



Міністерство освіти і науки України  
Тернопільський національний технічний  
університет імені Івана Пулюя



Кафедра автомобілів

## МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до лабораторних занять та самостійної роботи  
з дисципліни

### «НАДІЙНІСТЬ АВТОТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ»

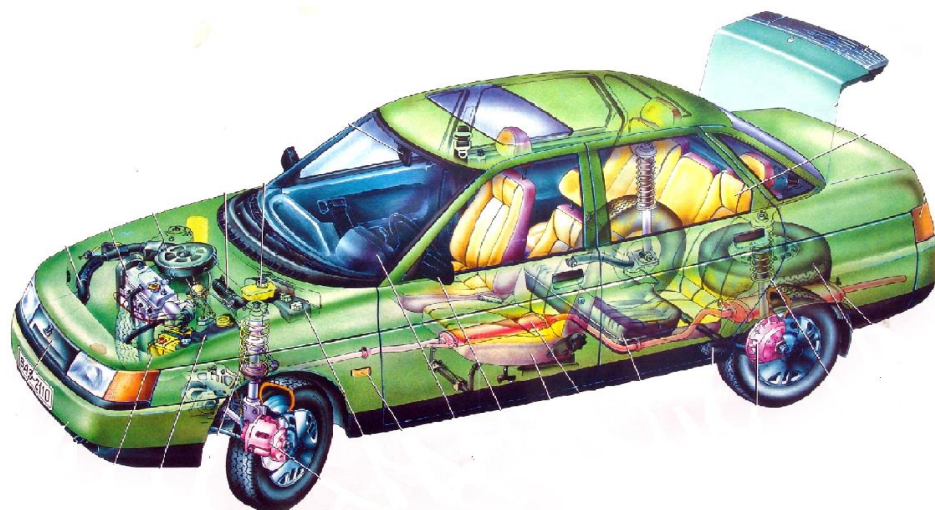
для студентів всіх форм навчання

галузь знань

27 «Транспорт»

спеціальність

274 «Автомобільний транспорт»



Методичні вказівки до лабораторних занять та самостійної роботи розроблено відповідно до ОПП, ОКХ та робочих навчальних планів підготовки здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти за спеціальністю 274 «Автомобільний транспорт».

Укладачі:

к.т.н., доц. Данилишин Г.М.

к.т.н., доц. Левкович М.Г.

Рецензент:

к.т.н., доц. Гевко Ігор Богданович

Методичні вказівки розглянуто та схвалено на методичному семінарі кафедри автомобілів.

Протокол № 1 від «23» серпня 2022 р.

Розглянуто і затверджено на засіданні методичної комісії факультету інженерії машин, споруд та технологій ТНТУ ім. І. Пулюя протокол № 1 від «26» серпня 2022 р.

## ЗМІСТ

<b>Вступ</b> .....	4
<b>Загальні положення</b> .....	5
<b>Лабораторна робота №1</b>	
Визначення ймовірності безвідмовної роботи об'єкта за результатами ресурсних випробувань .....	8
<b>Лабораторна робота №2</b>	
Визначення основних статистичних характеристик розподілу напрацювання до руйнування елементів за даними ресурсних випробувань .....	12
<b>Лабораторна робота №3</b>	
Визначення ймовірності безвідмовної роботи системи з паралельним з'єднанням елементів .....	20
<b>Лабораторна робота №4</b>	
Визначення числових значень показників надійності привідних клинових пасів .....	23
<b>Самостійна робота студентів</b> .....	30
<b>Література</b> .....	31

## ВСТУП

Вирішення завдання підвищення надійності і довговічності машин збільшує виробничі потужності машинобудівних підприємств. Сучасні технічні засоби дуже різноманітні і складаються з великої кількості взаємодіючих механізмів, апаратів і приладів. Низький рівень надійності устаткування цілком може призводити до серйозних витрат на ремонт, тривалого простою обладнання.

В даний час спостерігається швидке і багаторазове ускладнення машин, об'єднання їх у великі комплекси, зменшення їх металоємності і підвищення їх силової та електричної напруженості. Тому наука про надійність швидко розвивається. У результаті підвищення довговічності деталей машин скорочуються витрати запасних частин і матеріалів на їх виготовлення, зменшується кількість працюючих і трудомісткість при експлуатації, технічному обслуговуванні та ремонті. Для сучасних машин характерні такі напрямки їхнього розвитку, як збільшення ступеня автоматизації, підвищення робочих параметрів: навантажень, швидкостей, температур, боротьба за малі габарити і масу, підвищення вимог до точності функціонування, до ефективності їхньої роботи (продуктивності, потужності, ККД), об'єднання машин у системи з єдиним керуванням. Ускладнення машин і посилення вимог до них призвели до необхідності підвищення вимог до їхніх надійності і довговічності.

У міру ускладнення техніки, розширення сфери її використання, підвищення рівня автоматизації, збільшення навантажень і швидкостей значення питань надійності буде безперервно зростати. Це пояснюється не лише підвищенням вимог до безвідмовності і довговічності виробів, але й тим, що вирішення питань надійності є одним з основних джерел підвищення ефективності техніки, економії матеріальних, трудових і енергетичних ресурсів, підвищення конкурентоспроможності виробництва. Вирішення проблеми надійності машин – це величезний резерв підвищення ефективності виробництва, продуктивності праці.

## ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ

### **Завдання дисципліни:**

дати студентам основи знань з теорії надійності автомобілів (фізичні та математичні основи), методики оцінки, прогнозування і прийняття оптимальних рішень щодо підвищення рівня показників надійності;

навчити виявляти і аналізувати причини відмов, проводити випробування і визначати кількісні показники надійності авомобілів;

розробляти і здійснювати заходи підвищення надійності автомобілів за рахунок методик їх проектування, технології і організації виготовлення, експлуатації, технічного обслуговування і ремонту.

### **В результаті вивчення дисципліни студент повинен знати:**

– основні поняття і визначення теорії надійності автомобілів, вплив експлуатаційних чинників на рівень їх надійності;

– закономірності зміни первинного рівня надійності в процесі експлуатації;

– показники оцінки надійності деталей, вузлів, агрегатів та автомобілів в цілому;

– причини порушення працездатності автомобілів в процесі їх експлуатації;

– закономірності, суть і характеристики різних видів зношування деталей, методи підвищення їх зносостійкості і втомної міцності;

– методи відновлення рівня надійності після ресурсної відмови;

– характеристики видів і планів випробувань на надійність;

– методи прогнозування показників надійності автомобільної техніки.

### **Студент повинен вміти:**

– розраховувати оцінки показників надійності за наслідками випробувань і спостережень, здійснювати їх прогнозування;

– визначати залишковий ресурс деталей і сполучень по результатах завершених і незавершених випробувань;

– організовувати і проводити випробування автомобілів на надійність.

**Перед виконанням лабораторної роботи** студентам необхідно повторити теоретичний матеріал з курсу, об'єкт і методику виконання лабораторного завдання, засвоїти запобіжні заходи.

В процесі роботи студенти проводять відповідні вимірювання, заповнюють таблиці, проводять розрахунки, складають схеми, будують графіки, тощо.

Завершальний етап лабораторної роботи – опрацювання одержаних даних, їх аналіз і формування висновків.

**Результати виконання лабораторних робіт** кожний студент оформлює в робочому журналі, до якого вносяться номер і назва роботи, зміст роботи, короткі теоретичні відомості, порядок виконання роботи, обробка результатів і складання звіту.

Після оформлення звіт необхідно здати викладачеві на перевірку. Здаючи звіт, студенти повинні бути готові до відповідей щодо змісту роботи та теоретичного курсу.

Лабораторні роботи виконуються студентами самостійно під контролем і консультаціях викладача.

Конкретні дані (варіанти) вибирають за списком студентів або за індивідуальним номером залікової книжки.

Лабораторна робота № 1				Додаток А	Додаток Б
Лабораторна робота № 2				Додаток В	Додаток Г
Лабораторна робота № 3				Додаток Д	Додаток Е
Лабораторна робота № 4				Додаток Ж	Додаток З
№	№ в групі	Прізвище студента	Група	Варіанти	
1	1		МАм-51	01	2
2	2		МАм-51	02	3
3	3		МАм-51	03	4
...					
9	9		МАм-51	09	0
10	10		МАм-51	00	1
11	11		МАм-51	01	3
12	12		МАм-51	02	4

...					
19	19		МАМ-51	09	1
20	20		МАМ-51	00	2
21	21		МАМ-51	01	4
22	22		МАМ-51	02	5
...					
29	29		МАМ-51	09	2
30	30		МАМ-51	00	3
31	1		МАМ-52	01	5
32	2		МАМ-52	02	6
...					
39	9		МАМ-52	09	3
40	10		МАМ-52	00	4
41	11		МАМ-52	01	6
42	12		МАМ-52	02	7
...					
49	19		МАМ-52	09	4
50	20		МАМ-52	00	5
51	21		МАМ-52	01	7
52	22		МАМ-52	02	8
...					
59	29		МАМ-52	09	5
60	30		МАМ-52	00	6
61	1		МАМЗ-51	01	8
62	2		МАМЗ-51	02	9
...					
69	9		МАМЗ-51	09	6
70	10		МАМЗ-51	00	7
71	11		МАМЗ-51	01	9
72	12		МАМЗ-51	02	0
...					
93	Приклад ЛР № 1			03	3
100	Приклад ЛР № 2, № 3			00	0
101	Приклад ЛР № 4			06	10

Дані також розміщені на сайті електронного навчання\_лабораторні\_заняття\_РОБОТА\_1-4 та на файлообміннику.

## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 1

**Тема: «Визначення ймовірності безвідмовної роботи об'єкта за результатами ресурсних випробувань»**

Показники надійності поділяють у відповідності з компонентами надійності на показники безвідмовності, довговічності, ремонтпридатності та придатності до зберігання.

### ***Показники безвідмовності:***

*Ймовірність безвідмовної роботи* – ймовірність того, що в межах заданого напрацювання відмова не виникає.

*Середнє напрацювання до відмови* – математичне сподівання напрацювання до відмови виробу, який не підлягає відновленню. Під напрацюванням розуміють тривалість або обсяг роботи виконаної об'єктом.

*Середнє напрацювання на відмову* – відношення напрацювання відновлюваного об'єкта до математичного сподівання кількості його відмов протягом даного напрацювання.

*Інтенсивність відмов* – показник надійності невідновлюваних виробів, який дорівнює відношенню середнього числа об'єктів, що відмовили за одиницю часу (чи напрацювання в інших одиницях) до числа об'єктів, які залишилися працездатними. Цей показник більш чутливий, ніж ймовірність безвідмовної роботи, особливо для виробів, що мають високу надійність.

*Параметр потоку відмов* – показник надійності виробів, які можуть відновлюватися. Він дорівнює відношенню середнього числа відмов об'єкта за доволі малий час його напрацювання до значення цього напрацювання (відповідає інтенсивності відмов для невідновлюваних виробів, але враховує повторні відмови).



Конкретні дані вибирають наступним чином: за списком студентів (за останньою цифрою індивідуального номера залікової книжки) визначають кількість об'єктів  $\Delta n$ , що відмовили в заданих інтервалах часу (додаток А) та кількість об'єктів  $N_0$ , що випробовувалися (додаток Б).

Додаток А

Кількість об'єктів  $\Delta n$ , що відмовили в заданих інтервалах часу

Варіант	Інтервали часу, год.				
	0 - 4	4 - 8	8 - 12	12 - 16	16 - 20
00	4	2	3	3	5
01	6	1	2	2	3
02	5	3	1	2	4
<b>03</b>	<b>3</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>5</b>
04	4	1	2	2	3
05	6	3	1	3	4
06	5	2	3	3	5
07	3	4	2	2	3
08	4	3	3	2	4
09	5	2	3	2	5

Додаток Б

Кількість об'єктів  $N_0$ , що випробовувалися

Варіант	0	1	2	<b>3</b>	4	5	6	7	8	9
$N_0$	65	70	75	<b>80</b>	85	90	95	100	105	110

Вихідні дані для прикладу 03...3 (№ 93) представлені в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Вихідні дані

Варіант	Інтервали часу, год.	0 - 4	4 - 8	8 - 12	12 - 16	16 - 20
03	Кількість об'єктів $\Delta n$ , що мають відмови	3	2	3	3	5

Варіант				3						
$N_0$				80						

### Завдання

Визначити ймовірність безвідмовної роботи  $P(t)$  об'єкта, за результатами ресурсних випробувань враховуючи наступне. На стенді випробувано  $N_0$  об'єктів за час  $t = 20$  год.

### Розв'язок

Інтенсивність відмов для середини кожного інтервалу часу випробувань визначається за формулою

$$\lambda(t) = \frac{\Delta n}{N_p \cdot \Delta t}$$

де  $\Delta n$  – кількість об'єктів, що мають відмови в певному інтервалі;

$N_p$  – кількість працездатних об'єктів на момент часу  $t$ .

$$N_p = N_0 - n_t$$

$N_0$  – кількість випробовуваних об'єктів;

$n_t$  – кількість об'єктів, що мають відмови на час  $t$ ;

$\Delta t$  – тривалість інтервалу.

Підставивши відповідні дані, отримаємо

$$\lambda(2) = \frac{3}{(80-3) \cdot 4} = 0,0097;$$

$$\lambda(6) = \frac{2}{(80-3-2) \cdot 4} = 0,0067;$$

$$\lambda(10) = \frac{3}{(80-3-2-3) \cdot 4} = 0,0104;$$

$$\lambda(14) = \frac{3}{(80-3-2-3-3) \cdot 4} = 0,0109;$$

$$\lambda(18) = \frac{5}{(80-3-2-3-3-5) \cdot 4} = 0,0195.$$

Середня інтенсивність відмов

$$\lambda_0 = \frac{0,0097 + 0,0067 + 0,0104 + 0,0109 + 0,0195}{5} = 0,0114 \text{ год.}$$

Ймовірність безвідмовної роботи визначається за формулою

$$P(t) = e^{\left( -\int_0^t \lambda(t) dt \right)}.$$

Для нашого випадку  $P(t) = e^{(-0.0114t)}$ .

Підставивши відповідні дані, отримаємо

$$P(20) = e^{(-0.0114 \cdot 20)} = 0,795.$$

Отже, ймовірність безвідмовної роботи об'єкта на протязі проміжку часу  $t = 20$  год становить  $P(20) = 0,795$ .

Дані також розміщені на сайті електронного навчання\_лабораторні\_заняття\_РОБОТА\_1 та на файлообміннику.

## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 2

**Тема: «Визначення основних статистичних характеристик розподілу напрацювання до руйнування елементів за даними ресурсних випробувань»**

Первинна обробка експериментальних матеріалів полягає в упорядкуванні вибірових спостережень і, при необхідності, в їх групуванні за досить малими інтервалами, в обчисленні відносних частот для кожного інтервалу напрацювання, у визначенні числових характеристик статистичного розподілу і графічному представленні результатів у вигляді гістограм, полігонів і емпіричних функцій розподілу.

Впорядкування вибірових спостережень полягає у розміщенні отриманих в результаті спостережень значень (ресурсів, напрацювань до першої відмови, часу відновлення і т.д.) в наступному порядку

$$x_1 \leq x_2 \leq \dots \leq x_n .$$

Одержаний ряд називають варіаційним, а різні значення  $x_i$  – варіантами. Одна і та сама варіанта в даному ряді може зустрічатися декілька разів.

Якщо число членів варіаційного ряду досить велике ( $n > 100$ ), то для зручності його вивчення, результати спостережень групують за інтервалами, утворюючи інтервальний ряд. Число інтервалів  $r$  визначають, використовуючи правило Старджесса для вибірки об'ємом  $n$

$$r = 1 + 3,3 \cdot \lg n$$

Число спостережень з однаковим значенням варіанти називають частотою, тобто якщо значення  $x_1$  спостерігалось  $m_1$  разів,  $x_2$  спостерігалось  $m_2$  разів,  $x_k - m_k$  разів, то  $m_1, m_2, m_k$  – частоти.

Варіанти (перелік інтервалів для інтервального ряду) і відповідні їм частоти (частоти) утворюють статистичний ряд вибірки.

Після такої підготовки можна одержати різні статистичні характеристики. Серед них важливими є: середнє арифметичне і статистичні центральні моменти 2-го, 3-го і 4-го порядків відповідно  $\mu_2, \mu_3, \mu_4$ .

Статистична дисперсія  $\mu_2$  характеризує ступінь розсіювання спостережень відносно центру групування. Статистичний центральний момент третього порядку  $\mu_3$  характеризує відхилення кривої розподілу від симетричної. Для симетричного розподілу (нормального)  $\mu_3 = 0$ . Крива розподілу з однією вершиною при  $\mu_3 \leq 0$  має лівосторонню (від'ємну) асиметрію, а при  $\mu_3 \geq 0$  правосторонню (додатну) асиметрію. Асиметрія визначається за формулою

$$A(x) = \frac{\mu_3}{s^3}$$

Статистичний центральний момент четвертого порядку  $\mu_4$  характеризує гостровершинність (ексцес) емпіричного розподілу. Для нормального розподілу відношення  $\frac{\mu_4}{s^4} = 3$ , тому в якості характеристики гостровершинності прийнята величина

$$E(x) = \frac{\mu_4}{s^4} - 3,$$

яку називають ексцесом. При  $E(x) < 0$  крива більш полого, ніж при нормальному розподілі. При  $E(x) > 0$  крива розподілу більш гостровершинна, ніж при нормальному розподілі.

Конкретні дані вибирають наступним чином: за списком студентів (за останньою цифрою індивідуального номера залікової книжки) визначають значення варіант  $x_i$  (додаток В) та частоти  $m_i$  (додаток Г).

Значення варіант  $x_i$ 

Варіант	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09
$x_1$	25	33	15	20	18	22	15	26	23	20
$x_2$	63	53	43	49	45	53	43	63	54	38
$x_3$	99	89	69	74	80	99	74	100	99	78
$x_4$	101	100	101	103	96	105	100	108	103	97
$x_5$	110	110	102	108	104	112	110	114	112	116
$x_6$	115	112	125	116	119	128	124	125	128	133
$x_7$	140	130	130	135	129	140	130	149	135	154
$x_8$	185	175	175	178	172	164	170	182	169	174
$x_9$	220	215	210	216	212	208	216	226	194	204
$x_{10}$	240	230	230	231	228	242	234	244	253	249
$x_{11}$	260	250	250	256	248	263	260	263	270	260
$x_{12}$	280	270	285	276	273	278	285	270	288	293
$x_{13}$	310	300	320	312	314	321	318	312	306	310
$x_{14}$	330	310	325	316	330	337	330	325	333	351
$x_{15}$	350	360	345	346	364	368	376	357	362	369
$x_{16}$	380	380	375	379	396	384	394	400	387	397
$x_{17}$	415	420	410	418	422	403	418	420	424	419
$x_{18}$	435	435	415	428	432	426	432	433	452	462
$x_{19}$	475	485	465	470	451	468	470	445	483	480
$x_{20}$	495	500	485	493	488	493	486	499	504	507
$x_{21}$	520	515	515	510	503	522	499	522	516	520
$x_{22}$	545	550	535	560	534	535	540	530	582	578
$x_{23}$	575	570	595	578	583	578	578	540	582	578
$x_{24}$	590	675	615	605	618	635	594	599	595	615
$x_{25}$	640	697	640	630	629	672	644	630	649	640
$x_{26}$	795	725	790	785	724	732	734	734	772	736

Значення частот  $m_i$ 

Варіант	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$m_1$	1	3	1	2	2	1	1	1	1	2
$m_2$	3	2	2	1	2	1	3	1	2	2
$m_3$	2	1	1	2	1	1	1	1	1	1
$m_4$	1	1	1	2	2	2	3	3	2	1
$m_5$	5	4	2	5	5	1	3	1	2	4
$m_6$	5	5	1	5	4	2	6	2	6	5
$m_7$	12	11	1	11	11	1	12	2	10	10
$m_8$	3	3	3	4	4	2	6	2	6	5
$m_9$	5	5	4	4	5	2	5	2	5	5
$m_{10}$	6	7	2	7	6	1	6	3	7	5
$m_{11}$	10	10	3	10	11	4	11	3	12	12
$m_{12}$	4	5	7	5	5	7	4	6	5	6
$m_{13}$	7	8	7	7	7	8	7	7	8	8
$m_{14}$	6		76	8	7	6	7	6	8	7
$m_{15}$	7	8	5	8	8	5	7	5	6	8
$m_{16}$	2	1	12	1	3	10	2	12	4	4
$m_{17}$	3	3	5	3	2	7	3	7	2	1
$m_{18}$	4	2	3	3	2	4	3	3	2	2
$m_{19}$	3	2	4	2	3	4	2	5	2	2
$m_{20}$	1	2	10	2	1	10	1	10	2	1
$m_{21}$	1	1	4	1	1	4	3	4	1	1
$m_{22}$	2	2	4	1	1	5	2	4	2	2
$m_{23}$	3	2	2	2	2	1	2	3	1	1
$m_{24}$	1	2	2	1	1	2	1	3	1	1
$m_{25}$	2	2	3	1	1	2	1	2	1	2
$m_{26}$	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Вихідні дані для прикладу 00...0 (№ 100) представлені в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Вихідні дані

$x_i$	$m_i$	$x_i$	$m_i$	$x_i$	$m_i$
25	1	240	6	475	3
63	3	260	10	495	1
99	2	280	4	520	1
101	1	310	7	545	2
110	5	330	6	575	3
115	5	350	7	590	1
140	12	380	2	640	2
185	3	415	3	795	1
220	5	435	4		

### Завдання

Визначити основні статистичні характеристики розподілу напрацювання до руйнування елементів за даними ресурсних випробувань

### Розв'язок

Визначаємо кількість і довжину інтервалів. Об'єм вибірки

$$n = \sum_{i=1}^n m_i = 100.$$

Тоді

$$r = 1 + 3,3 \cdot \lg 100 = 7,6.$$

Приймаємо

$$r = 8.$$



Довжина інтервалу

$$h = \frac{x_{max} - x_{min}}{r},$$

$$h = \frac{795 - 25}{8} = 96,25$$

Приймаємо довжини всіх інтервалів однаковими  $h = 100$ . В таблиці 2.2 заповнюємо перших чотири графи.

Визначаємо початкові і центральні емпіричні моменти.

При обчисленні емпіричних моментів зручно переходити до умовних варіант

$$u_i = \frac{x_i - c}{h_i}$$

де  $c$  – постійна величина (умовний нуль).

За умовний нуль приймають, зазвичай, значення випадкової величини  $x_i$  з найбільшою частотою або значення  $x_i$ , рівновіддалене від крайніх значень. Приймаємо  $c = 350$ .

Оскільки інтервали всі рівні, то  $h = 100$

$$u_i = \frac{x_i - 350}{100}.$$

Обчислюємо всі  $u_i$  та заносимо їх у п'яту графу таблиці 2.2.

Проводимо розрахунки для 6, 7, 8 і 9 граф таблиці 2.2.

Визначаємо початкові моменти для умовних варіант (умовні емпіричні моменти)

$$a_k = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n m_i u_i^k ;$$

$$a_1 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n m_i u_i ; \quad a_1 = \frac{-60}{100} = -0,60 ;$$

$$a_2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n m_i u_i^2 ; \quad a_2 = \frac{256}{100} = 2,56 ;$$

$$a_3 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n m_i u_i^3 ; \quad a_3 = \frac{-210}{100} = -2,10 ;$$

$$a_4 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n m_i u_i^4 ; \quad a_4 = \frac{1468}{100} = 14,68 .$$

Визначаємо центральні моменти для умовних варіант

$$\mu_2 = a_2 - a_1^2 ; \quad \mu_2 = 2,56 - (-60)^2 = 2,20 ;$$

$$\mu_3 = a_3 - 3a_2a_1 + 2a_1^3 ; \quad \mu_3 = -2,10 + 3 \cdot 2,56 \cdot 0,60 - 20,60^3 = 2,07 ;$$

$$\mu_4 = a_4 - 4a_3a_1 + 6a_2a_1^2 - 3a_1^4 ;$$

$$\mu_4 = 14,68 - 4 \cdot 2,10 \cdot 0,60 + 6 \cdot 2,56 \cdot 0,60^2 - 3 \cdot 0,60^4 = 14,78 .$$

Виконуючи зворотній перехід від умовних варіант до дійсних, визначаємо середнє значення і середнє квадратичне відхилення напрацювання елементів до руйнування

$$\bar{x} = a_1 h + c ;$$

$$\bar{x} = -0,60 \cdot 100 + 350 = 290 ;$$

$$s = h \sqrt{\mu_2} ;$$

$$s = 100 \cdot \sqrt{2,2} = 148,32 .$$

Коефіцієнт асиметрії та ексцес можна визначити за умовними емпіричними моментами

$$A(x) = \frac{\mu_3}{\mu_2^{3/2}} ;$$

$$A(x) = \frac{2,07}{2,20^{3/2}} = 0,63 ;$$

$$E(x) = \frac{\mu_4}{\mu_2^2} - 3 ;$$

$$E(x) = \frac{14,78}{2,20^2} - 3 = 0,05 .$$

Оскільки,  $A(x) > 0$ , то розподіл має позитивну асиметрію, тобто вершина кривої зсунута вліво і права сторона більш полого. Враховуючи, що  $E(x) > 0$ , то крива менш полого, ніж при нормальному розподілі.

Таблиця 2.2 – Результати розрахунку

Номер інтервалу	Інтервал	Середина інтервалу $x_i$	Частота $m_i$	$u_i$	$m_i u_i$	$m_i u_i^2$	$m_i u_i^3$	$m_i u_i^4$
1	0-100	50	6	-3	-18	54	-162	486
2	101-200	150	26	-2	-52	104	-208	416
3	201-300	250	25	-1	-25	25	-25	25
4	301-400	350	22	0	0	0	0	0
5	401-500	450	11	1	11	11	11	11
6	501-600	550	7	2	14	28	56	112
7	601-700	650	2	3	6	18	54	162
8	701-800	750	1	4	4	16	64	256
			100		-60	256	-210	1468

Дані також розміщені на сайті електронного навчання\_лабораторні\_заняття\_РОБОТА\_2 та на файлообміннику.

## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 3

**Тема: «Визначення ймовірності безвідмовної роботи системи з паралельним з'єднанням елементів»**

Системи з точки зору надійності поділяються на: *послідовні, паралельні і комбіновані.*

До послідовних систем відносять всі системи, в яких відмова елемента призводить до відмови всієї системи. Прикладом послідовної системи є технологічна лінія або конвеєр.

В системі з паралельним з'єднанням елементів важливо знати ймовірність безвідмовної роботи всієї системи, тобто всіх її елементів без одного, без двох і т.д. елементів в межах збереження системою працездатності навіть із значно пониженими показниками. Прикладом паралельної системи є енергетичні системи з електричних машин, що працюють на загальну сітку, багатомоторні літаки, кораблі з двома машинами і резервовані системи.

Конкретні дані вибирають наступним чином: за списком студентів (за останньою цифрою індивідуального номера залікової книжки) визначають значення час безперервної роботи  $t$  (додаток Д) та інтенсивність відмов кожного з двигунів  $\lambda$  (додаток Е).

Додаток Д

Час безперервної роботи

Варіант	00	01	02	03	04
$t, год.$	10	11	12	13	14
Варіант	05	06	07	08	09
$t, год.$	15	16	17	18	19

## Інтенсивність відмов

Варіант	0	1	2	3	4
$\lambda, год^{-1}$	$1 \cdot 10^{-4}$	$2 \cdot 10^{-4}$	$3 \cdot 10^{-4}$	$4 \cdot 10^{-4}$	$2 \cdot 10^{-4}$
Варіант	5	6	7	8	9
$\lambda, год^{-1}$	$3 \cdot 10^{-4}$	$4 \cdot 10^{-4}$	$2 \cdot 10^{-4}$	$3 \cdot 10^{-4}$	$4 \cdot 10^{-4}$

Вихідні дані для прикладу 00...0 (№ 100) представлені в завданні.

**Завдання**

Визначити ймовірність відмови двигунів верстата за час безперервної роботи  $t = 10 год$  при загальній кількості двигунів 4 та інтенсивності відмов кожного з двигунів  $\lambda = 1 \cdot 10^{-4} год^{-1}$ .

**Розв'язок**

Ймовірність безвідмовної роботи одного двигуна для експоненціального закону формування потоку відмов визначають за формулою

$$P_1 = e^{-\lambda t} .$$

Підставивши відповідні значення, отримаємо

$$P_1 = e^{-10^{-3}} = 0,999 .$$

Тоді ймовірність відмови одного двигуна

$$F_1(t) = 1 - P_1(t) ;$$

$$F_1(t) = 1 - 0,999 = 0,001 .$$

Для аналізу всіх можливих варіантів (перший двигун відмовив, інші

працюють, другий двигун відмовив і т. д.) використовують характеристичний поліном, який для чотирьох двигунів має вигляд

$$[P_1(t) + F_1(t)]^4 = P_1^4(t) + 4P_1^3(t) \cdot F_1(t) + 6P_1^2(t) \cdot F_1^2(t) + 4P_1(t) \cdot F_1^3(t) + F_1^4(t) = 1$$

Перший член виражає ймовірність роботи всіх двигунів

$$P_1^4(t) = 0,999^4 = 0,996.$$

Другий – ймовірність роботи трьох двигунів при відмові одного

$$4P_1^3(t) \cdot F_1(t) = 4 \cdot 0,999^3 \cdot 0,001 = 0,00399.$$

Третій – ймовірність роботи двох двигунів і відмови двох

$$6P_1^2(t) \cdot F_1^2(t) = 6 \cdot 0,999^2 \cdot 0,001^2 = 6 \cdot 10^{-6}.$$

Четвертий – ймовірність роботи одного двигуна і відмови трьох

$$4P_1(t) \cdot F_1^3(t) = 4 \cdot 0,999 \cdot 0,001^3 = 4 \cdot 10^{-9}$$

П'ятий – ймовірність того, що всі двигуни відмовлять

$$F_1^4(t) = 0,001^4 = 10^{-12}.$$

Сума першого і другого членів означає ймовірність відмови не більше одного двигуна (відсутність відмови, або відмову одного двигуна)

$$P_1^4(t) + 4P_1^3(t) \cdot F_1(t) = 0,996 + 0,00399 = 0,99999.$$

Дані також розміщені на сайті електронного навчання\_лабораторні\_заняття\_РОБОТА\_3 та на файлообміннику.

## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 4

### Тема: «Визначення числових значень показників надійності привідних клинових пасів»

Клинові паси – це вироби, що не ремонтуються, основними показниками їх надійності є: диференціальна  $f(t)$  і інтегральна  $F(t)$  функції розподілу напрацювання до першої відмови; ймовірність безвідмовної роботи  $P(t)$ , середнє напрацювання до першої відмови  $T_1$ , інтенсивність відмов  $\lambda(t)$ .

Числові значення показників надійності визначають за результатами випробувань  $N$  однотипних виробів в заданих умовах, де фіксується напрацювання окремих виробів до першої відмови в годинах роботи під навантаженням. Результати випробувань подають у вигляді інтегрального статистичного ряду розподілу напрацювання виробів до першої відмови.

Конкретні дані вибирають наступним чином: за списком студентів (за останньою цифрою індивідуального номера залікової книжки) визначають значення частот  $m_i$  відмов клинових пасів у  $i$ -х частотних інтервалах напрацювання (додаток Ж) та інтервали значень напрацювання  $T_1$  до першої відмови пасів (додаток З).

Додаток Ж

Значення частот  $m_i$  відмов клинових пасів у  $i$ -х частотних інтервалах напрацювання

Варіант	Номери частотних інтервалів					
	1	2	3	4	5	6
00	2	3	13	16	4	2
01	1	3	13	17	4	2
02	2	4	12	18	3	1
03	2	4	12	17	4	1
04	1	3	17	14	4	1

05	2	3	13	17	4	1
<b>06</b>	<b>1</b>	<b>4</b>	<b>14</b>	<b>17</b>	<b>3</b>	<b>1</b>
07	2	3	13	17	3	2
08	1	4	11	18	4	2
09	1	4	14	17	3	1

Додаток 3

Інтервали значень напрацювання  $T_1$  до першої відмови пасів

Варіант	Номери частотних інтервалів					
	1	2	3	4	5	6
0	0-50	50-100	100-150	150-200	200-250	250-300
1	0-60	60-120	120-180	180-240	240-300	300-360
2	0-70	70-140	140-210	210-280	280-350	350-420
3	0-80	80-160	160-240	240-320	320-400	400-480
4	0-90	90-180	180-270	270-360	360-450	450-540
5	0-100	100-200	200-300	300-400	400-500	500-600
6	0-110	110-220	220-330	330-440	440-550	550-660
7	0-120	120-240	240-360	360-480	480-600	600-720
8	0-130	130-260	260-390	390-520	520-650	650-780
9	0-140	140-280	280-420	420-560	560-700	700-840
<b>10</b>	<b>0-150</b>	<b>150-300</b>	<b>300-450</b>	<b>450-600</b>	<b>600-750</b>	<b>750-900</b>

Вихідні дані для прикладу 06...10 (№ 101) представлені в таблиці.

Значення частот  $m_i$  відмов клинових пасів у  $i$ -х частотних інтервалах напрацювання

Варіант	Номери частотних інтервалів					
	1	2	3	4	5	6
06	1	4	14	17	3	1



Інтервали значень напрацювання  $T_1$  до першої відмови пасів

Варіант	Номери частотних інтервалів					
	1	2	3	4	5	6
10	0-150	150-300	300-450	450-600	600-750	750-900

**Завдання:**

Визначити числові значення показників надійності привідних клинових пасів за даними випробувань 40 взірців.

**Розв'язок:**

Визначаємо інтервальний статистичний ряд емпіричного розподілу напрацювання для заданих умов, а отримані дані зводимо в табл. 4.1.

Таблиця 4.1 – Інтервальний статистичний ряд емпіричного розподілу напрацювання клинових пасів до відмови

Показник	Значення показника					
Межі частотних інтервалів, год	0...150	150...300	300...450	450...600	600...750	750...900
Середини інтервалів $T_{ci}$ , год	75	225	375	525	675	825
Частоти $m_i$	1	4	14	17	3	1
Частоти $m_i / N$	0,025	0,100	0,350	0,425	0,075	0,025
Накопичені частоти $\sum m_i / N$	0,025	0,125	0,475	0,900	0,975	1,000

Крім цього в табл. 4.1 вносимо середини інтервалів, а також значення частот  $m_i / N$  і накопичених частот  $\sum m_i / N$  для кожного  $i$ -го інтервалу, де  $N$  – кількість пасів, що випробувано, тобто  $N = 40$ .

Дані таблиці 4.1, використовуємо для побудови графіків, що характеризують емпіричний розподіл випадкової величини, – гістограми і полігону.

При побудові гістограми на горизонтальній осі графіка відкладають значення, що відповідають межах частотних інтервалів, а на вертикальній частоти або частоті відповідних інтервалів. Після цього будують прямокутники, основи яких лежать на горизонтальній осі координат і дорівнюють величині частотних інтервалів, а висоти дорівнюють частотам або частостям відповідних інтервалів. В результаті отримуємо ступінчастий багатокутник, або гістограму.

Після цього з'єднуємо прямими лініями середини верхніх горизонтальних сторін прямокутників гістограми прямими лініями і одержуємо полігон розподілу у вигляді ламаної лінії (рис. 4.1).

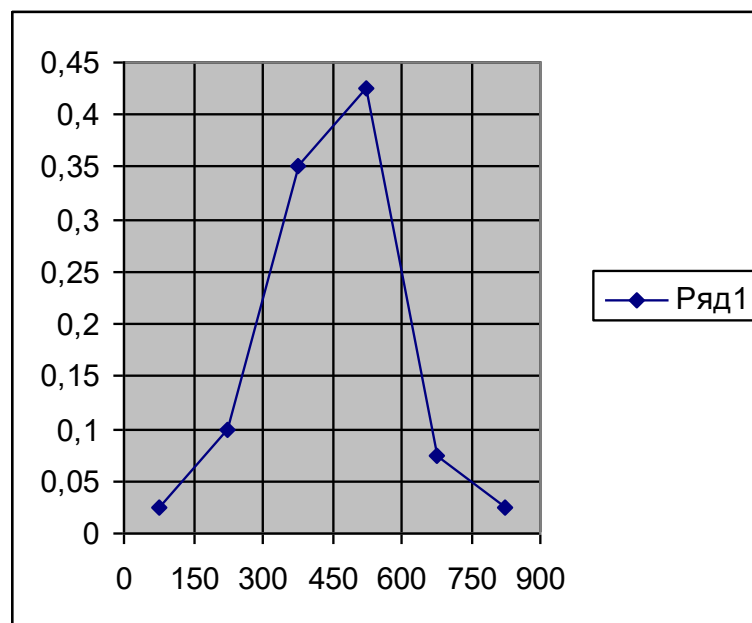


Рисунок 4.1 – Полігон емпіричного розподілу напрацювання привідних клинових пасів до першої відмови

Аналізуючи одержані гістограму і полігон можна зробити висновок, що найбільш ймовірне напрацювання клинових пасів до першої відмови знаходиться в інтервалі від 300 до 600год.

Числові значення статистичних характеристик розподілу випадкової величини, таких як середнє арифметичне значення  $\bar{T}_1$ , середнє квадратичне відхилення  $S$  і коефіцієнт варіації  $\nu$  можна підрахувати за наступними залежностями:

$$\bar{T}_1 = \frac{\sum T_{ci}^{m_i}}{N} ;$$

$$S = \sqrt{\frac{\sum (T_{ci} - \bar{T}_1)^2 \cdot m_i}{N}} ;$$

$$\nu = \frac{S}{\bar{T}_1} .$$

Для отримання значень  $\bar{T}_1$  і  $S$  можна також скористатися більш простим методом сум. Для цього складають таблицю 4.2, у два перших стовпчика якої переносять значення другого і третього рядка табл. 4.1. В третьому стовпчику табл. 4.2 роблять прочерк навпроти найбільшого значення частоти  $m_i$  (в нашому прикладі це 17), а в четвертому стовпчику – три прочерки: напроти прочерку у третьому стовпчику, а також зверху і знизу від нього.

Після цього в третьому стовпчику виконують послідовне додавання наростаючим підсумком значень  $m_i$ , починаючи від першого до прочерку і від останнього до прочерку.

Отримані значення сумують.

Таблиця 4.2 – Вихідні дані для визначення значень  $\bar{T}_1$  і  $S$  методом сум

$T_{ci}$ , год	$m_i$	Допоміжні коефіцієнти	
		$K_1=25$	$K_2=7$
75	1	1	1
225	4	5	6
375	14	19	-
525	17	-	-
675	3	4	-
825	1	1	1
	$N = 40$	$L_1=5$	$L_2=1$

В результаті складання верхньої частини значень, одержуємо значення коефіцієнта  $K_1=1+5+19=25$ , а в результаті складання нижньої частини значення коефіцієнта  $L_1=1+4=5$ .

Значення коефіцієнтів  $K_2$  і  $L_2$  одержують, користуючись тими самими правилами, вихідними даними, при цьому є значення третього стовпчика.

Після цього підраховують допоміжні коефіцієнти  $M_1$  і  $M_2$ , та визначають середнє арифметичне значення напрацювання клинових пасів до першої відмови  $\bar{T}_1$  і середнє квадратичне відхилення  $S$  за формулами:

$$M_1 = K_1 - L_1 ; \quad M_2 = K_1 + L_1 + 2K_2 + 2L_2 ;$$

$$\bar{T}_1 = T_{c \max} - \frac{A \cdot M_1}{N} ;$$

$$S = A \cdot \sqrt{\frac{M_2 - \frac{M_1^2}{N}}{N}} ,$$

де  $T_{c \max}$  – значення середини частотного інтервалу з максимальним числом відмов,

$A$  – значення напрацювання в межах частотного інтервалу (в нашому випадку 150 год.)

Підставивши відповідні значення одержимо:

$$M_1 = 25 - 5 = 20 ; \quad M_2 = 25 + 5 + 2 \cdot 7 + 2 \cdot 1 = 46 ;$$

$$\bar{T}_1 = 525 - \frac{150 \cdot 20}{40} = 450 \text{ год.}$$

$$S = 150 \cdot \sqrt{\frac{46 - \frac{400}{40}}{40}} = 142,3 \text{ год.}$$

Коефіцієнт варіації

$$v = \frac{142}{450} = 0,316 .$$

Даний коефіцієнт використовується не тільки у якості відносної характеристики ступеня розсіювання випадкової величини відносно середнього значення, але і для орієнтовного вибору теоретичного закону розподілу (ТЗР) випадкової величини. Стосовно до нашого завдання при  $v \leq 0,33$  вибирають нормальний закон розподілу, а при  $v > 0,33$  закон розподілу Вейбула.

Оскільки в даному прикладі значення  $v < 0,33$  для подальших розрахунків приймаємо нормальний закон розподілу напрацювання клинових пасів до першої відмови, цей орієнтовний висновок в подальшому буде перевірено з застосуванням критерію узгодженості  $\lambda$  (А. Н. Колмогорова).

Дані також розміщені на сайті електронного навчання\_лабораторні\_заняття\_РОБОТА\_4 та на файлообміннику.

## САМОСТІЙНА РОБОТА СТУДЕНТІВ

№ з/п	Назва теми	Кількість годин	
		денна форма	заочна форма
1	Предмет науки про надійність машин. Економічні показники надійності. Класифікація машин за надійністю.	2	2
2	Причини втрати працездатності. Відмови, пов'язані з конструкцією машин. Відмови, пов'язані з технологією виготовлення машин. Відмови, пов'язані з умовами експлуатації машин.	4	5
3	Фізичні основи надійності. Закони старіння. Зміни в поверхневому шарі деталей в процесі експлуатації. Вібраційні причини відмов.	6	6
4	Зношення матеріалів. Рідинне тертя. Тертя без змащувального матеріалу. Класифікація видів тертя.	3	3
5	Моделі відмов. Оцінка ступеня пошкодження матеріалу деталі. Закони розподілу терміну служби до відмови. Формування закону зміни вихідного параметру у часі.	4	4
6	Граничний стан виробу. Регламентация граничних станів в нормативно-технічній документації. Максимально допустиме значення вихідного параметру як випадкова величина. Максимальні і допустимі значення параметрів із урахуванням системи ремонту.	4	4
7	Кількісні показники надійності та довговічності машин. Щільність розподілу часу відмов. Інтенсивність відмов $\lambda(t)$ . Параметр потоку відмов $\omega(t)$ . $\gamma$ - процентний ресурс.	2	3
8	Кількісні показники ремонтпридатності. Інтенсивність відновлення. Середній час відновлення. $\gamma$ - процентний термін відновлення.	2	3
9	Роль технології в забезпеченні надійності. Відмови, пов'язані з технологією виготовлення деталей. Забезпечення надійності заданих параметрів обробки деталі. Створення запасу надійності технологічного процесу.	6	6
10	Технологічні засоби підвищення надійності і довговічності машин. Електролітичні, хімічні, полімерні покриття деталей машин. Захист деталей машин від корозійного, ерозійного та кавітаційного руйнування.	4	5
11	Оцінка надійності деталей при циклічному навантаженні. Вплив якості поверхні на втому металів при циклічному навантаженні. Види циклів напружень. Границя витривалості при циклічних навантаженнях.	4	5
12	Випробування на надійність. Стендові випробування на надійність з використанням статистичних методів. Прискорені випробування. Випробування матеріалів на зносостійкість. Випробування на надійність складних систем. Використання методу прогнозування та моделювання. Сертифікація продукції.	4	4
	Разом	45	50

## ЛІТЕРАТУРА

1. Канарчук В. Є. Надійність машин : підручник / В. Є. Канарчук, С. К. Полянський, М. М. Дмитрієв. – Київ : Либідь, 2003. – 424 с.
2. Технічна експлуатація та надійність автомобілів : навч. посібник / Є.Ю. Форнальчик, М. С. Оліскевич, О. Л., Мастикаш, Р. А. Пельо. – Львів : Афіша, 2004. – 492 с.
3. Васілевський О. М., Поджаренко В. О. Нормування показників надійності технічних засобів. Вінниця : Вінницький національний технічний
4. Надійність гідромашин і гідроприводів : конспект лекцій / укладач В. Ф. Герман. – Суми : Сумський державний університет, 2013. – 84 с.
5. ДСТУ 2860-94 Надійність техніки. Терміни та визначення. [Електронний ресурс]. – Доступний з <http://www.budinfo.org.ua/doc/1812459/DSTU-2860-94-Nadiinist-tekhniki-Termini-ta-viznachennia>

