інтервалі, n_j	Частота відмов у інтервалі, q_j	$F_i = q_j \cdot \Delta t$, 10^3	$q_j \cdot t_j$, 10^3
1	2	3	4	5	6	7
1						

2						
3						
4						
Σ			50	1		

Статистична ймовірність, або частота відмов q_j у j -му інтервалі (таблиця 2.2.1, графа 5 визначається за формулою:

$$q_j = \frac{n_j}{N} \quad (2.2.3)$$

Підрахуйте значення частоти відмов q_j для всіх інтервалів і перевірте правильність розрахунків, використовуючи вираження:

$$\sum_{i=1}^m q_j = 1 \quad (2.2.4)$$

Отримані значення q_j запишіть у графу 5 таблиці 2.2.1.

За даними таблиці 2.2.1 необхідно побудувати гістограму. Вона являє собою ряд прямокутників, ширина яких пропорційна інтервалу Δt , а висота кожного прямокутника – частоті відмов q_j , як це подано на рис. 2.2.1.

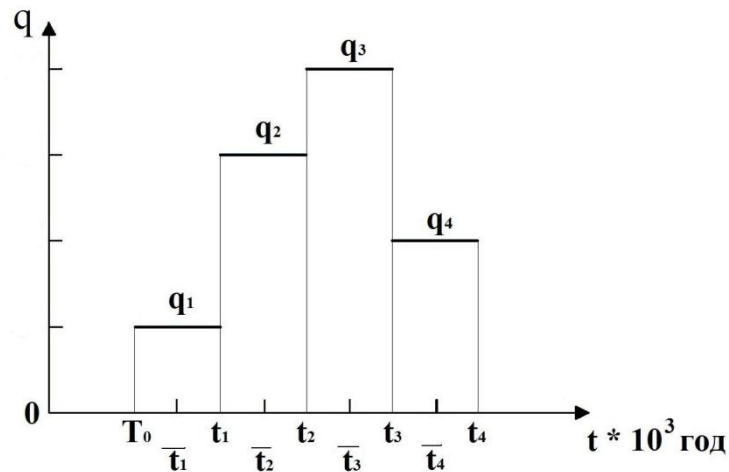


Рис. 2.2.1. Гістограма розподілу частот q_j відмов по інтервалах довговічності

Для побудови гістограми по осі абсцис треба відкласти: нижню межу інтервалу T_0 (див. табл. 2.1.1, графа 3), межі інтервалів t_j , від першого інтервалу до четвертого включно (табл. 2.1.1, графа 2), визначені за прийнятими значеннями T_0 і Δt . Над кожним інтервалом провести горизонтальну лінію на висоті,

пропорційної значенню частоті відмов q_j . Кінці горизонтальних ліній з'єднати з віссю абсцис. Площі прямокутників отриманої гістограми позначити $F_1..F_i..F_4$, обчислити їхнє значення за формулою $F_i = q_i * \Delta t$, а отримані значення записати у графу 6 табл. 2.2.1.

Розрахунку середнього значення випадкової величини як «представника» всіх її значень, що належать j -му інтервалу, приймають його середину \bar{t}_j . Тоді середнє напрацювання до відмови визначається за формулою:

$$\bar{T}_2 = \sum_{j=1}^m q_j * \bar{t}_j \quad (2.2.5)$$

Значення добутку $\bar{t}_j * q_i$ для кожного інтервалу і їхню суму треба обчислити і записати у графу 7 таблиці 2.2.1.

Визначення середнього напрацювання до відмови за даними інтервального варіаційного ряду вносять деяку методичну помилку, яка визначається за залежністю:

$$\delta_T = \frac{\bar{T}_2 - \bar{T}_1}{\bar{T}_1} * 100\% \quad (2.2.6)$$

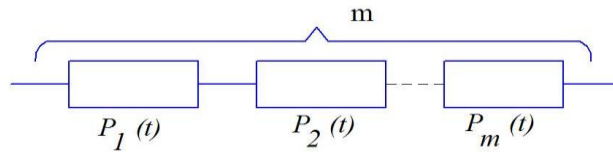
де \bar{T}_2 і \bar{T}_1 – середнє значення, що розраховуються по формулах 2.2.1 і 2.2.5.

2.3. ЗАДАЧА №3. ОЦІНКА НАДІЙНОСТІ РУХОМОГО СКЛАДУ ТА ЙОГО ЕЛЕМЕНТІВ ІЗ РІЗНИМИ СТРУКТУРНИМИ СХЕМАМИ

Різні складальні одиниці, деталі рухомого складу мають різну надійність, тому для визначення показників надійності таких складних пристроїв, якими є локомотиви та вагони, їх умовно поділяють на елементи і системи.

Використовуючи умовний розподіл на елементи і системи, можна досить просто і з прийнятною для практики точністю побудувати методику розрахунку надійності рухомого складу.

Послідовним з'єднанням елементів у теорії надійності називають з'єднання, при якому відмова хоча б одного елемента викликає відмову усієї системи в цілому.



Ймовірність безвідмовної роботи $P(t)$ системи з m елементів при ймовірності безвідмовної роботи i -го елемента рівної $p_i(t)$ визначається в такий спосіб:

$$P(t) = \prod_{i=1}^m p_i(t) \quad (2.3.1)$$

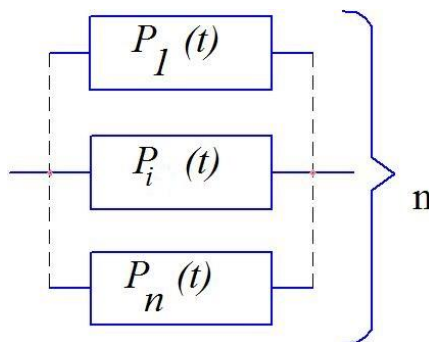
При рівнонадійних елементах:

$$P(t) = [p_i(t)]^m \quad (2.3.2)$$

Ймовірність відмови системи:

$$Q(t) = 1 - P(t) \quad (2.3.3)$$

Паралельним з'єднанням елементів у теорії надійності називають з'єднання, при якому відмова системи настає при відмові усіх без винятку елементів.



Ймовірність відмови системи з n елементів:

$$Q(t) = \prod_{i=1}^n q_i(t) \quad (2.3.4)$$

Ймовірність безвідмовної роботи:

$$P(t) = 1 - Q(t) = 1 - \prod_{i=1}^n q_i(t) = 1 - \prod_{i=1}^n [1 - p_i(t)] \quad (2.3.5)$$

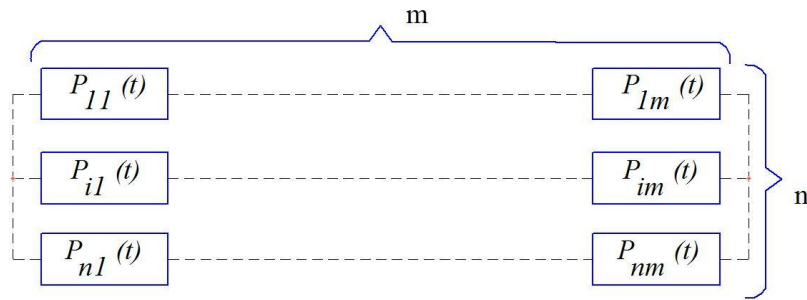
Якщо $q_1(t) = q_2(t) = q_i(t)$ то $P(t) = 1 - [q(t)]^n = 1 - [1 - p(t)]^n$ (2.3.6)

$$Q(t) = [q(t)]^n. \quad (2.3.7)$$

Використовують також поняття змішаного з'єднання елементів, що представляє одне або декілька комбінацій логічного послідовного і паралельного з'єднання елементів.

Для підвищення надійності рухомого складу використовується резервування, зокрема, елементів електричного ланцюга.

Розглянемо схему загального резервування:

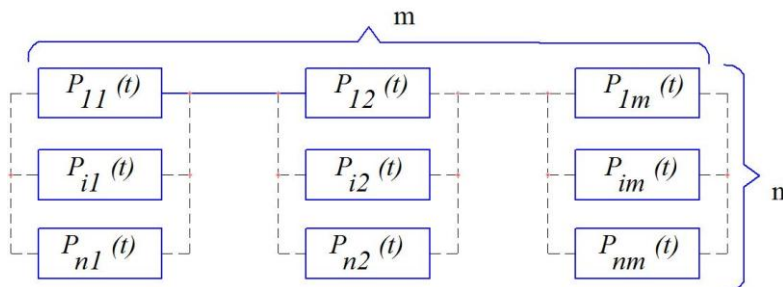


$$P(t) = 1 - \left[1 - \prod_{i=1}^m p_{ij}(t) \right]^n \quad (2.3.8)$$

При рівнонадійних елементах:

$$P(t) = 1 - \left[1 - p(t)^m \right]^n \quad (2.3.9)$$

Розглянемо схему роздільного резервування:



$$P(t) = \prod_{i=1}^m \left\{ 1 - [1 - p_{ij}(t)]^n \right\} \quad (2.3.10)$$

При рівнонадійних елементах:

$$P(t) = \left\{ 1 - [1 - p(t)]^n \right\}^m \quad (2.4.11)$$

2.3.1. Представимо електровоз у вигляді чотирьох послідовно з'єднаних елементів (рис. 2.3.1).

Знайти ймовірність безвідмовної роботи електровоза, якщо ймовірність безвідмовної роботи його елементів однакова і рівна $P(t)$ *.



Рис. 2.3.1

2.3.2. Ймовірність безвідмовної роботи системи (рис. 2.3.2) із загальним резервуванням і цілком надійним перемиканням $P^*(t)$. Визначити ймовірність безвідмовної роботи кожного елемента, якщо вони однакові.

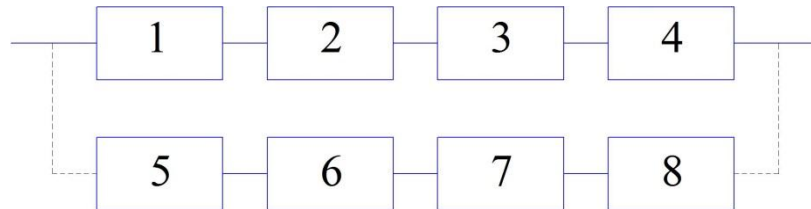


Рис. 2.3.2

2.3.3. Знайти ймовірність безвідмовної роботи системи (рис. 2.3.3), що містить роздільний резерв (6, 7, 8). Ймовірність безвідмовної роботи кожного елемента дорівнює $P(t)$ *.

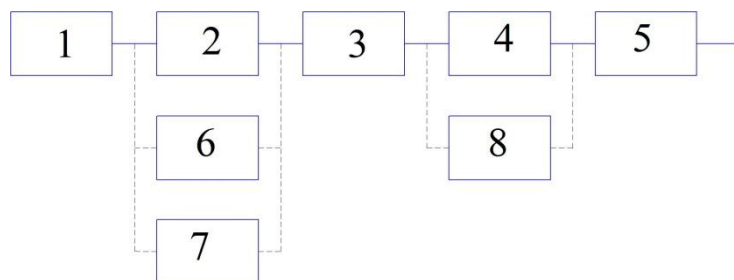


Рис. 2.3.3

**Зауваження.* Величину $P(t)$ * необхідно взяти із розрахунку по формулі

2.1.1 задачі №1, вираховану по 50-ти пристроях.

2.4. ЗАДАЧА №4. РОЗРАХУНОК НАДІЙНОСТІ НЕВІДНОВЛЮВАЛЬНОГО ОБЛАДНАННЯ

Сто однотипних невідновлювальних елементів випробувані на надійність ($N_0=100$). Кожний інтервал часу, протягом якого фіксувались відмови, рівний 50 год. Число зареєстрованих відмов ΔN_i наведено в табл. 2.4.1. Згідно з варіантом, розрахувати на основі цих даних: число відмов наростаючим підсумком як $\sum \Delta N_i$; число вузлів, які залишились працездатними в кінці даного інтервалу, як $N_0 - \sum \Delta N_i$; ймовірність безвідмовної роботи в даний момент часу

як $P_i = \frac{N_0 - \sum \Delta N_i}{N_0}$; частоту відмов у вигляді $f_i = \frac{\Delta N_i}{\Delta t} \frac{1}{N_0}$ інтенсивність відмов

$\lambda_i = \frac{\Delta N_i}{\Delta t} \frac{1}{N_0} \frac{1}{P_i} = \frac{f_i}{P_i}$. Результати розрахунків подати у вигляді таблиці 2.4.2 і рисунку

2.4.1 (див. додаток, задача №4).

Таблиця 2.4.1. Інтервали спостережень і кількість відмов в інтервалах

Тривалість інтервалу спостереження Δt , год.	Кількість відмов в даному інтервалі ΔN_i																													
	Номер варіанта																													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0-50	17	20	12	13	16	18	15	17	19	18	21	22	24	23	14	15	14	20	15	25	24	23	13	13	17	15	13	16	16	25
50-100	11	16	9	10	10	12	9	10	17	16	17	18	17	18	11	12	13	18	14	16	15	14	10	6	10	12	7	10	15	15
100-150	9	8	8	9	8	9	7	10	6	7	7	7	8	7	10	11	10	7	11	7	6	7	7	8	9	10	7	8	13	8
150-200	7	7	7	8	6	8	5	6	8	9	6	6	5	6	9	8	9	7	10	6	5	6	7	7	8	8	6	6	10	7
200-250	6	6	7	8	5	7	4	7	6	5	5	4	5	5	8	7	6	5	7	6	7	7	8	5	7	8	4	5	8	5
250-300	5	6	6	7	4	6	3	4	5	6	7	6	7	6	6	5	4	4	6	6	7	8	6	4	6	7	4	4	8	7
300-350	5	5	6	6	4	6	3	6	6	5	5	7	6	7	5	6	5	5	4	5	6	7	6	6	6	7	5	4	6	6
350-400	4	6	5	5	3	5	3	3	5	6	5	5	4	5	4	5	6	4	5	5	6	5	5	3	5	6	6	3	6	4
400-450	3	7	5	5	4	2	4	4	8	7	7	5	4	3	4	5	6	7	5	4	3	2	5	4	4	6	7	3	7	3
450-500	4	4	4	4	5	3	6	5	4	5	5	4	3	4	3	2	3	5	2	3	2	3	4	5	4	5	8	5	5	4
500-550	6	4	5	5	7	5	8	5	5	4	4	3	3	3	4	3	4	6	3	3	2	3	3	8	6	4	5	5	5	4
550-600	8	3	6	6	9	7	10	7	4	5	3	5	4	4	5	4	5	5	4	4	5	4	4	4	4	4	4	7	5	3
600-650	7	4	5	6	8	6	9	8	3	2	4	4	4	4	5	4	5	3	4	3	4	3	4	3	6	3	4	4	4	3
650-700	5	2	4	4	6	4	7	4	2	2	2	2	3	2	6	6	5	2	6	4	5	4	3	2	3	3	3	4	3	3
700-750	2	1	3	2	3	1	4	3	1	2	1	1	2	2	5	4	3	1	2	2	2	3	2	1	2	2	2	2	2	2
750-800	1	1	1	1	2	1	3	1	1	1	1	1	1	1	1	3	2	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

2.5. ЗАДАЧА №5. РОЗРАХУНОК ПОКАЗНИКІВ НАДІЙНОСТІ РУХОМОГО СКЛАДУ ЗА ДАНИМИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ І ВИПРОБУВАНЬ

У локомотивній службі залізниці ведеться спостереження за надійністю N_0 локомотивів приписного парку.

Починаючи з моменту статистичних даних про відмови, за пробіг l_1 тис. км було зареєстровано n_1 локомотивів, за наступні l_2 тис. км. – n_2 відмови і за наступні l_3 тис. км. пробігу n_3 відмов. Всі локомотиви, що відмовили, були замінені справними з резерву. Сумарний пробіг $L=l_1+l_2+l_3$ тис. км, інтервали пробігу $\Delta l_1=\Delta l_2=\Delta l_3$, тис. км. Вважаючи потік відмов найпростішим, визначити ймовірність безвідмовної роботи локомотивів, ймовірність їхніх відмов і параметр потоку відмов у функції пробігу.

Побудувати графік зміни показників надійності локомотивів залежно від пробігу.

Вихідні дані

Таблиця 2.5.1. Число електровозів, інтервали пробігу та кількість відмов

Варіант	N_0 , шт	l_1 , тис. км	n_1 , шт	l_2 , тис. км	n_2 , шт	l_3 , тис. км	n_3 , шт	L , тис. км
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	200	50	6	50	3	50	5	150
2	250	60	12	60	7	60	6	180
3	150	40	8	40	4	40	3	120
4	220	55	11	55	8	55	4	165
5	180	70	13	70	10	70	8	210
6	190	80	14	80	12	80	6	240
7	200	90	15	90	11	90	5	270
8	160	45	7	45	5	45	2	135
9	250	55	8	55	4	55	6	165
10	210	65	10	46	6	65	12	195
11	250	75	12	75	7	75	8	225
12	200	85	15	85	5	85	12	255
13	220	95	14	95	16	95	8	285
14	210	71	13	71	9	71	4	213
15	250	73	15	73	6	73	8	219
16	200	56	12	56	4	56	9	168
17	190	79	14	79	10	79	6	237
18	220	78	16	78	12	78	14	234
19	180	56	10	56	7	56	3	168

Закінчення таблиці 2.5.1

20	150	58	11	58	8	58	4	174
1	2	3	4	5	6	7	8	9
21	250	62	13	62	6	62	5	186
22	200	64	12	64	10	64	8	192
23	180	82	14	82	11	82	5	246
24	200	72	10	72	12	72	7	216
25	170	50	7	50	9	50	3	150
26	190	80	13	80	11	80	5	240
27	150	40	5	40	4	40	6	120
28	250	55	6	55	8	55	5	165
29	180	70	13	70	12	70	9	210
30	200	50	10	50	8	50	6	150

Методичні вказівки

Основні показники надійності на підставі статистичних даних можуть бути розраховані в такий спосіб.

Ймовірність безвідмовної роботи локомотива:

$$P(t) = \frac{N_0 - \sum \Delta N(t)}{N_0} \quad (2.5.1)$$

де N_0 число локомотивів на початку експлуатації;

$\Delta N(t)$ – число локомотивів, що відмовили в процесі експлуатації за час t .

Ймовірність відмов локомотива

$$Q(t) = 1 - P(t) = \frac{\sum \Delta N(t)}{N_0} \quad (2.5.2)$$

Параметр потоку відмов локомотива:

$$\omega(t) = \frac{\sum_1^{N_0} m_j(t + \Delta t) - \sum_1^{N_0} m_j(t)}{N_0 * \Delta t} \quad (2.5.3)$$

де $m_j(t + \Delta t)$ – число відмов j -го локомотива;

$m_j(t)$ – число відмов j -го локомотива до моменту визначення надійності (за час t);

$t + \Delta t$ – час роботи j -го локомотива на момент визначення надійності.

2.6. ЗАДАЧА №6. ВИЗНАЧЕННЯ ІМОВІРНОСТІ БЕЗВІДМОВНОЇ РОБОТИ СЕКЦІЇ ЕЛЕКТРОВОЗА ВЛ80^Р ІЗ УРАХУВАННЯМ НАЯВНОСТІ В НІЙ ВИПРЯМНО-ІНВЕРТОРНОГО ПЕРЕТВОРЮВАЧА (ВП), БЛОКА КЕРУВАННЯ ЦИМ ПЕРЕТВОРЮВАЧЕМ (БКВП) І ЧОТИРЬОХ ТЯГОВИХ ДВИГУНІВ (ТД)

2.6.1. На основі схеми з'єднання ВП, БКВП і ТД секції електровоза ВЛ80^Р, поданої на рис. 2.6.1. Необхідно розрахувати імовірність безвідмовної роботи секції електровоза ВЛ80^Р для чого потрібно скласти блок-схему надійності, враховуючи, що ВП і ТД є не резервними елементами, а БКВП побудовані так, що вони дублюють один одного.

При визначенні імовірності безвідмовної роботи секції величину імовірності безвідмовної роботи БКВП взяти подвійну величину із задачі 2.1, розраховану за формулою 2.1.1 по 50-ти приладах, ВП по 20-ти прикладах, ТД-середню величину між $P(t)_{50}$ і $P(t)_{20}$.

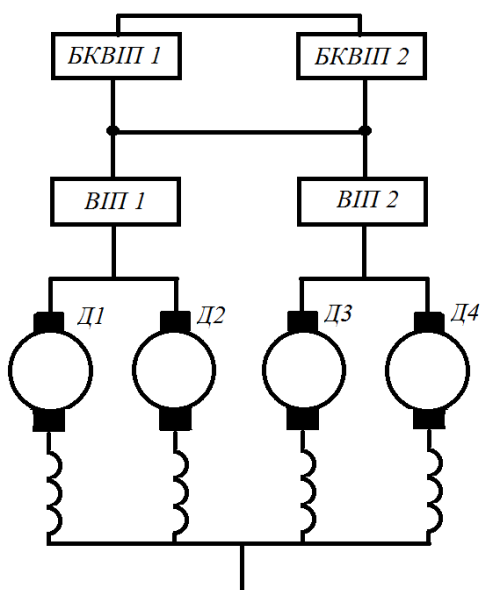


Рис. 2.6.1. Схема з'єднання випрямно-інверторного перетворювача, блоків керування ним і тягових двигунів секції електровоза ВЛ80^Р

Методичні вказівки

Оскільки ВП і тягові двигуни не резервуються, то при розрахунку надійності вважаємо їх елементами, з'єднаними послідовно. БКВП побудовані таким чином,

що вони дублюють один одного. Через це з точки зору надійності вважаємо їх з'єднаними паралельно. Побудована таким чином схема з'єднання вузлів секції електровоза ВЛ80^Р для розрахунку її надійності подана на рис. 2.6.2.

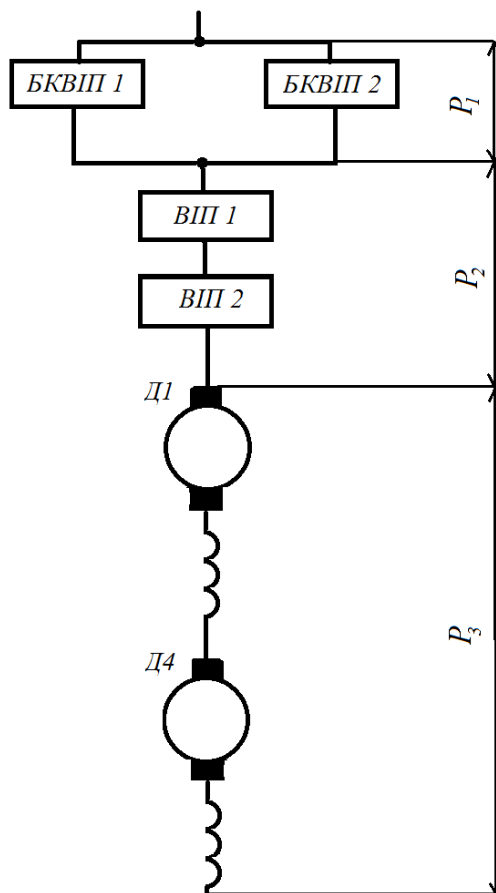


Рис. 2.6.2. Блок-схема надійності секції електровоза ВЛ80^Р

В цій схемі два дублюючих один одного БКВП з'єднані послідовно з двома ВП і чотирма тяговими двигунами. Через це імовірність P безвідмовної роботи секції електровоза ВЛ80^Р запишемо у вигляді:

$$P = P_1 * P_2 * P_3, \quad (2.6.1)$$

де P_1 – імовірність безвідмовної роботи БКВП при їхній спільній роботі; P_2 – те саме ВП; P_3 – те саме чотирьох тягових двигунів.

Імовірність відмови секції як подія протилежного:

$$Q = 1 - P = 1 - P_1 * P_2 * P_3 \quad (2.6.2)$$

Розглянемо визначення імовірності безвідмовної роботи кожного із цих вузлів. Для визначення імовірності безвідмовної роботи БКВП використаємо теорему про сумісні події, враховуючи, що кожен із цих блоків може бути в

працездатному стані і в стані відмов. Відповідно до сказаного:

$$P_1 = p_1 + p_2 - p_1 * p_2 \quad (2.6.3)$$

де p_1 і p_2 – імовірність безвідмовної роботи першого в другого блоків при їхній незалежній роботі.

При $p_1 = p_2 = p$ маємо $P_1 = 2p - p^2$. Оскільки імовірність відмов кожного БКВП рівна $q = 1 - p$, то імовірність відмов обох блоків $Q_1 = 1 - P_1 = q^2$.

Імовірність безвідмовної роботи ВІП:

$$P_2 = p_3 p_4 \quad (2.6.4)$$

де p_3 і p_4 – імовірність безвідмовної роботи кожного ВІП відповідно.

При $p_3 = p_4$ маємо $P_2 = p_3^2$, або $P_2 = (1 - q_3)^2$.

Імовірність відмов ВІП складе $Q_2 = 1 - P_2 = 1 - p_3^2$, або $Q_2 = 1 - (1 - q_3)^2$.

Імовірність безвідмовної роботи секції електровоза при відмові будь-якого із чотирьох тягових двигунів:

$$P_3 = p_5 p_6 p_7 p_8 = \prod_5^8 p_i \quad (2.6.5)$$

де p_i – імовірність безвідмовної роботи кожного із чотирьох тягових двигунів.

При $p_i = p_d$ маємо $p_3 = p_d^4$.

Імовірність відмови секції електровоза при відмові будь-якого з тягових двигунів $Q_3 = 1 - P_3 = 1 - p_d^4$.

Враховуючи, що $p_d = 1 - q_d$, запишемо $Q_3 = 1 - (1 - q_d)^4$.

Таким чином, на основі виразу (2.6.1) запишемо імовірність безвідмовної роботи однієї секції електровоза ВЛ80^р у вигляді:

$$P = (1 - q_1^2)(1 - q_3)^2(1 - q_d)^4 \quad (2.6.6)$$

й імовірність її відмови:

$$Q = 1 - P = 1 - (1 - q_1^2)(1 - q_3)^2(1 - q_d)^4 \quad (2.6.7)$$

3. ДОДАТОК. ПРИКЛАДИ РОЗРАХУНКУ ЗАДАЧ

Задача №1. Визначення статистичної ймовірності безвідмовної роботи та відмови обладнання.

Мета роботи та вихідні дані.

1. Потрібно визначити статистичну ймовірність безвідмовної роботи $P(t)$ і відмови $Q(t)$ однакових пристроїв за 50 значеннями напрацювань до відмови для встановленого часу t_3 , зазначеного у табл. 2.1.1, графі 4.

2. Необхідно розрахувати значення ймовірності безвідмовної роботи $P^*(t)$ і відмови $Q^*(t)$ за першими 20 значеннями напрацювання до відмови, зазначеним для відповідного варіанта. Отримане значення $P^*(t)$ зіставити з $P(t)$.

3. Для заданого напрацювання t_3 , потрібно розрахувати математичне очікування числа працездатних пристроїв $\overline{N_p}(t)$ при загальному обсязі партії $N_{\text{парт.}}$ (таблиця 2.1.2) пристроїв, що знаходилися в експлуатації.

Загальний обсяг партії $N_{\text{парт.}}=600$.

Масив напрацювання до відмови $T, 10^3$ год.	Задане значення $t, 10^3$ год.	Значення $T_0, 10^3$ год.
5, 10, 6, 7, 2, 5, 5, 9, 12, 4, 1, 6, 8, 7, 4, 3, 11, 4, 6, 5, 7, 8, 3, 4, 6, 8, 7, 11, 6, 1, 5, 2, 7, 6, 9, 2, 5, 9, 4, 6, 8, 10, 5, 1, 7, 9, 3, 8, 1, 4	6,5	0,5

Розрахунок

1. Статистична ймовірність безвідмовної роботи для напрацювання t визначається як:

$$P(t)=N_{\text{п}}(t)/N=20/50=0,4.$$

де $N_{\text{п}}(t)$ – число об'єктів працездатних на момент часу t .

Ймовірність відмови:

$$Q(t)=N_{\text{нп}}/N=30/50=0,6.$$

де $N_{\text{нп}}$ – число об'єктів, непрацездатних до напрацювання t .

Перевірка виконаного розрахунку:

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

$$0,4+0,6=1$$

2. Імовірність відмови за першими двадцяти значеннями напрацювання до відмови:

$$P^*(t) = N_{п20}(t) / N_{20};$$

$$P^*(t) = 7 / 20 = 0,35.$$

3. Для заданого значення напрацювання до відмови обладнання математичне очікування числа працездатного обладнання:

$$N_{п}(t) = N_{парт} * P(t);$$

$$N_{п}(t) = 600 * 0,4 = 240.$$

Відповідь: Імовірність безвідмовної роботи $P(t) = 0,4$; імовірність відмови дорівнює $Q(t) = 0,6$; імовірність відмови по першим двадцяти значенням $P^*(t) = 0,35$; Математичне очікування числа працездатного обладнання $N_{п}(t) = 240$

Задача №2. Розрахунок середнього напрацювання до відмови обладнання різними способами.

Мета роботи та вихідні дані

Потрібно розрахувати середнє напрацювання до відмови T приладу, що розглядається. Розрахунки виконати за вибраними значеннями T , що вказані в таблиці, а далі з використанням статистичного ряду.

Розрахунок

Визначаємо середнє напрацювання до відмови приладу, що розглядається:

$$T = \frac{\sum_{i=1}^{50} t_1}{N} = \frac{292}{50} = 5,84 * 10^3 (\text{год}).$$

Побудуємо статистичний ряд:

Підрахуємо імовірність q_i попадання випадкової величини на i -й інтервал.

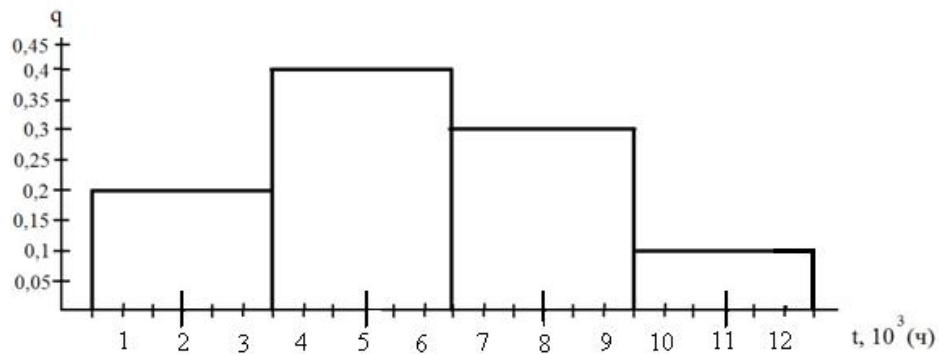
$$q_i = \frac{n_i}{N}$$

де n_i – число попадань в інтервал.

Таблиця 2. Вихідні дані для статистичного ряду

№ інтервалу, j	Інтервал Δt , 10^3 год. (понад – до включно, починаючи з T_0)	Середина інтервалу, \tilde{t}_j , 10^3 год	Кількість відмов у інтервалі, n_i	Частота відмов у інтервалі, q_i	$F_i = q_i * \Delta t$, 10^3	$q_i * \tilde{t}_j$, 10^3
1	2	3	4	5	6	7
1	$(0,5-3,5)*10^3$	2	10	0,20	0,6	0,4
2	$(3,5-6,5)*10^3$	5	20	0,40	1,2	2,0
3	$(6,5-9,5)*10^3$	8	15	0,30	0,9	2,4
4	$(9,5-12,5)*10^3$	11	5	0,10	0,4	1,1
Σ			50	1		

Побудуємо статистичний ряд



Розрахунок за допомогою статистичного ряду середнього напрацювання до відмови:

$$T_2 = \sum_{i=1}^{50} \tilde{t}_i * q_i$$

$$T_1 = 2,0 * 0,20 + 5,0 * 0,40 + 8,0 * 0,30 + 11,0 * 0,10 = 5,9 * 10^3 \text{ (год)}$$

Визначимо похибку розрахунків:

$$\delta = \frac{T_1 - T_2}{T_2} * 100\%$$

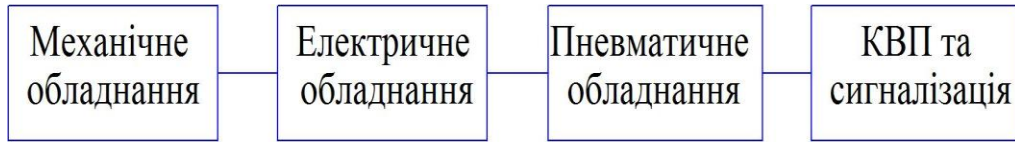
$$\delta = \frac{(5,84 - 5,9) * 10^3}{5,9 * 10^3} * 100\% = 1,02\%$$

Відповідь: $T = 5,84 * 10^3$, $T_1 = 5,9 * 10^3$, $\delta = 1,02\%$

Задача №3. Оцінка надійності рухомого складу і його елементів із різними структурними схемами

Мета роботи та вихідні дані

3.1. Уявимо електровоз у вигляді 4-х послідовно з'єднаних елементів.

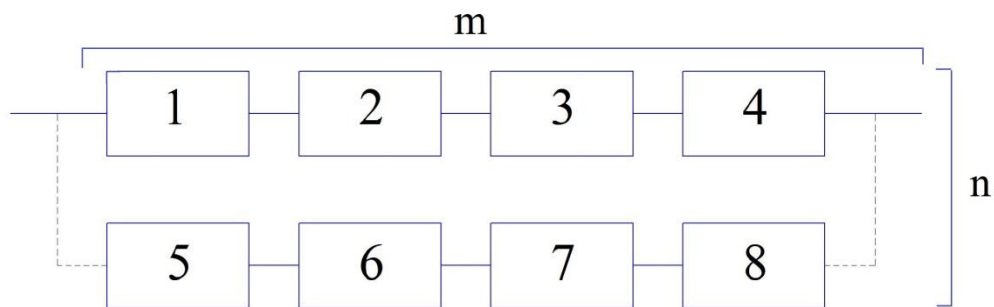


Знайти ймовірність безвідмовної роботи електровоза, якщо ймовірність безвідмовної роботи його елементів однакові і рівні 0,4.

При рівно-надійних елементах ймовірність безвідмовної роботи електровоза:

$$P(t) = p_1(t) * p_2(t) * p_3(t) * p_4(t) = (p_1(t))^4 = 0,4^4 = 0,0256$$

3.2. Ймовірність безвідмовної роботи системи



із спільним резервуванням і цілком надійним перемиканням рівна 0,4. Визначити ймовірність безвідмовної роботи кожного елемента, якщо вони однакові.

$$P(t) = 1 - [1 - p(t)^m]^n ;$$

$$[1 - p(t)^m]^n = 1 - P(t)$$

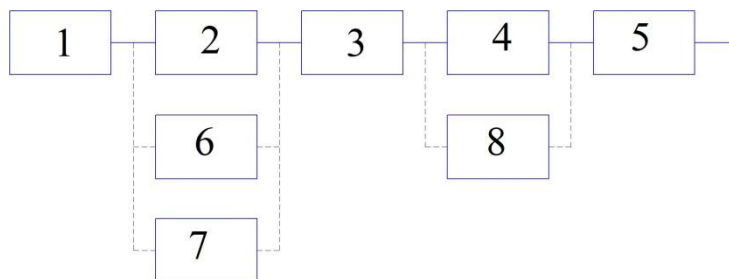
$$1 - p(t)^m = \sqrt[n]{1 - P(t)}$$

$$p(t)^m = 1 - \sqrt[n]{1 - P(t)}$$

$$p(t) = \sqrt[m]{1 - \sqrt[n]{1 - P(t)}}$$

$$p(t) = \sqrt[4]{1 - \sqrt[2]{1 - 0,4}} = 0,69 .$$

3.3. Знайти ймовірність безвідмовної роботи системи,



яка має роздільний резерв (6,7,8). Ймовірність безвідмовної роботи кожного елемента дорівнює 0,4.

$$P(t)_{2,6,7} = 1 - (1 - p(t))^3;$$

$$P(t)_{2,6,7} = 1 - (1 - 0,4)^3 = 0,784;$$

$$P(t)_{4,8} = 1 - (1 - p(t))^2;$$

$$P(t)_{4,8} = 1 - (1 - 0,4)^2 = 0,64;$$

$$P(t) = P(t)_1 * P(t)_{2,6,7} * P(t)_3 * P(t)_{4,8} * P(t)_5;$$

$$P(t) = 0,4 * 0,784 * 0,4 * 0,64 * 0,4 = 0,032.$$

Задача №4 Розрахунок надійності невідновлюваного обладнання

Мета роботи та вихідні дані

Сто однотипних невідновлювальних елементів випробувані на надійність ($N_0=100$). Кожний інтервал часу, протягом якого фіксувались відмови, рівний 50 год. Число зареєстрованих відмов ΔN_i наведено в табл. 2.4.1.

Таблиця 2.4.1

Тривалість інтервалу спостереження Δt , год.	Кількість відмов в даному інтервалі ΔN_i
0	0
0-50	17
50-100	11
100-150	9
150-200	7
200-250	6
250-300	5
300-350	5
350-400	4
400-450	3
450-500	4
500-550	6

550-600	8
600-650	7
650-700	5
700-750	2
750-800	1

Треба розрахувати на основі цих даних: число відмов наростаючим підсумком як $\sum \Delta N_i$; число вузлів, які залишились працездатними в кінці даного інтервалу, як $N_0 - \sum \Delta N_i$; ймовірність безвідмовної роботи в даний момент часу як

$$P_i = \frac{N_0 - \sum \Delta N_i}{N_0}; \text{ частоту відмов у вигляді } f_i = \frac{\Delta N_i}{\Delta t} \frac{1}{N_0} \text{ і інтенсивність відмов}$$

$$\lambda_i = \frac{\Delta N_i}{\Delta t} \frac{1}{N_0} \frac{1}{P_i} = \frac{f_i}{P_i}. \text{ Результати розрахунків подати у вигляді таблиці і рисунку.}$$

Розрахунок

Послідовність визначення частоти відмов та інтенсивності відмов така:

На першому інтервалі часу 0–50 год.

Для цього інтервалу маємо: $\Delta N_1=17$; $N_0 - \sum \Delta N_1=100-17=83$;

$$P_1 = \frac{N_0 - \sum \Delta N_1}{N_0} = \frac{83}{100} = 0,83; f_1 = \frac{\Delta N_1}{\Delta t} \frac{1}{N_0} = \frac{17}{50} \frac{1}{100} = 3,4 * 10^{-3}, 1/\text{год}; \lambda_1 = \frac{f_1}{P(0)} = \frac{3,4}{1,0} = 3,4 * 10^{-3}, \frac{1}{\text{год}}$$

В знаменнику виразу λ_1 стоїть не P_1 , як може здатись на перший погляд, а $P(0)=1$, оскільки згідно з визначенням інтенсивність відмов визначається по числу елементів, що безвідмовно пропрацювали до даного моменту часу. Для першого інтервалу часу цей момент є початком відліку, тобто $t=0$, для якого $P(t)=P(0)=1$.

На другому інтервалі часу 50–100 год:

Для цього інтервалу маємо: $\Delta N_2=11$; $\Delta N_{1,2} = 28$; $N_0 - \Delta N_{1,2}=100-28=72$;

$$P_2 = \frac{72}{100} = 0,72; f_2 = \frac{11}{50} \frac{1}{100} = 2,2 * 10^{-3}, 1/\text{год}; \lambda_2 = \frac{f_2}{P_1} = \frac{2,2}{0,83} * 10^{-3} = 2,65 * 10^{-3}, \frac{1}{\text{год}}$$

В знаменнику λ_2 стоїть ймовірність безвідмовної роботи вузлів, що пропрацювали до моменту початку другого інтервалу, тобто ймовірність безвідмовної роботи вузлів в кінці першого інтервалу, яку ми отримаємо рівній $P_1=0.83$ (другий рядок табл. 2.4.2, гр. 5).

Аналогічним чином підраховані решта значень показників на третьому-

шістнадцятому інтервалах часу, що подані в табл. 2.4.2.

Таблиця 2.4.2

Тривалість інтервалу спостереження Δt , год.	Кількість відмов в даному інтервалі, ΔN	Кількість відмов зростаючим підсумком, $\sum \Delta N_i$	Кількість працездатних вузлів, що залишилися, $N_0 - \sum \Delta N_i$	Ймовірність без відмовної роботи, $P_i = \frac{N_0 - \sum \Delta N_i}{N_0}$	Частота відмов $f_i = \frac{\Delta N_i}{\Delta t} \cdot \frac{1}{N_0} \cdot 10^{-3}$, 1/год.	Інтенсивність відмов $\lambda_i = \frac{f_i}{P_i} \cdot 10^{-3}$, 1/год.
1	2	3	4	5	6	7
0	0	0	100	1	-	-
0-50	17	17	83	0,83	3,4	3,4
50-100	11	28	72	0,72	2,2	2,65
100-150	9	37	63	0,63	1,8	2,5
150-200	7	44	56	0,56	1,4	2,23
200-250	6	50	50	0,5	1,2	2,12
250-300	5	55	45	0,45	1	2
300-350	5	60	40	0,4	1	2,22
350-400	4	64	36	0,36	0,8	2
400-450	3	67	33	0,33	0,6	1,68
450-500	4	71	29	0,29	0,8	2,42
500-550	6	77	23	0,23	1,2	4,15
550-600	8	85	15	0,15	1,6	6,95
600-650	7	92	8	0,08	1,4	9,3
650-700	5	97	3	0,03	1	12,5
700-750	2	99	1	0,01	0,4	13,3
750-800	1	100	0	0	0,2	20

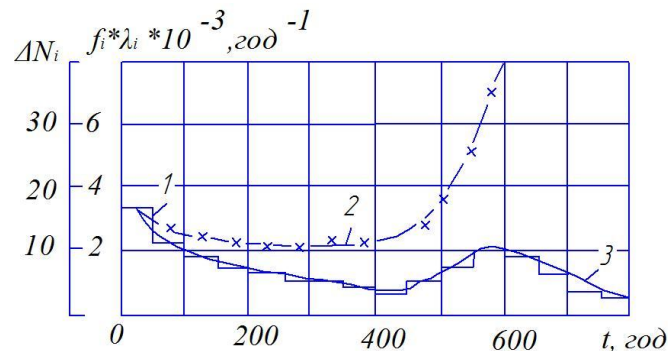


Рис. 2.4.1. Гістограма відмов (1), графіки інтенсивності відмов (2) і частоти відмов (3)

Задача №5. Розрахунок показників надійності рухомого складу за даними експлуатації і випробувань.

Мета роботи та вихідні дані.

В локомотивній службі залізниці ведеться спостереження за надійністю 100 локомотивів приписного парку. Починаючи з моменту збору даних про відмови, за пробіг 50 тис. км було зареєстровано 3 відмови локомотивів, за наступні 50 тис. км

пробігу – 2 відмови і за наступні 50 тис. км пробігу – 3 відмови. Всі локомотиви, що відмовили, були замінені справними локомотивами із резерву. Враховуючи потік відмов найпростішим, визначити імовірність безвідмовної роботи локомотивів, імовірність їх відмов і параметр потоку відмов в функції пробігу.

Побудувати графік зміни показників надійності локомотивів в залежності від пробігу

Розрахунок

Маємо сумарний пробіг $L=150$ тис. км, інтервали пробігу $\Delta l_1=\Delta l_2=\Delta l_3=50$ тис.км.

Визначимо показники надійності на першому інтервалі пробігу $0\div 50\cdot 10^3$ км. На кінець цього інтервалу імовірність безвідмовної роботи електровоза згідно з формулою 2.5.1:

$$P(50\cdot 10^3) = \frac{N_0 - \sum \Delta N(50\cdot 10^3)}{N_0} = \frac{100-3}{100} = 0,97.$$

Імовірність відмови згідно з формулою 2.5.2:

$$Q(50\cdot 10^3) = 1 - P(50\cdot 10^3) = 1 - 0,97 = 0,03.$$

Параметр потоку відмов в цьому ж інтервалі пробігу згідно з формулою 2.5.3:

$$\omega(50\cdot 10^3) = \frac{\sum_1^{N_0} m_j(50\cdot 10^3) - \sum_1^{N_0} m_j(0)}{N_0 \cdot \Delta l_1} = \frac{3-0}{100\cdot 50\cdot 10^3} = 0,6\cdot 10^{-6} \text{ 1/км}$$

Для другого інтервалу пробігу $50\cdot 10^3\div 100\cdot 10^3$ км знайдемо аналогічно та отримаємо:

$$P_{100\cdot 10^3} = \frac{N_0 - \Delta N(100\cdot 10^3)}{N_0} = \frac{100 - (3 + 2)}{100} = 0,95.$$

Імовірність відмов:

$$P(100\cdot 10^3) = \frac{N_0 - \sum \Delta N(100\cdot 10^3)}{N_0} = \frac{100 - (3+2)}{100} = 0,95.$$

Параметр потоку відмов на другому інтервалі пробігу:

$$\omega(100\cdot 10^3) = \frac{\sum_1^{N_0} m_j(100\cdot 10^3) - \sum_1^{N_0} m_j(50\cdot 10^3)}{N_0 \cdot \Delta l_2} = \frac{5-3}{100\cdot 50\cdot 10^3} = 0,4\cdot 10^{-6} \text{ 1/км}$$

Для третього інтервалу пробігу $100\cdot 10^3\div 150\cdot 10^3$ км знайдемо аналогічним

ЧИНОМ:

$$P(150 \cdot 10^3) = \frac{N_0 - \sum \Delta N(150 \cdot 10^3)}{N_0} = \frac{100 - (3 + 2 + 3)}{100} = 0,92;$$

$$Q(150 \cdot 10^3) = 1 - P(150 \cdot 10^3) = 1 - 0,92 = 0,08;$$

$$\omega(150 \cdot 10^3) = \frac{\sum_1^{N_0} m_j(150 \cdot 10^3) - \sum_1^{N_0} m_j(100 \cdot 10^3)}{N_0 \cdot \Delta l_3} = \frac{8 - (3 + 2)}{100 \cdot 50 \cdot 10^3} = 0,6 \cdot 10^{-6} \text{ 1/км}$$

Результат розрахунку подані в табл. 4.5.1 і на рис 4.5.1.

Таблиця 4.5.1.

Пробіг, $\times 10^3$ км	Показники надійності		
	$P(l)$	$Q(l)$	$\omega(l) \cdot 10^{-6}$, 1/км
50	0,97	0,03	0,6
100	0,95	0,05	0,4
150	0,92	0,08	0,6

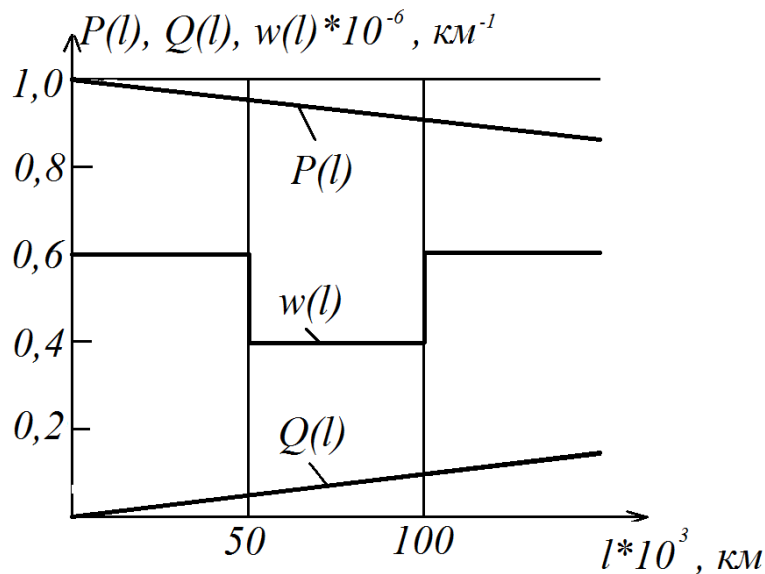


Рис. 4.5.1. Графік зміни показників надійності локомотивів залежно від пробігу

Задача №6. Визначення імовірності безвідмовної роботи секції електровоза ВЛ80^Р із урахуванням наявності в ній випрямно-інверторного перетворювача (ВІП), блока керування цим перетворювачем (БКВІП) і чотирьох тягових двигунів (ТД).

Мета роботи та вихідні дані

На основі схеми з'єднання ВІП, БКВІП і ТД секції електровоза ВЛ80^Р, поданої на рис. 2.6.1. Необхідно розрахувати імовірність безвідмовної роботи секції електровоза ВЛ80^Р для чого потрібно скласти блок-схему надійності, враховуючи, що ВІП і ТД є не резервними елементами, а БКВІП побудовані так, що вони дублюють один одного.

При визначенні імовірності безвідмовної роботи секції величина ймовірності безвідмовної роботи БКВІП взята подвійна величина із задачі 2.1, яка розрахована по формулі 2.1.1 по 50-ти приладам і складає 0,8, ВІП по 20-ти приладам в складає 0,75, ТД-середню величину між $P(t)_{50}$ і $P(t)_{20}$ і складає 0,7.

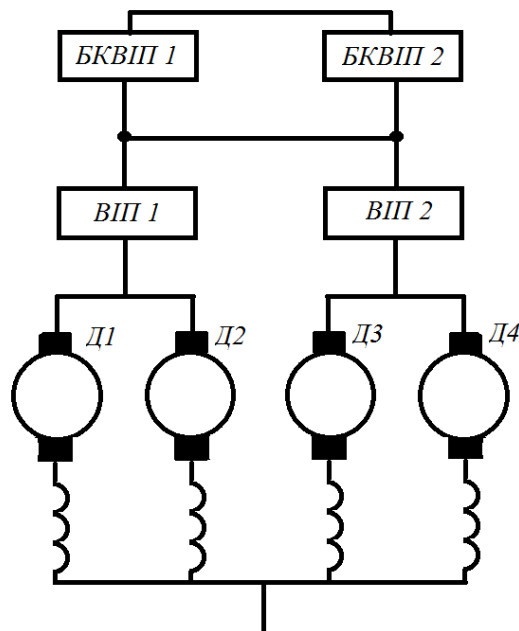


Рис. 2.6.1. Схема з'єднання випрямно-інверторного перетворювача, блоків керування ним і тягових двигунів секції електровоза ВЛ80^Р

Розрахунок

Оскільки ВІП і тягові двигуни не резервуються, то при розрахунку надійності вважаємо їх елементами, з'єднаними послідовно. БКВІП побудовані таким чином, що вони дублюють один одного. Через це з точки зору надійності вважаємо їх з'єднаними паралельно. Побудована таким чином схема з'єднання вузлів секції електровоза ВЛ80^Р для розрахунку її надійності подана на рис. 2.6.2.

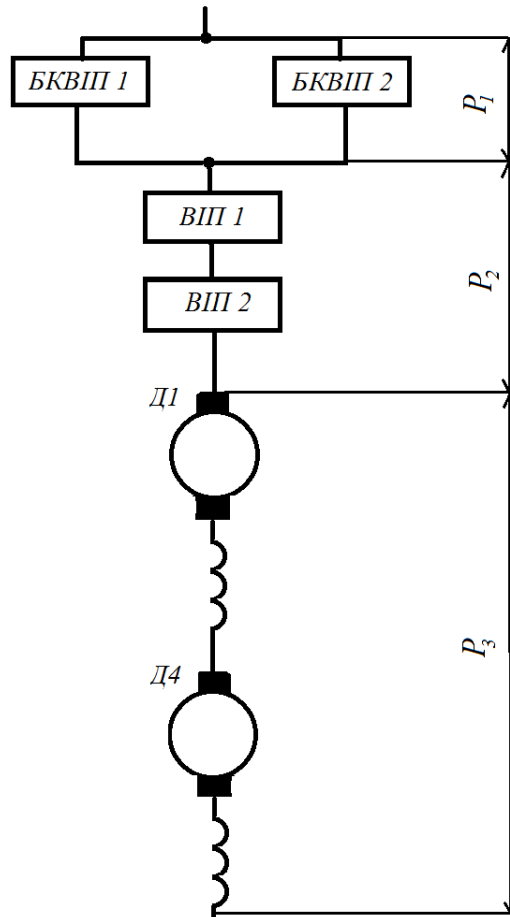


Рис. 2.6.2. Блок схема надійності секції електровоза ВЛ80^Р

У цій схемі два дублюючих один одного БКВП з'єднані послідовно з двома ВП і чотирма тяговими двигунами. Через це імовірність P безвідмовної роботи секції електровоза ВЛ80^Р запишемо у вигляді:

$$P = P_1 * P_2 * P_3, \quad (2.6.1)$$

де P_1 – імовірність безвідмовної роботи БКВП при їхній спільній роботі; P_2 – те саме ВП; P_3 – те саме чотирьох тягових двигунів.

Імовірність відмови секції як подія протилежного:

$$Q = 1 - P = 1 - P_1 * P_2 * P_3 \quad (2.6.2)$$

Розглянемо визначення імовірності безвідмовної роботи кожного із цих вузлів. Для визначення імовірності безвідмовної роботи БКВП використаємо теорему про сумісні події, враховуючи, що кожен із цих блоків може бути в працездатному стані і в стані відмов. Відповідно до зазначеного:

$$P_1 = p_1 + p_2 - p_1 * p_2 \quad (2.6.3)$$

де p_1 і p_2 – імовірності безвідмовної роботи першого в другого блоків при

їхній незалежній роботі.

При $p_1=p_2=p$ маємо $P_1=2p-p^2$. Оскільки імовірність відмов кожного БКВП рівна $q=1-p$, то імовірність відмов обох блоків $Q_1=1-P_1=q^2$. Імовірність безвідмовної роботи ВП:

$$P_2=p_3p_4 \quad (2.6.4)$$

де p_3 і p_4 – імовірність безвідмовної роботи кожного ВП відповідно.

При $p_3=p_4$ маємо $P_2=p_3^2$, або $P_2=(1-q_3)^2$.

Імовірність відмов ВП складе $Q_2=1-P_2=1-p_3^2$, або $Q_2=1-(1-q_3)^2$

Імовірність безвідмовної роботи секції електровоза при відмові будь-якого із чотирьох тягових двигунів:

$$P_3 = p_5 p_6 p_7 p_8 = \prod_5^8 p_i \quad (2.6.5)$$

де P_i – імовірність безвідмовної роботи кожного із чотирьох тягових двигунів.

При $p_i = p_d$ маємо $P_3 = p_d^4$.

Імовірність відмови секції електровоза при відмові будь-якого з тягових двигунів $Q_3=1-P_3=1-p_d^4$.

Враховуючи, що $p_d = 1 - q_d$, запишемо $Q_3=1-(1-q_d)^4$.

Таким чином, на основі виразу (2.6.1) запишемо імовірність безвідмовної роботи одної секції електровоза ВЛ80^р у вигляді:

$$P=(1-q_1^2)(1-q_3)^2(1-q_4)^4 \quad (2.6.6)$$

й імовірність її відмови:

$$Q=1-P=1-(1-q_1^2)(1-q_3)^2(1-q_4)^4. \quad (2.6.7)$$

На основі вихідних даних: ймовірність безвідмовної роботи БКВП при їхній спільній роботі згідно з формулою 2.6.3 складе:

$$P_1=2*0,8-0,8^2=0,96.$$

Імовірність безвідмовної роботи ВП згідно з формулою 2.6.4:

$$P_2=0,7^2=0,49.$$

Імовірність безвідмовної роботи 4-х ТД згідно з формулою 2.6.5:

$$P_3=0,75^4=0,317.$$

Тоді імовірність безвідмовної роботи секції електровоза ВЛ80^Рзгідно з формулою 2.6.1 складе:

$$P=0,96*0,49*0,317=0,149.$$

СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. ДСТУ 2860 – 94. НАДІЙНІСТЬ ТЕХНІКИ. Терміни та визначення. – К.: Держ стандарт 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. – 350 с.
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. Черних Ю.М. Методичні вказівки до практичних занять з курсу «Основи надійності вагонів» – К.: КІЗТ, 2001.
8. Поленюк А.В., Черных Ю.М. Методические указания по проведению практических занятий по курсу «Надежность ЭПС». – Днепропетровск: ДИИТ, 1991.– 18 с.
9. Четвергов В.А., Пузанков А.Д. Надежность локомотивов. – М.:Маршрут, 2003.– 415 с.
10. Черних Ю.М. Основи теорії надійності електрорухомого складу: Конспект лекцій з дисципліни. Частина 1. – К.: ДЕТУТ, 2015. – 32 с.
11. Черних Ю.М. Основи теорії надійності електрорухомого складу: Конспект лекцій з дисципліни. Частина 2. – К.: ДЕТУТ, 2015. – 47 с.

Черних Юрій Максимович

Методичні вказівки

до виконання розрахунково-графічної роботи
з дисципліни «Основи теорії надійності рухомого складу»
для студентів напряму підготовки
6.050702 «Електромеханіка» усіх форм навчання

Відповідальний за випуск: Черних Ю.М., к.т.н., доцент кафедри
«Тяговий рухомий склад залізничного транспорту»

Редактор: Щербак Н.В.

Макет і верстка: Андрієнко В.О.

Підписано до друку 13.04.16 Формат 60/84/16.

Зам. № 39/16

Підготовлено до подання в електронну бібліотеку Редакційно-видавничим відділом
ДЕТУТ

Свідоцтво про реєстрацію від 27.12.2007. року. Серія ДК № 3079
03049, м. Київ-49, вул. Миколи Лукашевича, 19.