

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ МОРСЬКИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Кафедра «Підйомно-транспортні машини та інжиніринг портового
технологічного обладнання»

НАДІЙНІСТЬ МАШИН

методичні вказівки до виконання практичних занять

для здобувачів вищої освіти другого (магістерського) рівня
очної (денної) форми навчання
спеціальності
G11 «Машинобудування»
спеціалізації
G11.05 «Транспортні засоби портової інфраструктури»

Надійність машин. Методичні вказівки до виконання практичних занять для здобувачів вищої освіти другого (магістерського) рівня очної (денної) форми навчання спеціальності G11 «Машинобудування» спеціалізації G11.05 «Транспортні засоби портової інфраструктури» – Одеса: Одеський національний морський університет, 2026. – 16 с.

Укладач: Стрельбіцький В.В. – доцент кафедри "Підйомно-транспортних машин та інжиніринг портового технологічного обладнання" Одеського національного морського університету.

Методичні вказівки схвалено кафедрою «Підйомно-транспортні машини та інжиніринг портового технологічного обладнання» (протокол № 17 від 25.06.2026р).

Рецензент: Семенов П.О., к.т.н., доцент кафедри ПТМта ІПТО

Зміст

Вступ	3
Практичне заняття №1.....	4
Практичне заняття №2.....	9
Практичне заняття №3.....	13

ВСТУП

За своїм впливом на результати експлуатації машин показники їх надійності є такими ж технічними характеристиками, як її продуктивність, геометричні параметри, споживання енергії, вартість. Без урахування показників надійності неможливе ефективне планування використання машин, їх технічного обслуговування і ремонту. Необхідні значення показників надійності, як і інших технічних характеристик, закладаються і забезпечуються на стадії проектування і виготовлення машини, проте, збереження значення цих показників у часу залежить винятково від якості експлуатації.

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ №1

РОЗРАХУНОК ПОКАЗНИКІВ НАДІЙНОСТІ МАШИН ПРИ ПОСЛІДОВНОМУ З'ЄДНАННІ ЇХ СКЛАДОВИХ ЕЛЕМЕНТІВ

1.1 Мета роботи

Отримати практичні навички щодо розрахунку показників надійності машин при послідовному з'єднанні їх складових елементів.

1.2 Короткі теоретичні відомості

При послідовному з'єднанні відмова одного елементу приводить до відмови об'єкту в цілому, тобто об'єкт з послідовно з'єднаних елементів є працездатним тоді, коли працездатні всі його елементи. Послідовне з'єднання елементів показано на рис. 1.1, при цьому воно складається з декількох (не менше двох) елементів [1,2].

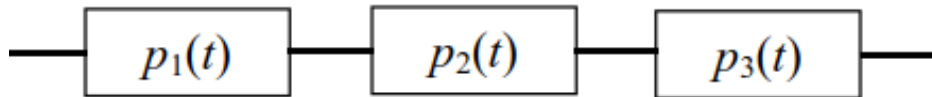


Рисунок 1.1 - Послідовне з'єднання елементів машин

Під час розрахунку надійності при послідовному з'єднанні елементів вводиться низка припущень: відмови елементів є випадковими подіями, і не залежать одна від одної; відмова одного елементу приводить до відмови всього об'єкту; елементи, що відмовили, не відновлюються.

Ймовірність безвідмовної роботи всього об'єкту за час t згідно теореми множення ймовірностей записують у наступному вигляді [1,2]:

$$P_c(t) = p_1(t) \cdot p_2(t) \dots p_n(t) = \prod_{i=1}^N p_i(t) \quad (1.1)$$

де N – кількість елементів об'єкту;

$p_i(t)$ – ймовірність безвідмовної роботи i -го елементу об'єкту,

$i = 1, \dots, N$.

Якщо $p_i(t) = p(t)$, то

$$P_c(t) = p^N(t) \quad (1.2)$$

Взаємозв'язок ймовірності безвідмовної роботи елементів об'єкту з інтенсивністю відмов λ [1,2]

$$P_c(t) = \exp \left[- \int_0^t \lambda_c(\tau) d\tau \right] \quad (1.3)$$

де $\lambda_i(t)$ – інтенсивність відмов i -го елементу.

$$\lambda_c(t) = \sum_{i=1}^N \lambda_i(t) \quad (1.4)$$

Якщо об'єкт складається з великої кількості однотипних елементів з приблизно однаковою надійністю, однаковою кількістю типів елементів s і однаковою кількістю елементів кожного типу N_j ($j = 1, \dots, s$) [1,2]

$$P_c(t) = \exp\left(-\sum_{j=1}^s N_j \int_0^t \lambda_j(t) dt\right). \quad (1.5)$$

У разі експоненціального закону оцінки надійності та умов нормальної експлуатації об'єкту, коли $\lambda_i(t) = \lambda_i = \text{const}$, ці вирази мають вигляд

$$P_c(t) = \exp\left(-\sum_{j=1}^s N_j \int_0^t \lambda_j(t) dt\right). \quad (1.6)$$

$$P_c(t) = \exp(-\lambda_c t) = \exp\left(-t \sum_{j=1}^s N_j \lambda_j\right) \quad (1.7)$$

Ймовірність відмови об'єкту на інтервалі часу $(0, t)$:

$$Q_c(t) = 1 - P_c(t) = 1 - \prod_{i=1}^N p_i(t). \quad (1.8)$$

Частота відмов $f_c(t)$ визначається співвідношенням

$$f_c(t) = -\frac{dP_c(t)}{dt}. \quad (1.9)$$

Інтенсивність відмов

$$\lambda_c(t) = \frac{f_c(t)}{P_c(t)}. \quad (1.10)$$

Середнє напрацювання об'єкту до першої відмови

$$m_{tc} = \int_0^{\infty} P_c(t) dt \quad (1.11)$$

З урахуванням співвідношення $m_t = 1/\lambda$ вираз для середнього часу безвідмовної роботи має вигляд

$$m_{tc} = 1 / \sum_{i=1}^N \lambda_i \quad (1.12)$$

$$m_{tc} = 1 / \sum_{j=1}^s N_j \lambda_j \quad (1.13)$$

Під час оцінки надійності об'єкту з елементами, що працюють неодноразово, зручно використовувати показник надійності $A = \lambda t$. Позначивши $A_c = \lambda_c t_c$ та $A_i = \lambda_i t_i$ запишемо

$$A_c = \sum_{i=1}^N A_i \quad (1.14)$$

$$A_c = -\ln P_c(t) \quad (1.15)$$

У разі експоненціального закону надійності всіх елементів вирази для показників надійності мають наступний вигляд [1,2]

$$\lambda_i(t) = \lambda_i = \text{const} \quad (1.16)$$

$$\lambda_c(t) = \sum_{i=1}^N \lambda_i = \lambda_c \quad (1.17)$$

$$p_i(t) = \exp(-\lambda_i t) \quad (1.18)$$

$$P_c(t) = \exp(-\lambda_c t) \quad (1.19)$$

$$f_c(t) = \lambda_c \exp(-\lambda_c t) \quad (1.20)$$

$$Q_c(t) = 1 - \exp(-\lambda_c t) \quad (1.21)$$

$$m_{ii} = 1 / \lambda_i \quad (1.22)$$

$$m_{ic} = 1 / \lambda_c = 1 / \sum_{i=1}^N \lambda_i \quad (1.23)$$

Якщо оцінюється надійність об'єктів для яких значення ймовірності безвідмовної роботи елементів $p(t)$ близькі до одиниці, то з достатньою для практики точністю розрахунок показників надійності можна здійснювати за наближеними формулами [1,2]

$$p_1(t) \cdot p_2(t) \cdot \dots \cdot p_N(t) \approx 1 - \sum_{i=1}^N q_i(t) \quad (1.24)$$

$$p_i^N(t) \approx 1 - Nq_i(t) \quad (1.25)$$

$$\sqrt[N]{p_i(t)} \approx 1 - q_i(t) / N \quad (1.26)$$

де $q_i(t)$ – ймовірність відмови i -го елементу.

1.3. Завдання

Завдання 1.1. Машина складається з 100 елементів, що з'єднані послідовно. Середня інтенсивність відмов елементів дорівнює $\lambda_{\text{ср}}$, 1/год. Справедливий експоненціальний закон надійності. Необхідно визначити ймовірність безвідмовної роботи машини $P_c(t)$, ймовірність відмови $Q_c(t)$, частоту $f_c(t)$ та інтенсивність відмов $\lambda_c(t)$ за час t , годин, а також середній час безвідмовної роботи машини m_{ic} . Вихідні дані наведені у таблиці 1.1.

Завдання 1.2. Машина складається з трьох блоків, що з'єднані послідовно. Середній час безвідмовної роботи першого блоку дорівнює m_{t1} годин; другого – m_{t2} годин; третього – m_{t3} годин. Справедливий експоненціальний закон надійності. Необхідно розрахувати середній час безвідмовної роботи машини. Вихідні дані наведені у таблиці 1.2.

Завдання 1.3. Кран, що складається з $N = 100$ рівнонадійних елементів, працює протягом часу t . Ймовірність його безвідмовної роботи складає $P_c(t)$. Необхідно визначити ймовірність безвідмовної роботи елементу. Вихідні дані наведені у таблиці 1.3.

Таблиця 1.1 – Вихідні дані до завдання 1.1

№ вар.	λ_{cp} , 1/год	t
1	$1,5 \cdot 10^{-6}$	1000
2	$2,1 \cdot 10^{-6}$	1200
3	$1,6 \cdot 10^{-6}$	1300
4	$1,9 \cdot 10^{-6}$	1400
5	$1,8 \cdot 10^{-6}$	1600
6	$2,5 \cdot 10^{-6}$	1500
7	$2,2 \cdot 10^{-6}$	2000
8	$2,3 \cdot 10^{-6}$	1900
9	$2,4 \cdot 10^{-6}$	1700
10	$1,7 \cdot 10^{-6}$	1800
11	$2,3 \cdot 10^{-6}$	1100
12	$2,5 \cdot 10^{-6}$	1200
13	$2,2 \cdot 10^{-6}$	1400
14	$2,1 \cdot 10^{-6}$	1500
15	$1,5 \cdot 10^{-6}$	1300
16	$1,6 \cdot 10^{-6}$	1200
17	$1,7 \cdot 10^{-6}$	1400
18	$1,8 \cdot 10^{-6}$	1900
19	$1,9 \cdot 10^{-6}$	1800
20	$2,1 \cdot 10^{-6}$	1900
21	$2,5 \cdot 10^{-6}$	100

Таблиця 1.2 – Вихідні дані до завдання 1.2

№ вар.	m_{t1} , годин	m_{t2} , годин	m_{t3} , годин
1	1500	2500	2000
2	1600	2600	1900
3	1700	2700	2100
4	1500	2900	2200
5	1800	2800	1900
6	1900	3000	2100
7	2000	3100	2200
8	2100	2900	2000
9	1500	2800	1900
10	1600	1700	2100
11	1700	2500	2200
12	1500	2600	1900
13	1800	2700	2100
14	1900	2900	2200
15	2000	2800	2000
16	2100	3000	1900
17	1800	3100	2100
18	1900	2900	2200
19	2000	2800	1900
20	2100	1700	2100
21	1600	2500	2200

Таблиця 1.3 – Вихідні дані до завдання 1.3

№ вар.	$P_c(t)$
1	0,98
2	0,97
3	0,96
4	0,95
5	0,93
6	0,94
7	0,92
8	0,91
9	0,90
10	0,89
11	0,88
12	0,87
13	0,86
14	0,85
15	0,84
16	0,83
17	0,96
18	0,95
19	0,93
20	0,98
21	0,97

1.4 Зміст звіту

1. Назва, мета роботи. Короткі теоретичні відомості.
2. Розрахунки показників надійності машин при послідовному з'єднанні їх складових елементів.

1.5 Контрольні запитання

1. Що буде з об'єктом, який складається з послідовно з'єднаних елементів, при відмові одного елементу ?.
2. Наведіть формулу ймовірності безвідмовної роботи при послідовному з'єднанні.
3. Наведіть взаємозв'язок ймовірності безвідмовної роботи елементів об'єкту з інтенсивністю відмов.
4. Наведіть ймовірність безвідмовної роботи, якщо об'єкт складається з великої кількості однотипних елементів з приблизно однаковою надійністю?

1.6 Список літератури

1. Грабар І.Г. Основи надійності машин: Навчальний посібник. Житомир: ЖІТІ, 1998. 298 с с.
2. Канарчук В. Є. Надійність машин : підручник / В. Є. Канарчук, С. К. Полянський, М. М. Дмитрієв. – Київ : Либідь, 2003. 424 с.

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ №2

ПРОГНОЗУВАННЯ НАДІЙНОСТІ ДЕТАЛЕЙ, ЩО ЗНОШУЮТЬСЯ

2.1 Мета роботи

Отримати практичні навички щодо оцінки гамма-відсоткового ресурсу деталей, що зношуються.

2.2 Короткі теоретичні відомості

Довговічність - це властивість об'єкту зберігати працездатність до настання граничного стану при встановленій системі технічного обслуговування (ТО) і ремонту. При цьому під граничним станом розуміють такий стан об'єкту, при якому його подальше застосування за призначенням є неприпустимим або недоцільним, або відновлення його справного або працездатного стану неможливе або недоцільне. Довговічність оцінюється ресурсом, тобто наробітком до граничного стану.

Для деталей, що зношуються, вважається, що граничний стан визначається граничним розміром деталі. Звичайно вдається зміряти знос U через відомі проміжки часу і побудувати реалізації зносу у вигляді функції [1,2].

$$U = b \cdot t^\alpha, \quad (2.1)$$

де b і α – параметри;

b - залежить від зносостійкості, умов навантаження та змащення (визначає швидкість зношування);

α - в основному залежить від виду спряження (для одного типу деталей є сталою величиною).

Параметр b може змінюватися в широких межах, а параметр α для виробу одного найменування майже не змінюється і задається наперед. Прийнята функція використовується для розрахунку і прогнозування довговічності досліджуваного об'єкту.

Припустимо, є в наявності n вимірювань зносу $U_i(t)$ об'єктів одного найменування (пальці гусеничного ланцюга) через відомий проміжок часу t_0 .

Для кожного об'єкту має місце залежність [2]

$$U_i(t_0) = b_i \cdot t_0^\alpha. \quad (2.2)$$

Тоді величина b_i для i -го об'єкту знаходиться по наявному вимірюванню $U_i(t)$ [2]:

$$b_i = \frac{U_i(t_0)}{t_0^\alpha} \quad (2.3)$$

Можна припустити, що середнє значення зносу $\bar{U}$ і середнє квадратичне відхилення σ_u у вибірці з n об'єктів змінюються в часі за таким же законом (рис.2.1):

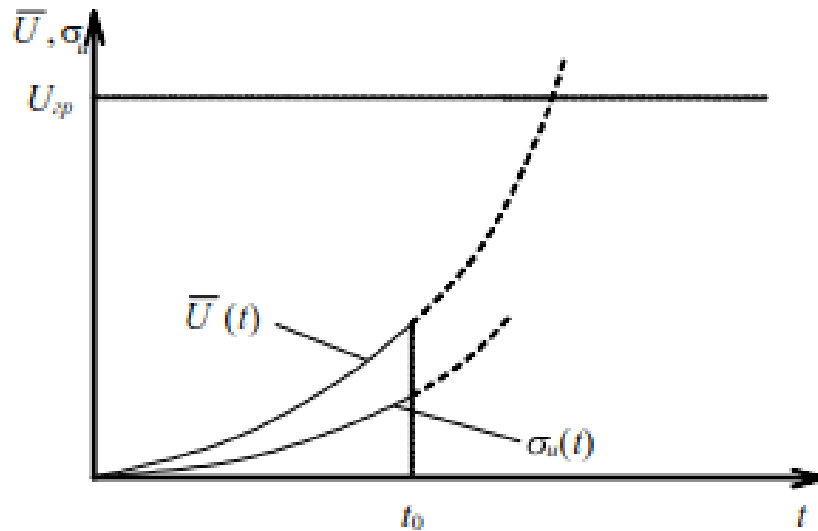


Рисунок 2.1 - Зміна середнього значення зносу $\bar{U}(t)$ і середнього квадратичного відхилення $\sigma_u(t)$ залежно від наробітку t .

$$\bar{U}(t) = b_1^* \cdot t^\alpha \quad (2.4)$$

$$\sigma_u(t) = b_2^* \cdot t^\alpha \quad (2.5)$$

Параметри b_1^* і b_2^* визначаються з (8.1) по $\bar{U}(t_0)$ і $\sigma_u(t_0)$ у момент вимірювання (через певний час роботи об'єкту t_0) [2]:

$$\bar{U}(t_0) = \frac{\sum_{i=1}^n U_i(t_0)}{n} \quad (2.6)$$

$$\sigma_u(t_0) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n [U_i(t_0) - \bar{U}(t_0)]^2}{n-1}} \quad (2.7)$$

$$b_1^* = \frac{\bar{U}(t_0)}{t_0^\alpha} \quad (2.8)$$

$$b_2^* = \frac{\sigma_u(t_0)}{t_0^\alpha} \quad (2.9)$$

Середнє значення і середнє квадратичне відхилення зносу змінюються в часі, а відмова настає при досягненні кожним об'єктом граничного значення зносу. Для випадку, якщо знос розподілений за нормальним законом, імовірність безвідмовної роботи визначається за формулою [1,2]

$$R(t) = F_o \left(\frac{U_{sp} - b_1^* \cdot t^\alpha}{b_2^* \cdot t^\alpha} \right) \quad (2.10)$$

де U_{cp} – гранично допустимий знос об'єкту;

F_o – табульована функція нормованого нормального розподілу (див табл.2.1).

Таблиця 2.1 – Значення інтеграла імовірностей [1,2]

X	Значення F(X)									
	Соті частки X									
	0,00	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09
0,0	0,5000	0,5040	0,5080	0,5120	0,5160	0,5199	0,5239	0,5279	0,5319	0,5359
0,1	0,5398	0,5438	0,5478	0,5517	0,5557	0,5596	0,5616	0,5675	0,5714	0,5753
0,2	0,5793	0,5832	0,5871	0,5910	0,5948	0,5987	0,6026	0,6064	0,6103	0,6141
0,3	0,6179	0,6217	0,6255	0,6293	0,6331	0,6368	0,6406	0,6443	0,6480	0,6517
0,4	0,6554	0,6591	0,6628	0,6664	0,6700	0,6736	0,6772	0,6808	0,6844	0,6879
0,5	0,6915	0,6950	0,6985	0,7019	0,7054	0,7088	0,7123	0,7157	0,7190	0,7224
0,6	0,7257	0,7291	0,7324	0,7357	0,7389	0,7422	0,7454	0,7486	0,7517	0,7549
0,7	0,7580	0,7611	0,7642	0,7673	0,7704	0,7734	0,7764	0,7794	0,7823	0,7852
0,8	0,7881	0,7910	0,7939	0,7967	0,7995	0,8023	0,8051	0,8078	0,8106	0,8133
0,9	0,8159	0,8186	0,8212	0,8238	0,8264	0,8289	0,8315	0,8340	0,8365	0,8389
1,0	0,8413	0,8438	0,8461	0,8485	0,8508	0,8531	0,8554	0,8577	0,8599	0,8621
1,1	0,8643	0,8665	0,8686	0,8708	0,8729	0,8749	0,8770	0,8790	0,8810	0,8830
1,2	0,8849	0,8869	0,8888	0,8907	0,8925	0,8944	0,8962	0,8980	0,8997	0,9015
1,3	0,9032	0,9049	0,9066	0,9082	0,9099	0,9115	0,9131	0,9147	0,9162	0,9177
1,4	0,9192	0,9207	0,9222	0,9236	0,9251	0,9265	0,9279	0,9292	0,9306	0,9319
1,5	0,9332	0,9345	0,9357	0,9370	0,9382	0,9394	0,9406	0,9418	0,9429	0,9441
1,6	0,9452	0,9463	0,9474	0,9484	0,9495	0,9505	0,9515	0,9525	0,9535	0,9545
1,7	0,9554	0,9564	0,9573	0,9582	0,9591	0,9599	0,9608	0,9616	0,9625	0,9633
1,8	0,9641	0,9649	0,9656	0,9664	0,9671	0,9678	0,9686	0,9693	0,9699	0,9706
1,9	0,9713	0,9719	0,9726	0,9732	0,9738	0,9744	0,9750	0,9756	0,9761	0,9767
2,0	0,9772	0,9778	0,9783	0,9788	0,9793	0,9798	0,9803	0,9808	0,9812	0,9817
2,1	0,9821	0,9826	0,9830	0,9834	0,9838	0,9842	0,9846	0,9850	0,9854	0,9857
2,2	0,9861	0,9864	0,9868	0,9871	0,9875	0,9878	0,9881	0,9884	0,9887	0,9890
2,3	0,9893	0,9896	0,9898	0,9901	0,9904	0,9906	0,9909	0,9911	0,9913	0,9916
2,4	0,9918	0,9920	0,9922	0,9925	0,9927	0,9929	0,9931	0,9932	0,9934	0,9936
2,5	0,9938	0,9940	0,9941	0,9943	0,9945	0,9946	0,9948	0,9949	0,9951	0,9952
2,6	0,9953	0,9955	0,9956	0,9957	0,9959	0,9960	0,9961	0,9962	0,9963	0,9964
2,7	0,9965	0,9966	0,9967	0,9968	0,9969	0,9970	0,9971	0,9972	0,9973	0,9974
2,8	0,9974	0,9975	0,9976	0,9977	0,9977	0,9978	0,9979	0,9979	0,9980	0,9981
2,9	0,9981	0,9982	0,9982	0,9983	0,9984	0,9984	0,9985	0,9985	0,9986	0,9986
3,0	0,9987	0,9987	0,9987	0,9988	0,9988	0,9989	0,9989	0,9989	0,9990	0,9990
3,1	0,9990	0,9991	0,9991	0,9991	0,9992	0,9992	0,9992	0,9992	0,9993	0,9993
3,2	0,9993	0,9993	0,9994	0,9994	0,9994	0,9994	0,9994	0,9995	0,9995	0,9995
3,3	0,9995	0,9995	0,9995	0,9996	0,9996	0,9996	0,9996	0,9996	0,9996	0,9997
3,4	0,9997	0,0007	0,9997	0,9997	0,9997	0,9997	0,9997	0,9997	0,9997	0,9998

2.3. Завдання

У результаті вимірювання в шести перерізах (рис. 2.2) трьох осей було встановлено їх знос після наробітку $t_0 = 1000$ годин. У розрахунках прийняти: граничне значення зносу для осей $U_{cp} = 8$ мм, початковий діаметр $d = 30$ мм, параметр $\alpha = 1,3$, вибірка $n = 18$. Побудувати графік імовірності безвідмовної роботи $R(t)$ і визначенням 80-відсоткового ресурсу t_{80} осей. Вихідні дані зносу наведені у таблиці 2.2.

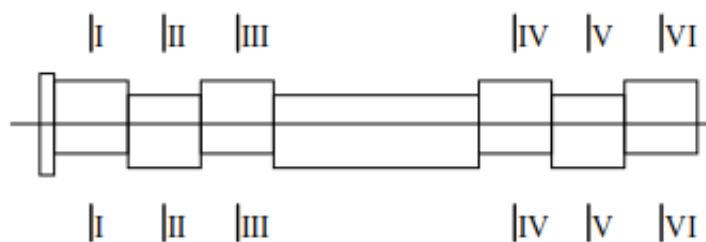


Рисунок 2.2 - Схема розташування поперечних перерізів для вимірювання зносу осі [2]

Таблиця 2.2 – Вихідні дані до завдання

№ вар.		Номер поперечного перерізу					
		I	II	III	IV	V	VI
1-5	1 вісь	20,5	19,8	19,6	19,8	19,3	20,5
	2 вісь	20,3	18,8	18,7	18,7	18,6	20,0
	3 вісь	20,2	18,9	18,9	18,6	18,5	20,0
6-10	1 вісь	21,5	22,8	25,6	23,5	22,4	21,8
	2 вісь	22,3	23,8	26,7	24,6	22,5	24,0
	3 вісь	22,2	25,9	27,9	25,5	23,6	25,0
11-15	1 вісь	21,2	20,6	23,3	20,5	25,1	22,1
	2 вісь	21,3	20,7	23,4	20,7	25,2	23,0
	3 вісь	22,2	20,5	23,5	20,6	25,5	22,8
16-20	1 вісь	20,5	19,8	19,6	19,8	19,3	20,5
	2 вісь	22,3	23,8	26,7	24,6	22,5	24,0
	3 вісь	22,2	25,9	27,9	25,5	23,6	25,0
21-25	1 вісь	21,5	22,8	25,6	23,5	22,4	21,8
	2 вісь	22,3	23,8	26,7	24,6	22,5	24,0
	3 вісь	20,3	18,8	18,7	18,7	18,6	20,0

2.4 Зміст звіту

1. Назва, мета роботи. Короткі теоретичні відомості.
2. Розрахунки показників надійності деталей, що зношуються.

2.5 Контрольні запитання

1. Наведіть функцію зносу в залежності від часу спрацювання.
2. Від яких факторів залежать параметри b і α у функції зносу?
3. Наведіть формули середнього значення зносу $\bar{U}$ і середньо квадратичного відхилення σ_u .
4. Наведіть формулу імовірності безвідмовної роботи для деталей що зношуються.

2.6 Список літератури

1. Канарчук В. Є. Надійність машин : підручник / В. Є. Канарчук, С. К. Полянський, М. М. Дмитрієв. Київ : Либідь, 2003. 424 с.
2. Надійність машин: Практикум. / О.С. Гринченко, В.Г. Кухтов, О.І. Алфьоров, В.Б. Савченко, Є.І. Калінін, В.І. Іванов, Г.П. Юр'єва; За ред. О.С. Гринченка, В.Г. Кухтова. Х.: ТОВ «Планета-прінт», 2018. 140 с.

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ №3 РОЗРАХУНОК НАДІЙНОСТІ РЕЗЕРВОВАНИХ СИСТЕМ

3.1 Мета роботи

Оволодіти навичками розрахунку надійності систем з різними типами резервування.

3.2 Короткі теоретичні відомості

Резервуванням називається введення надлишкової кількості елементів для підвищення надійності функціонування системи, пристрою тощо. На рис. 3.1 подана класифікація існуючих типів резервованих систем.



Рисунок 3.1 – Класифікація резервованих систем

Розглянемо розрахунок найбільш характерних логічних схем резервованих систем.

Пасивне резервування з постійним навантаженням [1,2]:

а) імовірність безвідмовної роботи

$$P(t) = 1 - \left[1 - \exp\left(-\sum_{i=1}^N \lambda_i\right) \right]^{m+1} = 1 - \exp(-\lambda_{\Sigma} \cdot t)^{m+1}, \quad (3.1)$$

б) середній час напрацювання до відмови

$$T_m = \int_0^{\infty} P(t) dt = \frac{1}{\lambda_{\Sigma}} \sum_{i=0}^m \frac{1}{i+1}, \quad (3.2)$$

в) інтенсивність відмов системи

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{P(t)} = \frac{(m+1) \cdot \lambda_{\Sigma} \cdot e^{-\lambda_{\Sigma} \cdot t} \cdot (1 - e^{-\lambda_{\Sigma} \cdot t})^m}{1 - [1 - e^{-\lambda_{\Sigma} \cdot t}]^{m+1}}. \quad (3.3)$$

де m – кратність резервування.

Активне резервування з ненавантаженим резервом.
імовірність безвідмовної роботи системи [1,2]

$$P(t) = e^{-\lambda_{oc} \cdot t} + \frac{\lambda_{oc}}{\lambda_p - \lambda_{oc}} \cdot (e^{-\lambda_{oc} \cdot t} - e^{-\lambda_p \cdot t}) \quad (3.4)$$

де λ_{oc} – інтенсивність відмов основної системи;

λ_p – інтенсивність відмов резервної системи.

У випадку, коли резервна і основна системи рівно надійні отримаємо:
імовірність безвідмовної роботи при кількості m резервних елементів [1,2]

$$P(t) = e^{-\lambda_{oc} \cdot t} \sum_{\eta=0}^m \frac{(\lambda_{oc} t)^\eta}{\eta!} \quad (3.5)$$

Активне резервування з полегшеним резервом.
імовірність безвідмовної роботи системи,

$$P(t) = e^{-\lambda_{oc} \cdot t} - \frac{\lambda_{oc}}{\lambda_{oc} + \lambda_{p1} - \lambda_{p2}} \cdot e^{-\lambda_{p2} \cdot t} \left[e^{-(\lambda_{oc} + \lambda_{p1} - \lambda_{p2})t} - 1 \right] \quad (3.6)$$

де λ_{p1} – інтенсивність відмов резервної системи в “розігрітому” стані;

λ_{p2} – інтенсивність відмов резервної системи після її підключення.

Активне резервування з навантаженим резервом.
імовірність безвідмовної роботи системи [1,2]

$$P(t) = e^{-\lambda_{oc} \cdot t} + e^{-\lambda_p \cdot t} - e^{-\lambda_{oc} \cdot t} \cdot e^{-\lambda_p \cdot t} \quad (3.7)$$

Враховуючи, що $P_{oc}(t) = e^{-\lambda_{oc} \cdot t}$, $P_p(t) = e^{-\lambda_p \cdot t}$, маємо:

$P(t) = P_{oc}(t) + P_p(t) - P_{oc}(t) \cdot P_p(t)$. Отже, активне резервування з навантаженим резервом при абсолютно надійних виробках можна розглядати як пасивне резервування з постійним навантаженням.

Ковзальне резервування.

імовірність безвідмовної роботи системи (λ_n – інтенсивність відмов при підключенні резерву) [1,2].

$$P(t) = e^{-\lambda_{oc}(N-1)t} \cdot \left\{ e^{-\lambda_{oc} \cdot t} - \frac{\lambda_{oc}}{\lambda_{oc} - \lambda_p + \lambda_n} \cdot e^{-\lambda_p \cdot t} \cdot \left[e^{-(\lambda_{oc} + \lambda_p - \lambda_n)t} - 1 \right] \right\} \quad (3.8)$$

Якщо резервний і елементи основної частини рівно надійні, то вираз набуде вигляду: $P(t) = e^{-\lambda_{oc} \cdot N \cdot t} \cdot \left\{ 1 - \frac{N \cdot \lambda_{oc}}{\lambda_n} \cdot \left[e^{-\lambda_n \cdot t} - 1 \right] \right\}$.

При кількості резервних елементів m : $P(t) = e^{-\lambda_{oc} \cdot N \cdot t} \cdot \sum_{i=0}^m \frac{(N \cdot \lambda_{oc} \cdot t)^i}{i!}$.

3.3 Завдання

Завдання 3.1. Система складається з N елементів, які з'єднані логічно послідовно. Інтенсивність відмов такої системи $\lambda^*(t) = 10^{-3}$ 1/год. За допомогою пасивного резервування забезпечити надійність системи протягом t год, рівною $P(1000) \geq 0.95$. Вихідні дані наведені у таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Вихідні дані до завдання 3.1

№ варіанту	N	t
1	250	1000
2	200	1100
3	220	1200
4	260	1300
5	210	1500
6	280	1700
7	290	1900
8	300	2100
9	350	2300
10	320	2400
11	340	2500
12	360	2600
13	250	2800
14	290	2700
15	200	2900
16	220	3000
17	250	1500
18	300	1800
19	320	1900
20	190	2000
21	200	1200
22	300	1400

Завдання 3.2. Технологічна портова лінія складається з двох кранів та конвеєра. Крани працюють за схемою дублювання з постійним навантаженням. Для роботи лінії необхідно, щоб працездатними були кран і конвеєр. Інтенсивність відмов крана $\lambda_T = 2 \cdot 10^{-3}$ 1/год, конвеєра $\lambda_r = 5 \cdot 10^{-4}$ 1/год. Розрахувати ймовірність безвідмовної роботи протягом 5 годин та інтенсивність відмов лінії

Завдання 3.3. Кран має інтенсивність відмов λ_{oc} 1/год. Він зарезервований іншим краном, який, перебуваючи в “розігрітому” стані, має інтенсивність відмов λ_{p1} 1/год. Після введення резервованого крану за допомогою абсолютно надійного перемикача, інтенсивність відмови резервного крану становить λ_{p2} 1/год. Розрахувати ймовірність безвідмовної роботи резервованої системи протягом часу $t = 100$ год. Вихідні дані наведені у таблиці 3.2.

3.4 Зміст звіту

1. Назва, мета роботи. Короткі теоретичні відомості.
2. Вихідні дані та розрахунки надійності роботи.

3.5 Контрольні запитання

1. Що таке резервування системи?
2. Основні види резервування.
3. Основні схеми резервування.
4. Розрахунок надійності системи при пасивному резервуванні.
5. Розрахунок надійності системи при активному резервуванні.

Таблиця 3.2 – Вихідні дані до завдання 3.3

№ варіанту	$\lambda_{oc} \cdot 10^4$	$\lambda_{p1} \cdot 10^4$	$\lambda_{p2} \cdot 10^4$	t
1	5	2	4	100
2	6	3	3	110
3	7	2	3	120
4	8	3	3	130
5	9	4	4	150
6	10	4	4	170
7	11	4	4	190
8	12	4	3	210
9	11	2	3	230
10	10	2	4	240
11	9	2	4	250
12	8	2	4	260
13	7	3	4	280
14	6	3	3	270
15	5	3	3	290
16	4	3	3	300
17	5	3	3	150
18	7	4	4	180
19	9	4	3	190
20	10	4	4	200
21	8	3	3	120
22	6	3	3	140

3.6 Список літератури

1. Грабар І.Г. Основи надійності машин: Навчальний посібник. Житомир: ЖІТІ, 1998. 298 с.
2. Канарчук В. Є. Надійність машин : підручник / В. Є. Канарчук, С. К. Полянський, М. М. Дмитрієв. – Київ : Либідь, 2003. 424 с.