

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ МОРСЬКИЙ УНІВЕРСИТЕТ

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

НАДІЙНІСТЬ МАШИН

Методичні вказівки до розрахунково-графічного завдання

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

Одеса-2026

Надійність машин. Методичні вказівки до розрахунково-графічного завдання для здобувачів 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. – 15 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 № 12 від 21.03. 2026 р).

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

Зміст

Вступ.....	3
1. Вимоги до виконання та оформлення розрахунково-графічного завдання	4
2. Завдання, вихідні дані	5
3. Методика розв’язку завдань	11
Список літератури	14
Додатки.....	15

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.

Теорія надійності слугує фундаментальною методологічною базою для технічної експлуатації машин. Оскільки, вона дозволяє прогнозувати та гарантувати безвідмовність обладнання у міжремонтні періоди, обґрунтовувати стратегії планово-попереджувальних робіт, а також визначати необхідні обсяги запасних частин та вирішувати низку інших інженерно-технічних завдань

Метою розрахунково-графічної роботи є закріплення та поглиблення знань студентів з дисципліни «Надійність машин», а також набуття студентами навичок з освоєння інженерних методів розрахунку, прогнозування і забезпечення надійності окремих машин і складених із них технологічних комплексів.

1. ВИМОГИ ДО ВИКОНАННЯ ТА ОФОРМЛЕННЯ РОЗРАХУНКОВО-ГРАФІЧНОГО ЗАВДАННЯ

Розрахунково-графічне завдання (РГЗ) складається з титульного аркуша, завдання, розділів основного тексту та списку використаної літератури.

Робота оформлюється відповідно до нормативів ДСТУ та внутрішніх вимог кафедри. Зразок оформлення титульного аркуша наведено в Додатку 1.

Пояснювальну записку виконують згідно з ДСТУ 3008-2015 «Звіти у сфері науки і техніки» на аркушах формату А4 (210x297 мм). Текст пояснювальної записки розміщують на одному боці аркуша формату А4. Документ виконують комп'ютерним набором у текстових редакторах (MS Word, OpenOffice) шрифтом Times New Roman із кеглем 14 через півтора інтервали з розрахунку не більше 40 рядків на сторінці за умови рівномірного її заповнення, або пишуть від руки чітким почерком. Для рукописного оформлення використовують чорнило чи пасту одного кольору і відтінку (чорного, темно-фіолетового, темно-синього кольору), витримуючи крок між рядками у 8–10 мм (орієнтовно 20–25 рядків на аркуш).

Абзацний відступ має бути єдиним для всього документа й становити п'ять знаків (орієнтовно 1...1,25 см).

Нумерацію проставляють на кожній сторінці, починаючи з другої, після чого весь пакет документів скріплюють за допомогою степлера або скріпки.

Структурні розділи записки слід розпочинати з нової сторінки.

Вклеювання рисунків або їхніх ксерокопій з друкованих джерел (книг, методичних вказівок) не дозволяється. Ілюстрації створюються комп'ютерним способом або креслять вручну на аркуші. Для побудови графіків можна використовувати Microsoft Excel, LibreOffice Calc, Apache OpenOffice Calc та ін. Побудову графіків вручну виконують за допомогою лінійки та олівця, з обов'язковим дотриманням відносного масштабу та зазначенням ключових параметрів.

2. ЗАВДАННЯ, ВИХІДНІ ДАНІ

Завдання

У межах експериментального дослідження надійності двигунів автотранспорту було зафіксовано випадки їхніх відмов. Для зручності аналізу отримані дані систематизовано за шістьма інтервалами наробітку. У таблиці за варіантами (наведена нижче) наведено загальну кількість досліджуваних двигунів N , тривалість спостережень T тис. маш.-год, а також значення середин інтервалів t_i та відповідну кількість справних одиниць техніки $N(t_i)$. На основі представлених даних необхідно обчислити ключові показники надійності двигунів. Результати розрахунків звести у табл.1.1, побудувати графічні залежності безвідмовної роботи та інтенсивності відмов від часу роботи

Номер варіанту відповідає номеру у списку групи.

Таблиця 1.1 - Результати розрахунку надійності двигунів автотранспорту

	Інтервал наробітку						
	0	1	2	3	4	5	6
t_i							
$N(t_i)$							
n_i							
λ							
$\bar{T}_0$							
$\bar{\sigma}_0^2$							
a							
b							
R^2							
λ_p							
P							

Вихідні дані**Варіант 1**

	Інтервал наробітку							T , тис. маш.-год	N
	0	1	2	3	4	5	6		
t_i	0	0,5	1,5	2,5	3,5	4,5	5,5		
$N(t_i)$	20	18	15	12	10	5	1	6,3	30

Варіант 2

	Інтервал наробітку							T , тис. маш.-год	N
	0	1	2	3	4	5	6		
t_i	0	0,5	1,5	2,5	3,5	4,5	5,5		
$N(t_i)$	35	33	28	19	12	6	1	6,3	35

Варіант 3

	Інтервал наробітку							T , тис. маш.-год	N
	0	1	2	3	4	5	6		
t_i	0	1	3	5	7	9	11		
$N(t_i)$	26	25	21	14	8	3	1	12,4	26

Варіант 4

	Інтервал наробітку							T , тис. маш.-год	N
	0	1	2	3	4	5	6		
t_i	0	0,8	2,4	4,6	7	9	10,8		
$N(t_i)$	32	31	26	17	10	4	1	12	32

Варіант 5

	Інтервал наробітку							T , тис. маш.-год	N
	0	1	2	3	4	5	6		
t_i	0	1	3	5	7	9	11		
$N(t_i)$	19	18	15	11	6	3	1	12,7	19

Варіант 6

	Інтервал наробітку							T , тис. маш.-год	N
	0	1	2	3	4	5	6		
t_i	0	0,5	1,5	2,5	3,5	4,5	5,5		
$N(t_i)$	25	23	20	14	9	3	1	6,4	25

Варіант 7

	Інтервал наробітку							T , тис. маш.-год	N
	0	1	2	3	4	5	6		
t_i	0	1	3	5	7	9	11		
$N(t_i)$	40	39	33	21	13	5	1	12,7	40

Варіант 8

	Інтервал наробітку							T , тис. маш.-год	N
	0	1	2	3	4	5	6		
t_i	0	0,6	1,8	4,2	7	9	10,6		
$N(t_i)$	48	46	38	26	15	6	1	11,8	48

Варіант 9

	Інтервал наробітку							T , тис. маш.-год	N
	0	1	2	3	4	5	6		
t_i	0	1	3	5	7	9	11		
$N(t_i)$	34	32	26	18	11	4	1	12,2	34

Варіант 10

	Інтервал наробітку							T , тис. маш.-год	N
	0	1	2	3	4	5	6		
t_i	0	0,6	1,8	4,2	7	9	10,6		
$N(t_i)$	45	43	36	24	14	6	1	11,9	45

Варіант 11

	Інтервал наробітку							T , тис. маш.-год	N
	0	1	2	3	4	5	6		
t_i	0	1,4	4,2	5,8	7	9	11,4		
$N(t_i)$	21	20	17	11	7	3	1	13,1	21

Варіант 12

	Інтервал наробітку							T , тис. маш.-год	N
	0	1	2	3	4	5	6		
t_i	0	0,5	1,5	2,5	3,5	4,5	5,5		
$N(t_i)$	15	14	12	8	5	2	1	6,3	15

Варіант 13

	Інтервал наробітку							T , тис. маш.-год	N
	0	1	2	3	4	5	6		
t_i	0	0,5	1,5	2,5	3,5	4,5	5,5		
$N(t_i)$	37	36	30	20	12	5	1	6,2	37

Варіант 14

	Інтервал наробітку							T , тис. маш.-год	N
	0	1	2	3	4	5	6		
t_i	0	1	3	5	7	9	11		
$N(t_i)$	33	32	27	18	10	4	1	12,3	33

Варіант 15

	Інтервал наробітку							T , тис. маш.-год	N
	0	1	2	3	4	5	6		
t_i	0	1,1	3,3	5,2	7	9	11,1		
$N(t_i)$	22	21	18	12	7	3	1	13,4	22

Варіант 16

	Інтервал наробітку							T , тис. маш.-год	N
	0	1	2	3	4	5	6		
t_i	0	1,2	3,6	5,4	7	9	11,2		
$N(t_i)$	25	23	20	14	9	3	1	6,4	25

Варіант 17

	Інтервал наробітку							T , тис. маш.-год	N
	0	1	2	3	4	5	6		
t_i	0	1,3	3,9	5,6	7	9	11,3		
$N(t_i)$	34	32	26	18	11	4	1	12,2	34

Варіант 18

	Інтервал наробітку							T , тис. маш.-год	N
	0	1	2	3	4	5	6		
t_i	0	1	3	5	7	9	11		
$N(t_i)$	37	36	30	20	12	5	1	6,2	37

Варіант 19

	Інтервал наробітку							T , тис. маш.-год	N
	0	1	2	3	4	5	6		
t_i	0	1	3	5	7	9	11		
$N(t_i)$	26	25	21	14	8	3	1	12,4	26

Варіант 20

	Інтервал наробітку							T , тис. маш.-год	N
	0	1	2	3	4	5	6		
t_i	0	0,6	1,8	4,2	7	9	10,6		
$N(t_i)$	40	39	33	21	13	5	1	12,7	40

Варіант 21

	Інтервал наробітку							T , тис. маш.-год	N
	0	1	2	3	4	5	6		
t_i	0	0,5	1,5	2,5	3,5	4,5	5,5		
$N(t_i)$	12	11	9	7	6	3	1	6,3	12

Варіант 22

	Інтервал наробітку							T , тис. маш.-год	N
	0	1	2	3	4	5	6		
t_i	0	1,3	3,9	5,6	7	9	11,3		
$N(t_i)$	13	11	9	8	6	3	1	12,2	13

Варіант 23

	Інтервал наробітку							T , тис. маш.-год	N
	0	1	2	3	4	5	6		
t_i	0	1	3	5	7	9	11		
$N(t_i)$	26	24	20	13	8	3	1	12,4	26

Варіант 24

	Інтервал наробітку							T , тис. маш.-год	N
	0	1	2	3	4	5	6		
t_i	0	0,8	2,4	4,6	7	9	10,8		
$N(t_i)$	29	26	21	17	14	7	1	12	29

Варіант 25

	Інтервал наробітку							T , тис. маш.-год	N
	0	1	2	3	4	5	6		
t_i	0	1	3	5	7	9	11		
$N(t_i)$	20	18	14	11	6	3	1	12,7	20

3. МЕТОДИКА РОЗВ'ЯЗКУ ЗАВДАНЬ

Статистична оцінка

1. Загальна кількість двигунів $N = N(t_0)$.

де $N(t_0)$ - початкова кількість досліджуваних двигунів на момент початку досліджень ($t = 0$) (вибираємо з таблиці вихідних даних за варіантом).

2. Кількість двигунів, які вийшли з ладу (відмовили) за період спостереження [1-3]

$$n_c = N(t_0) - N(t_6). \quad (1.1)$$

де $N(t_6)$ - кількість досліджуваних двигунів в інтервалі наробітку 6 (вибираємо з таблиці вихідних даних за варіантом).

3. Кількість двигунів, які вийшли з ладу (відмовили) в інтервалі наробітку [1-3]

$$n_i = N(t_0) - \sum_{i=1}^{c=6} N(t_i), \quad (1.2)$$

де $c = 6$ – кількість інтервалів наробітку.

4. Інтенсивність відмови

$$\lambda(t_i) = \frac{N(t_i) - N(t_{i+1})}{(t_{i+1} - t_i) \cdot N(t_i)}, \text{ год}^{-1} \quad (1.3)$$

5. Середній час наробітку до відмови

$$\bar{T}_0 = \frac{1}{n_c} \left[\sum_{i=1}^{c=6} n_i \cdot t_i - (N - n_c) \cdot T \right], \text{ тис. маш. год} \quad (1.4)$$

6. Дисперсія середнього наробітку до відмови

$$\bar{\sigma}_0^2 = \frac{1}{N-1} \left[\sum_{i=1}^{c=6} n_i \cdot (t_i - \bar{T}_0)^2 + (N - n_c) \cdot (T - \bar{T}_0)^2 \right], \text{ тис. маш. год}^2 \quad (1.5)$$

Теоретична оцінка

7. Графік залежності інтенсивності відмов λ від часу роботи наведена на рис.1 у вигляді точок.

Одержані результати та побудований графік свідчать про те, що зміна інтенсивності відмов із часом має вигляд, близький до лінійного. Тому для математичного моделювання цієї залежності використовується рівняння прямої

$$\lambda_p = a \cdot t + b, \text{ год}^{-1} \quad (1.6)$$

де a і b – постійні рівняння.

Зазначену залежність будемо використовувати як теоретичну модель, що описує динаміку зміни інтенсивності відмов у часі.

Звичайний графічний метод є незадовільним, оскільки проведення прямої через точки залежить від дослідника. Для отримання об'єктивної математичної моделі, параметри прямої a і b знаходять апроксимацією за методом найменших квадратів. Цей метод гарантує, що сума квадратів похибок (відхилень експериментальних точок λ від розрахункових λ_p) буде мінімальною.

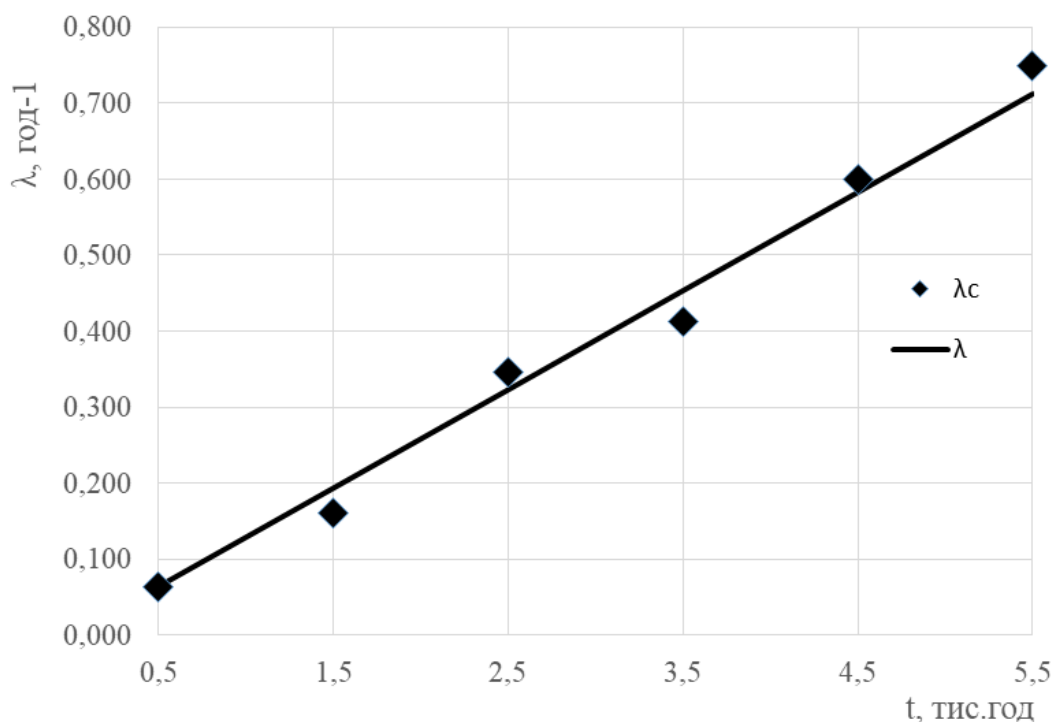


Рисунок 1 - Залежність інтенсивності відмов від часу роботи (приклад)

Для знаходження невідомих параметрів a і b застосовують систему нормальних лінійних рівнянь такого вигляду:

$$\begin{cases} a \cdot \left(\sum_{i=1}^c t_i^2 \right) + b \cdot \left(\sum_{i=1}^c t_i \right) = \left(\sum_{i=1}^c t_i \cdot \lambda_i \right) \\ a \cdot \left(\sum_{i=1}^c t_i \right) + c \cdot b = \left(\sum_{i=1}^c \lambda_i \right) \end{cases} \quad (1.7)$$

Розв'язав систему (1.7) знайдемо:

$$a = \frac{c \cdot \left(\sum_{i=1}^c t_i \cdot \lambda_i \right) - \left(\sum_{i=1}^c t_i \right) \cdot \left(\sum_{i=1}^c \lambda_i \right)}{c \cdot \left(\sum_{i=1}^c t_i^2 \right) - \left(\sum_{i=1}^c t_i \right)^2} \quad (1.8)$$

$$b = \frac{\left(\sum_{i=1}^c t_i^2 \right) \cdot \left(\sum_{i=1}^c \lambda_i \right) - \left(\sum_{i=1}^c t_i \right) \cdot \left(\sum_{i=1}^c t_i \cdot \lambda_i \right)}{n \cdot \left(\sum_{i=1}^c t_i^2 \right) - \left(\sum_{i=1}^c t_i \right)^2} \quad (1.9)$$

За розрахованими даними будемо залежність інтенсивності відмов λ_p від часу роботи у вигляді прямої лінії (рис.1).

9. Коефіцієнт детермінації R^2

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{c=6} (\lambda_i - \lambda_p)^2}{\sum_{i=1}^{c=6} (\lambda_i - \bar{\lambda})^2} \quad (1.10)$$

де $\bar{\lambda}$ - середнє значення інтенсивності відмов.

10. Теоретична імовірність безвідмовної роботи за час t

$$P = \left\{ \begin{array}{l} e^{-\left(\frac{a}{2}t^2 - bt\right)} \text{ якщо } \lambda = at - b, \\ e^{-\left(\frac{a}{2}t^2 + bt\right)} \text{ якщо } \lambda = at + b \end{array} \right\} \quad (1.11)$$

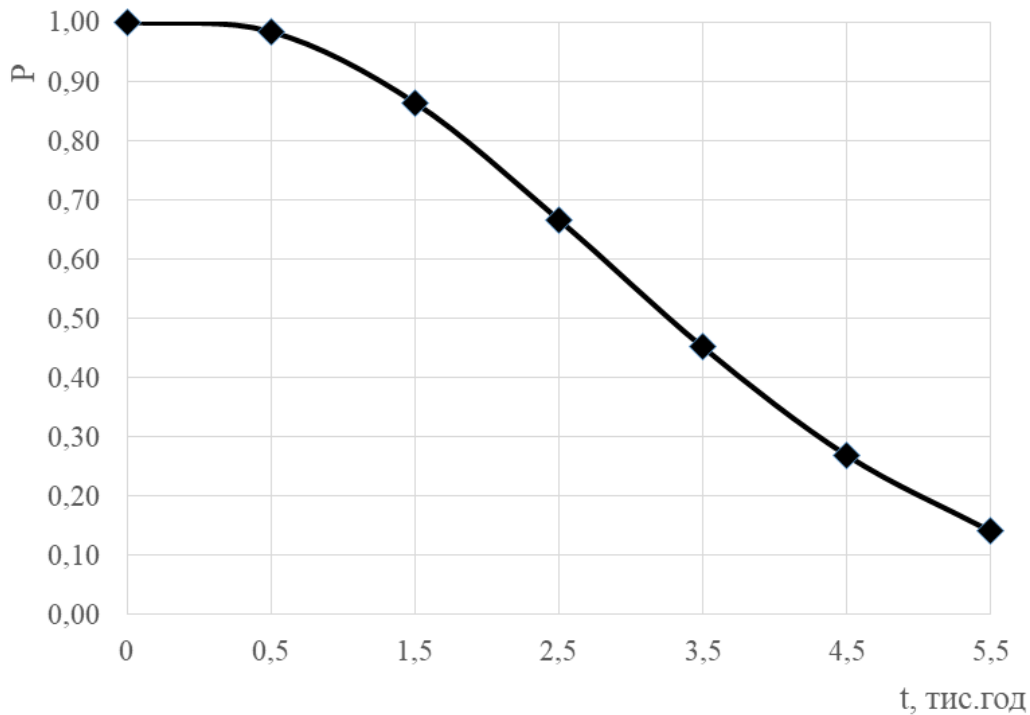


Рисунок 2 – Залежність імовірності безвідмовної роботи від часу роботи (приклад)

У висновку зазначити, що рівняння зміни інтенсивності відмов від часу роботи наближена до лінійного $\lambda_p = a \cdot t + b$, год⁻¹. Дисперсія середнього наробітку до відмови $\bar{\sigma}_0^2 = \dots$ тис.маш.год².

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Канарчук В. Є. Надійність машин : підручник / В. Є. Канарчук, С. К. Полянський, М. М. Дмитрієв. Київ: Либідь, 2003. 424 с
2. Запара Є.С. Надійність машин і комплексів. Підручник. Дніпро: Дніпровська політехніка, 2021. 101 с.
3. Павлюк, О.М. Основи теорії надійності технічних систем: Навч. посібник / О.М. Павлюк. - Львів : Львівська політехніка, 2021. 208 с .

ДОДАТКИ

Додаток 1- Зразок титульного аркуша

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ МОРСЬКИЙ УНІВЕРСИТЕТ

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

Розрахунково-графічне завдання
з дисципліни
«Надійність машин»
Оцінка надійності двигунів портових автотранспортувачів

Варіант №

Виконав ЗДВО. _____ групи _____ курсу ННМІТІ

(П.І.Б.)

Прийняв _____
(П.І.Б. викладача)

Одеса – 20__