

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
МИКОЛАЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Інженерно-енергетичний факультет

Кафедра тракторів та сільськогосподарських машин,
експлуатації і технічного сервісу

НАДІЙНІСТЬ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ ТЕХНІКИ

Методичні рекомендації

до виконання лабораторних робіт для
здобувачів ступеня вищої освіти «бакалавр» напрямку 6.100102
«Процеси, машини та обладнання агропромислового виробництва»
денної форми навчання

МИКОЛАЇВ
2016

УДК 631.3:629.017
ББК 40.7+34.414
Н17

Друкується за рішенням науково-методичної комісії інженерно-енергетичного факультету Миколаївського національного аграрного університету від 20.10.2016 р., протокол № 2.

Укладач:

Д. Д. Марченко – канд. тех. наук, в.о. доцент кафедри тракторів та сільськогосподарських машин, експлуатації і технічного сервісу, Миколаївський національний аграрний університет.

Рецензенти:

О. П. Попов – докт. тех. наук, професор, завідувач кафедри механіки та конструювання машин, Національний університет кораблебудування ім. адмірала Макарова.

Г. О. Іванов – канд. тех. наук, доцент кафедри загальнотехнічних дисциплін, Миколаївський національний аграрний університет.

© Миколаївський національний аграрний
університет, 2016

ЗМІСТ

	стор.
ВСТУП.....	4
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №1. ВИЗНАЧЕННЯ ТЕОРЕТИЧНИХ ЗАКОНІВ РОЗПОДІЛУ ПОКАЗНИКІВ НАДІЙНОСТІ.....	6
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №2. ВИЗНАЧЕННЯ ПОКАЗНИКІВ НАДІЙНОСТІ ВИРОБІВ, ЩО НЕ РЕМОНТУЮТЬСЯ, ДЛЯ ПОВНОЇ ВИБОРКИ – ПЛАН СПОСТЕРЕЖЕНЬ [NUN].....	28
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №3. ВИЗНАЧЕННЯ ПОКАЗНИКІВ НАДІЙНОСТІ ВИРОБІВ, ЩО НЕ РЕМОНТУЮТЬСЯ ДЛЯ ВСІЧЕНОЇ ВИБОРКИ – ПЛАН СПОСТЕРЕЖЕНЬ [NUT].....	36
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №4. ВИЗНАЧЕННЯ ПОВНОГО РЕСУРСУ СПРЯЖЕННЯ ТА ДОПУСТИМИХ РОЗМІРІВ З’ЄДНАНИХ ДЕТАЛЕЙ В МІСЦІ ЇХ НАЙБІЛЬШОГО ЗНОСУ...	41
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №5. ВИЗНАЧЕННЯ ПОКАЗНИКІВ НАДІЙНОСТІ ВИРОБІВ ГРАФІЧНИМ МЕТОДОМ.....	46
СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	59

ВСТУП

Методичні рекомендації до виконання лабораторних робіт з дисципліни «Надійність сільськогосподарської техніки» має своєю метою навчити майбутніх фахівців забезпечувати експлуатаційні показники машин протягом встановленого часу при оптимальних витратах матеріальних і трудових ресурсів на їх проектування, виробництво, експлуатацію, технічне обслуговування і ремонт.

Основні завдання: дати студентам основи знань з теоретичних основ надійності машин, методики оцінки і прийняття оптимальних рішень щодо її підвищення; навчати виявляти і аналізувати причини відмови, проводити випробування і визначати кількісні показники надійності машин, розробляти і здійснювати заходи підвищення надійності за рахунок удосконалення методик їх проектування, технології і організації виготовлення, експлуатації, технічного обслуговування і ремонту.

Метою викладання навчальної дисципліни «Надійність сільськогосподарської техніки» являється отримання знань і практичних навичок по вирішенню науково-технічних проблем підвищення надійності використання сільськогосподарської техніки з метою успішної підготовки фахівців в галузі агропромислового виробництва.

Основними завданнями вивчення навчальної дисципліни «Надійність сільськогосподарської техніки» є підготовка фахівців агропромислового виробництва, які здатні забезпечити самостійне розв'язування виробничих проблем надійності машин та обладнання.

У результаті вивчення навчальної дисципліни «Надійність сільськогосподарської техніки» студент повинен:

знати:

- методики оцінки і прийняття оптимальних рішень підвищення надійності машин;
- сучасні способи забезпечення працездатності с.г. машин;
- методи проектування прогресивних технологічних процесів;
- типові проектні рішення щодо ремонтної бази господарств та підрозділів;
- організацію ремонтного виробництва на підприємствах різного рівня;
- будову та основи використання сучасного ремонтно-технологічного обладнання.

вміти:

- планувати випробування машин на надійність і визначати її кількісні показники;
- проектувати раціональні технологічні ремонтні процеси;

- обґрунтовано підбирати типові проекти для створення та реконструкції ремонтно-обслуговуючої бази і її окремих підрозділів;
- обґрунтовувати техніко-економічну доцільність впровадження інженерних рішень у виробництво;
- визначати і прогнозувати ресурс машин і механізмів;
- виконувати основні ремонтні операції;
- мати уяву про технічну творчість, методи і напрями наукових досліджень в галузі машинобудування.

Кредитно-трансферна схема вивчення дисципліни
 «Надійність сільськогосподарської техніки»
 для здобувачів ступеня вищої освіти «бакалавр» напрямку 6.100102
 «Процеси, машини та обладнання агропромислового виробництва»

№ п/п	Найменування розподілу	К-ть годин/кредитів		
		Лекції	ЛЗ (ПЗ)	Всього
7-й семестр				
1	Модуль 1. Фізичні основи надійності.	8	16	24/0,66
2	Модуль 2. Методи визначення показників надійності.	8	14	22/0,61
Всього за 7-й семестр		16	30	46 (1,27)
8-й семестр				
3	Модуль 3. Методи випробування і контролю с.г. техніки на надійність.	20	20	40/1,11
4	Модуль 4. Граничні та допустимі значення параметрів надійності.	18	18	36/1
Всього за 8-й семестр		38	38	76 (2,11)
Всього		54	68	122 (3,38)

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №1

ВИЗНАЧЕННЯ ТЕОРЕТИЧНИХ ЗАКОНІВ РОЗПОДІЛУ ПОКАЗНИКІВ НАДІЙНОСТІ

Мета роботи: Засвоїти методику аналітичного визначення основних теоретичних законів розподілу показників надійності. Одержати практичні навички з математичної обробки дослідних даних.

Обладнання робочого місця: Установка для моделювання відмов та напрацювань до його настання, як одного з показників надійності кожного виробу, або групи виробів; обчислювальна машина.

Зміст роботи: на моделюючій установці визначити показники надійності. Інформація про показники надійності може бути задана викладачем.

За даними емпіричного ряду значень показника надійності, визначити теоретичний закон розподілу, розрахувати числові значення параметрів закону, емпіричній та теоретичній частоті, критеріїв узгодження.

Побудувати полігон, теоретичну криву показника надійності.

ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ДО РОБОТИ

В практичних задачах теорії надійності вимагається не лише визначити кількісні показники надійності, але й встановити вид теоретичного закону розподілу, так як він в певній мірі характеризує фізичну модель відмов. Крім того, визначення теоретичного закону розподілу дозволяє „вирівняти” емпіричний розподіл, що побудований за обмеженим числом експериментальних даних.

„Вирівнювання” дозволяє одержувати генеральні характеристики без збільшення обсягу експериментальних досліджень і, таким чином, більш точно визначити показники надійності.

Теоретичний закон висловлює загальний характер зміни показника надійності машини і виключає часткові відхилення, пов'язані з обмеженістю первинної інформації, умовами і тривалістю випробувань.

Знання теоретичного закону розподілу дозволяє оцінити надійність даної марки машин, розробити заходи по підвищенню якості їх виготовлення та ремонту, вирішувати практичні завдання в плануванні їх технічного обслуговування, ремонту і витрати запасних частин в умовах конкретного господарства.

В теорії надійності застосовується велика кількість різноманітних законів розподілу (нормальний, логарифмічно-нормальний, експоненціальний, біноміальний, гамма-розподіл, Вейбулла-Гнеденка,

Релея, Пуассона та ін.). Кожен закон має свою область застосування, свої параметри та розрахункові рівняння.

Стосовно до показників надійності машин, що експлуатуються в сільському господарстві, частіше за все застосовуються закони нормального розподілу (ЗНР), розподілу Вейбулла-Гнеденка (ЗРВ) та експоненціальний.

Тому в даній лабораторній роботі розглядаються головним чином зазначені розподіли.

МЕТОДИКА ВИКОНАННЯ РОБОТИ

Визначення теоретичного закону розподілу для емпіричного ряду значень показника надійності проводиться в наступній послідовності:

1. За даними результатів випробувань об'єктів, з оцінкою показника надійності, складають варіаційний ряд, або статистичний ряд вихідної інформації.
2. Визначають середнє значення ряду і характеристики розсіювання (дисперсію, середньоквадратичне відхилення і коефіцієнт варіації).
3. Перевіряють вихідну інформацію на випадючі точки.
4. За величиною коефіцієнта варіації визначають теоретичний закон розподілу.
5. „Вирівнюють” емпіричний розподіл показника надійності за теоретичним законом.
6. Визначають вірогідність узгодження за критеріями Пірсона і Колмогорова.
7. За значенням емпіричних і теоретичних частот будують полігон і теоретична крива розподілу.

1. Першим кроком при математичній обробці показників надійності є складання варіаційного ряду, коли досліджені дані показникам розміщуються в порядку зростання, або зменшення.

Якщо повторність інформації (число значень варіаційного ряду) перевищує 25, то для спрощення подальших розрахунків складається статистичний ряд вихідної інформації;

Для побудови статистичного ряду всі значення показників надійності розбиваються на n інтервалів.

Кількість інтервалів визначається за наступними формулами:

$$n = 1 + 3,2 \ln N$$

$$n = \lceil \sqrt{N} \rceil, \quad (1)$$

де N – повний об’єм вибірки (число дослідних значень показника надійності), $\lceil \lceil$ - знак, що говорить про необхідність округлення отриманого значення в бік збільшення до цілого числа.

Знаючи число інтервалів, визначимо ширину інтервалу за формулою:

$$A = \frac{t_{\max} - t_{\min}}{n}, \quad (2)$$

де t_{\max} - максимальне значення дослідного показника надійності. – t_{\min} мінімальне значення показника.

Ширину інтервалу звичайно округлюють до цілих парних значень. Всі інтервали повинні бути однаковими, прилягати один до одного і не мати розривів.

Початок першого інтервалу визначається з таким розрахунком, щоб мінімальна точка інформації знаходилась приблизно на його середині. Останній інтервал вибирається таким, щоб максимальне за величиною значення потрапило в цей інтервал.

Визначивши інтервали статистичного ряду інформації, розраховують частоту m_i , дослідну ймовірність (частість) P_i , і накопичену ймовірність F_o кожного інтервалу.

Частоту інтервалу m_i – це кількість значень показника надійності, що потрапляють в даний інтервал. В інтервал включаються ті значення показника надійності, що більші нижньої межі інтервалу і менші або дорівнюють верхній його межі.

Дослідна ймовірність P_i – це ймовірність появи показника надійності в кожному інтервалі. Вона визначається за формулою:

$$P_i = \frac{m_i}{N}. \quad (3)$$

Накопичена дослідна ймовірність F_o для кожного інтервалу визначається як сума частотей всіх попередніх інтервалів за формулою:

$$F_o = \sum_1^n P_i. \quad (4)$$

Для першого інтервалу $F_o = P_i$, а для останнього $F_o = 1,0$.

Розглянемо побудову статистичного ряду на прикладі : маємо наступні величини абсолютного зносу пальців передніх ресор автомобіля ГАЗ-53 в мм:

0,075; 0,070; 0,340; 0,370; 0,310; 0,330; 0,330; 0,330; 0,085;
0,090; 0,110; 0,110; 0,105; 0,109; 0,111; 0,112; 0,115; 0,118;
0,118; 0,120; 0,120; 0,120; 0,120; 0,125; 0,130; 0,140; 0,190;
0,180; 0,146; 0,146; 0,147; 0,147; 0,160; 0,160; 0,175; 0,175;
0,175; 0,175; 0,185; 0,185; 0,185; 0,185; 0,190; 0,190; 0,199;
0,199; 0,210; 0,210; 0,360; 0,230; 0,240; 0,250; 0,250; 0,255;

0,260; 0,260; 0,270; 0,270; 0,280; 0,282; 0,290; 0,300; 0,300;
0,146; 0,070; 0,370; 0,280; 0,340; 0,145; 0,165; 0,130; 0,290.

Визначаємо ширину інтервалу ряду, частоту, дослідну ймовірність(частість) і накопичену частість за формулами (3 і 4).

Одержані дані заносимо в табл.1.

Таблиця 1

Інтервал		m_i	P_i	F_9	\bar{t}_i	Примітка
t_{imin}	t_{imax}					
0,06	0,10	5	0,069	0,069	0,08	\bar{t}_i - середина кожного інтервалу
0,10	0,14	17	0,236	0,305	0,12	
0,14	0,18	14	0,194	0,499	0,16	
0,18	0,22	11	0,153	0,652	0,20	
0,22	0,26	7	0,097	0,749	0,24	
0,26	0,30	9	0,125	0,874	0,28	
0,30	0,34	6	0,083	0,957	0,32	
0,34	0,38	3	0,042	0,999	0,36	

$\sum m_i = N = 72$. 2. Для визначення середнього значення ряду і характеристик розсіювання (дисперсія, середньоквадратичне відхилення), в даній роботі використовується метод центрових відхилень, так як безпосереднє обчислення вказаних величин при $N > 25$ трудомістке.

Середнє значення показника надійності визначаємо за наступною формулою:

$$\bar{t} = ZA + L, \quad (5)$$

$$\text{де } \bar{Z} = \frac{1}{N} \sum_1^n z_i m_i; Z_i = \frac{\bar{t}_i - L}{A}; L = \bar{t}_i, \text{ (де } m_{i \max} \text{)}.$$

Дисперсію визначаємо за формулою:

$$\sigma^2 = A^2 + \sigma_z^2, \quad (6)$$

$$\text{де } \sigma_z^2 = \frac{1}{N} \sum_1^n (z_i^2 m_i) - (\bar{z})^2.$$

Середньоквадратичне відхилення (стандарт) визначається наступним виразом:

$$\sigma = A \sqrt{\sigma_z^2}. \quad (7)$$

Знаючи середнє значення ряду і середньоквадратичне відхилення, визначаємо величину коефіцієнта варіації:

$$V = \frac{\sigma}{\bar{t}}. \quad (8)$$

Як приклад розрахунку вказаних величин визначимо середнє значення, дисперсії, середнє квадратичне відхилення і коефіцієнта варіації

для розглянутих раніше деталей-пальців передніх ресор автомобіля ГАЗ-53, за формулами (5, 6, 7, 8).

Результати обчислень приведені в табл. 2. Розрахунок проміжних параметрів дозволить в кінцевому рахунку визначити ту закономірність, що адекватно описує характер розподілу параметру, що досліджується.

Таблиця 2

Інтервал		m_i	P_i	F_i	\bar{t}_i	z_i	$z_i m_i$	$z_i^2 m_i$	Примітка
$t_{i \min}$	$t_{i \max}$								
0,06	0,10	5	0,069	0,069	0,08	-1	-5	5	\bar{t}_i - середина кожного інтервалу
0,10	0,14	17	0,236	0,305	0,12	0	0	0	
0,14	0,18	14	0,194	0,499	0,16	1	14	14	
0,18	0,22	11	0,153	0,652	0,20	2	22	44	
0,22	0,26	7	0,097	0,749	0,24	3	21	63	
0,26	0,30	9	0,125	0,874	0,28	4	36	144	
0,30	0,34	6	0,083	0,957	0,32	5	30	150	
0,34	0,38	3	0,042	0,999	0,36	6	18	108	

$$\sum m_i = N = 72; \quad \sum_1^n (z_i m_i) = 136; \quad \sum_1^n (z_i^2 m_i) = 518.$$

Середнє значення:

$$L = 0,12 \text{ (при } m_{i \max}; \bar{t}_i = 0,12); \quad \bar{Z} = \frac{1}{72} \sum_1^n (z_i m_i) = 1,89;$$

$$\bar{t} = \bar{Z}A + L = 1,89 \cdot 0,04 + 0,12 = 0,195;$$

дисперсія:

$$\sigma_z^2 = \frac{518}{72} - 1,89^2 = 7,2 - 3,58 = 3,62$$

$$\sigma^2 = 0,04^2 \cdot 3,62 = 0,0058;$$

середньоквадратичне відхилення:

$$\sigma = 0,04 \sqrt{3,62} = 0,076$$

коефіцієнта варіації:

$$V = \frac{0,076}{0,195} = 0,39.$$

3. Наступним етапом обробки дослідних даних є перевірка значень статистичного ряду інформації на випадуючі (помилкові) точки. Для цього застосовуємо правило "Трьох сигм" - $\pm 3\sigma$.

Перевірка проводиться таким чином: від середнього значення показника надійності \bar{t} послідовно віднімається і додається 3σ .

Якщо крайні точки варіаційного ряду не виходять за межі значень $\bar{t} \pm 3\sigma$, всі його значення вважаються дійсними, непомилковими. Точки, що

виходять за ці межі, відкидають і в послідуєчих розрахунках не враховують.

4. Вибір необхідного теоретичного закону розподілу проводиться за коефіцієнтом варіації. Якщо $V = 0,08...0,32$ - вибирається нормальний закон розподілу; $V = 0,33...0,63$ - закон розподілу Вейбулла-Гнеденка; $V = 0,60...1,30$ – експоненціальний закон розподілу.

5. Після вибору теоретичного закону розподілу виконується „вирівнювання” емпіричного розподілу показника надійності за цим законом. Суть процесу „вирівнювання” полягає у визначенні теоретичних значень частот, частостей і накопичених частостей.

„Вирівнювання” за законом нормального розподілу

Диференціальна функція або щільність ймовірності нормального розподілу має наступний вигляд :

$$f(t) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(t-\bar{t})^2}{2\sigma^2}}, \quad (9)$$

де \bar{t} – середнє значення показника надійності;

σ - середньоквадратичне відхилення;

σ^2 - дисперсія.

Ці величини є параметрами закону, а тому, нормальний закон розподілу-двох параметричний.

Теоретичні частоти визначаються за формулою:

$$m_T = \frac{N \cdot A}{\sigma} \cdot f_0(t_0), \quad (10)$$

де $f_0(t_0)$ – диференціальна нормована функція нормального розподілу. Вона табульована і наведена в табл.1. додатку.

$$f_0(t_0) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{t_0^2}{2}}; \quad t_0 = \frac{t_i - \bar{t}}{\sigma}.$$

Значення t_0 знаходиться для кожного інтервалу, по ньому з табл.1. додатку визначається $f_0(t_0)$, а потім m_t .

Теоретичні частоти визначаються за формулою:

$$P_T = \frac{A}{\sigma} f_0(t_0). \quad (11)$$

„Вирівнювання” за законом Вейбулла-Гнеденка.

Диференціальна функція або щільність ймовірності розподілу закону Вейбулла-Гнеденка має наступний вигляд :

$$f(t) = \frac{b}{a} \left(\frac{\bar{t}_i}{a} \right)^{b-1} e^{-\left(\frac{\bar{t}_i}{a} \right)^b}, \quad (12)$$

де b і a – параметри розподілу, а тому, закон Вейбулла-Гнеденка також двох параметричний.

При $b = 1$ розподіл Вейбулла-Гнеденка співпадає з експоненціальним розподілом, а при $b = 2$ – з розподілом Релея.

Параметр b визначається з табл. 3. додатку залежно від величини коефіцієнту варіації V .

Параметр a розраховується за формулою:

$$a = \frac{\sigma}{c_b}, \quad (13)$$

де σ - середньоквадратичне відхилення;

c_b - коефіцієнт, що знаходиться за табл. 3. додатку.

Параметр a може бути визначений за табл. 3 додатку.

Теоретичні частоти визначаються за формулою:

$$m_T = N \cdot A \frac{a \cdot f(t)}{a}. \quad (14)$$

Значення $a \cdot f(t)$ визначається з табл. 4 додатку, в залежності від величини $\frac{\bar{t}_i}{a}$ і b для кожного інтервалу статистичного ряду.

Теоретичні частоти визначаються за формулою :

$$P_T = A \frac{a \cdot f(t)}{a}. \quad (15)$$

„Вирівнювання” по експоненціальному закону.

Диференціальна функція цього закону розподілу має наступний вигляд:

$$f(t) = \frac{1}{\bar{t}} e^{-\frac{t}{\bar{t}}}, \quad (16)$$

де \bar{t} параметр розподілу дорівнює середньому значенню показника надійності.

Цей закон одно параметричний.

Теоретичні частоти визначаються за формулою:

$$P_T = (F_T)_{i+1} - (F_T)_i, \quad (17)$$

де $(F_T)_{i+1}$ - накопичена теоретична частість кожного наступного інтервалу;

$(F_T)_I$ - накопичена теоретична частість кожного попереднього інтервалу.

Для першого інтервалу $P_T = (F_T)_{i+1}$; так як $(F_T)_I = 0$.

Накопичена теоретична частість визначається за формулою:

$$F_{Ti} = 1 - e^{-\frac{t_i}{\bar{t}}} = 1 - e^{-t}, \quad (18)$$

де

$$t = \frac{(t_2)_i}{\bar{t}}$$

$(t_2)_i$ - верхня границя кожного інтервалу.

Значення функцій e^{-t} визначається за табл. 6 додатку.

Теоретичні частоти визначається за формулою:

$$m_T = P_T \cdot N. \quad (19)$$

6. Оцінка відповідності вибраного теоретичного закону емпіричним даним статистичного ряду розподілу проводиться за допомогою критеріїв узгодження.

В математичній статистиці є велика кількість критеріїв узгодження, але в теорії надійності найбільше поширення одержали критерії узгодження Пірсона і Колмогорова.

Критерій χ^2 - (хі-квадрат) Пірсона, видатного англійського статистика, служить для оцінки розходження між емпіричними і теоретичними частотами.

Він визначається за наступною формулою:

$$\chi^2 = \sum_1^n \frac{(m_i - m_T)^2}{m_T}, \quad (20)$$

де n - число інтервалів статистичного ряду;

m_i - частота в інтервалі емпіричного ряду розподілу;

m_T - відповідно теоретична частота, вирівняна за законом розподілу.

При визначенні критерію Пірсона необхідно враховувати наступні умови:

1. $m_i \geq 5$, тобто частота в будь-якому інтервалі повинна бути більша або дорівнювати 5, якщо частота в інтервалі менше 5, то треба об'єднувати частоти в сусідніх інтервалах;
2. $n \geq 4$, тобто число інтервалів (в тому числі й об'єднаних) повинно перевищувати 4, в іншому випадку критерій Пірсона дає значні погрішності.

Визначивши значення критерію χ^2 далі потрібно розрахувати число ступенів свободи розподілу за формулою:

$$K = n - r - 1, \quad (21)$$

де n - число інтервалів статистичного ряду;

r - число параметрів теоретичного закону.

Знаючи χ^2 і K за табл.7 додатка визначаємо ймовірність погодження емпіричних даних теоретичним $P(\chi^2)$. Критичною ймовірністю узгодження треба вважати $P(\chi^2) = 0,1$; у випадку $P(\chi^2) < 0,1$ ймовірність погодження вважається незадовільною і необхідно визначити інший закон.

Критерій Колмогорова (видатний радянський математик) оснований на співвідношенні накопичених частостей емпіричного та теоретичного ряду розподілу і визначається за формулою:

$$\lambda = D_H \sqrt{N}, \quad (22)$$

де $D_H = (F_{\text{Э}} - F_T)_{\text{max}}$ - найбільша різниця між емпіричною і теоретичною ймовірністю(частістю).

Визначивши значення λ , за табл.8 додатку знаходиться ймовірність узгодження за розподілом цього критерію $P(\lambda)$.

Ймовірність узгодження вважається достатньою, якщо $P(\lambda) = 0,3 \dots 0,4$.

При порівнянні декількох законів розподілу обирається той закон, у якого найбільша ймовірність узгодження за двома критеріями.

ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

1. Вивчити методику визначення теоретичних законів розподілу показників надійності.
2. Одержати на машині або у викладача завдання для практичного розрахунку.
3. Скласти варіаційний ряд, а потім статистичний ряд вихідної інформації.
4. Визначити середнє значення ряду і характеристики розсіювання.
5. Перевірити вихідну інформацію на випадуючі точки.
6. За коефіцієнтом варіації підібрати теоретичний закон розподілу.
7. Скласти необхідні форми для розрахунку у вигляді табл. 3, 4, 5 (в залежності від закону розподілу).
8. Вирівняти емпіричний розподіл за теоретичним законом, використовуючи таблиці додатку.
9. Визначити ймовірність узгодження за критерієм Пірсона і Колмогорова.
10. За даними емпіричних і теоретичних частот побудувати полігон і теоретичну криву розподілу (мал.1).

ЗВІТ ПРО РОБОТУ

При виконанні лабораторної роботи кожен студент складає звіт, який відповідає такі питання: мета роботи; всі необхідні розрахунки; заповнені таблиці 3, 4, 5; графіки - полігон і теоретична крива розподілу.

Крім того, звіт повинен мати назву і номер лабораторної роботи, прізвище, ім'я і по-батькові студента, групу, курс, факультет.

РОЗРАХУНКОВІ ТАБЛИЦІ

Таблиця 3

Закон нормального розподілення

Інтервал		\bar{t}_i	m_i	z_i	$z_i m_i$	$z_i^2 m_i$	$\bar{t}_i - \bar{t}$	$t_0 = \frac{\bar{t}_i - \bar{t}}{\sigma}$	$f_0(t_0)$	m_T	$m_i - m_T$	$(m_i - m_T)^2$
t_{imin}	t_{imax}											
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13

Продовження таблиці 3

$\frac{(m_i - m_T)^2}{m_T}$	P_T	P_i	$F_T = \sum_1^n P_T$	$F_\Sigma = \sum_1^n P_i$	$F_\Sigma - F_T$
14	15	16	17	18	19

Таблиця 4

Закон розподілу Вейбулла-Гнеденка

Інтервал		\bar{t}_i	m_i	z_i	$z_i m_i$	$z_i^2 m_i$	$\frac{\bar{t}_i}{a}$	$af(t)$	$\frac{af(t)}{a}$	m_T	$m_i - m_T$	$\frac{(m_i - m_T)^2}{m_T}$	P_T	P_i
t_{imin}	t_{imax}													
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15

Продовження таблиці 4

F_T	F_Σ	$F_T - F_\Sigma$
16	17	18

Таблиця 5

Експоненціальний закон розподілу

Інтервал		\bar{t}_i	m_i	z_i	$z_i m_i$	$z_i^2 m_i$	$t = \frac{t_{in}}{\bar{t}}$	e^{-t}	$1 - e^{-t}$	P_T	m_T	$m_i - m_T$	$(m_i - m_T)^2$
t_{imin}	t_{imax}												
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14

$\frac{(m_i - m_T)^2}{m_T}$	P_i	$F_{\text{э}}$	$F_T - F_{\text{э}}$
15	16	17	18

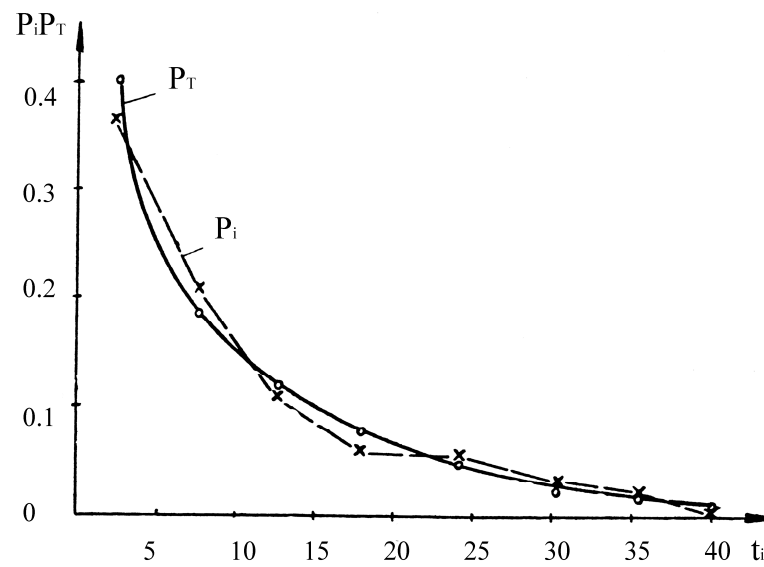


Рис. 1. Полігон і теоретична крива експоненціального закону розподілу

Диференціальна функція (функція щільності ймовірностей) закону нормального розподілу

$$f_0\left(\frac{\bar{t}_i - \bar{t}}{\sigma}\right)$$

$\left(\frac{\bar{t}_i - \bar{t}}{\sigma}\right)$	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0,0	0,399	399	399	399	399	398	398	398	398	397
0,1	0,397	397	396	396	395	395	394	393	393	392
0,2	0,391	390	389	388	388	387	386	385	384	383
0,3	0,381	380	379	378	377	375	374	372	371	370
0,4	0,368	367	365	364	362	361	359	357	355	354
0,5	0,352	350	349	347	345	343	344	339	337	335
0,6	0,333	331	329	327	325	323	321	319	317	314
0,7	0,312	310	308	306	303	301	299	297	294	292
0,8	0,290	287	285	283	280	278	276	273	271	269
0,9	0,266	264	261	259	257	254	252	249	247	244
1,0	0,242	240	237	235	232	230	228	225	223	220
1,1	0,218	216	213	211	208	206	204	201	199	197
1,2	0,194	192	190	187	185	183	180	178	176	174
1,3	0,171	169	167	165	163	160	158	156	154	152
1,4	0,150	148	146	144	142	139	137	135	133	132
1,5	0,130	128	126	124	122	120	118	116	115	113
1,6	0,111	109	107	106	104	102	101	099	097	096
1,7	0,194	092	091	089	088	086	085	083	082	080
1,8	0,079	078	076	075	073	072	071	069	068	067
1,9	0,066	064	063	062	061	060	058	057	056	055
2,0	0,054	053	052	051	050	049	048	047	046	045
2,1	0,044	043	042	041	040	040	039	038	037	036
2,2	0,035	035	034	032	032	032	031	030	030	029
2,3	0,029	028	027	026	026	025	025	024	023	023
2,4	0,022	022	021	021	020	020	019	019	018	018
2,5	0,018	017	017	016	016	015	015	014	014	014
2,6	0,014	013	013	013	012	012	012	011	011	011
2,8	0,008	007	007	007	007	007	007	006	006	006
3,0	0,004	004	004	004	004	004	004	004	003	003

Інтегральна функція (функція розподілу)
закона нормального розподілу

$$F_0\left(\frac{\bar{t}_i - \bar{t}}{\sigma}\right)$$

$\left(\frac{\bar{t}_i - \bar{t}}{\sigma}\right)$	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0,0	0,500	504	508	512	516	520	524	528	532	536
0,1	0,540	544	548	552	556	560	564	568	571	572
0,2	0,579	583	587	591	595	599	603	606	610	614
0,3	0,618	622	626	629	633	637	641	644	648	652
0,4	0,655	659	663	666	670	674	677	681	684	688
0,5	0,691	695	699	702	705	709	712	716	719	722
0,6	0,726	729	732	736	739	742	745	749	752	755
0,7	0,758	761	764	767	770	773	776	779	782	785
0,8	0,788	791	794	797	800	802	805	808	811	813
0,9	0,816	819	821	824	826	829	831	834	837	839
1,0	0,841	844	846	849	851	853	855	858	860	862
1,1	0,864	867	869	871	873	875	877	879	881	883
1,2	0,885	887	889	891	893	894	896	898	900	902
1,3	0,903	905	907	908	910	911	913	915	916	918
1,4	0,919	921	922	924	925	926	928	929	931	932
1,5	0,933	934	936	937	938	939	941	942	943	944
1,5	0,945	946	947	948	950	951	952	953	954	955
1,7	0,955	956	957	958	959	960	961	962	962	963
1,8	0,964	965	966	966	967	968	969	969	970	971
1,9	0,971	972	973	973	974	974	975	976	976	977
2,0	0,977	978	978	979	979	980	980	981	981	982
2,1	0,982	983	983	983	984	984	985	985	985	986
2,2	0,986	986	987	987	987	988	988	988	989	989
2,3	0,989	990	990	990	990	991	991	991	991	992
2,4	0,992	992	992	992	993	993	993	993	993	994
2,5	0,994	994	994	994	994	994	995	995	995	995
2,6	0,995	995	995	996	996	996	996	996	996	996
2,8	0,997	998	998	998	998	998	998	998	998	998
3,0	0,999	999	999	999	999	999	999	999	999	999

Параметри і коефіцієнти закону розподілу Вейбулла-Гнеденка (ЗРВ)

ϵ	k_ϵ	C_ϵ	V
0.800	1.133	1.428	1.261
0.820	1.114	1.367	1.227
0.832	1.100	1.424	1.200
0.840	1.096	1.311	1.196
0.880	1.066	1.214	1.139
0.900	1.152	1.171	1.113
0.920	1.040	1.132	1.088
0.960	1.018	1.061	1.042
0.980	1.009	1.029	1.020
1.000	1.000	1.000	1.000
1.040	0.984	0.947	0.962
1.080	0.971	0.900	0.927
1.120	0.959	0.858	0.894
1.160	0.949	0.821	0.862
1.200	0.941	0.787	0.837
1.240	0.933	0.757	0.811
1.280	0.926	0.729	0.787
1.320	0.921	0.704	0.765
1.360	0.916	0.681	0.744
1.400	0.911	0.660	0.724
1.420	0.909	0.650	0.714
1.440	0.908	0.640	0.705
1.460	0.906	0.631	0.696
1.480	0.904	0.622	0.687
1.500	0.903	0.613	0.679
1.520	0.901	0.605	0.671
1.540	0.900	0.597	0.663
1.560	0.899	0.589	0.655
1.580	0.898	0.581	0.647
1.600	0.897	0.574	0.640
2.240	0.886	0.418	0.472
2.260	0.886	0.415	0.468
2.280	0.886	0.412	0.465
2.300	0.886	0.408	0.461
2.320	0.886	0.405	0.457
2.340	0.886	0.402	0.454

ϵ	k_ϵ	C_ϵ	V
1.620	0.896	0.567	0.633
1.640	0.895	0.560	0.626
1.660	0.964	0.553	0.619
1.700	0.892	0.540	0.605
1.720	0.892	0.534	0.599
1.740	0.891	0.528	0.593
1.760	0.790	0.522	0.587
1.780	0.890	0.517	0.581
1.800	0.889	0.511	0.575
1.820	0.889	0.506	0.569
1.840	0.888	0.501	0.564
0.860	0.888	0.496	0.558
0.880	0.888	0.491	0.553
1.900	0.887	0.486	0.547
1.950	0.887	0.481	0.542
1.940	0.887	0.476	0.537
1.960	0.887	0.472	0.532
1.980	0.886	0.468	0.527
2.000	0.886	0.463	0.523
2.020	0.886	0.459	0.518
2.040	0.886	0.455	0.513
2.060	0.886	0.451	0.509
2.080	0.886	0.447	0.505
2.100	0.886	0.443	0.500
2.120	0.886	0.439	0.496
2.140	0.886	0.436	0.492
2.160	0.886	0.432	0.488
2.180	0.886	0.428	0.484
2.200	0.886	0.425	0.476
2.220	0.886	0.421	0.476
3.240	0.896	0.304	0.339
3.260	0.896	0.302	0.337
3.280	0.897	0.301	0.335
3.300	0.897	0.299	0.334
3.320	0.897	0.298	0.332
3.340	0.898	0.296	0.330

Продовження таблиці 3

ϵ	k_ϵ	C_ϵ	V
2,360	0,886	0,399	0,451
2,380	0,886	0,396	0,447
2,400	0,886	0,393	0,444
2,420	0,887	0,391	0,441
2,440	0,887	0,388	0,437
2,480	0,887	0,382	0,431
2,500	0,887	0,380	0,428
2,520	0,887	0,377	0,425
2,540	0,888	0,347	0,422
2,560	0,888	0,372	0,419
2,580	0,888	0,369	0,416
2,600	0,888	0,367	0,413
2,620	0,889	0,362	0,407
2,680	0,889	0,357	0,402
2,700	0,889	0,355	0,399
2,720	0,889	0,353	0,397
2,740	0,890	0,315	0,394
2,760	0,890	0,348	0,392
2,780	0,890	0,346	0,389
2,800	0,890	0,344	0,387
2,820	0,891	0,342	0,384
2,840	0,891	0,340	0,382
2,860	0,891	0,338	0,379
2,880	0,891	0,336	0,377
2,900	0,892	0,334	0,375
2,920	0,892	0,332	0,372
2,940	0,892	0,330	0,370
2,960	0,862	0,328	0,368
2,980	0,893	0,326	0,366
3,000	0,893	0,325	0,363
3,020	0,893	0,323	0,361
3,040	0,893	0,321	0,359
3,060	0,894	0,319	0,357
3,080	0,894	0,317	0,355
3,100	0,894	0,316	0,353
3,120	0,895	0,314	0,351
3,140	0,895	0,312	0,349

ϵ	k_ϵ	C_ϵ	V
3,360	0,988	0,295	0,328
3,380	0,898	0,293	0,326
3,400	0,898	0,292	0,325
3,420	0,899	0,290	0,325
3,440	0,899	0,287	0,321
3,480	0,899	0,286	0,318
3,500	0,900	0,285	0,316
3,520	0,900	0,283	0,315
3,540	0,900	0,282	0,313
3,560	0,901	0,281	0,312
3,580	0,901	0,279	0,310
3,600	0,901	0,278	0,308
3,620	0,902	0,275	0,307
3,660	0,902	0,274	0,304
3,680	0,902	0,273	0,302
3,700	0,902	0,272	0,301
3,720	0,903	0,270	0,299
3,740	0,903	0,269	0,298
3,760	0,903	0,268	0,297
3,780	0,903	0,267	0,295
3,800	0,904	0,267	0,294
3,820	0,904	0,264	0,292
3,840	0,904	0,263	0,291
3,860	0,905	0,262	0,290
3,880	0,905	0,261	0,288
3,900	0,905	0,260	0,287
3,920	0,905	0,259	0,286
3,940	0,906	0,258	0,284
3,960	0,906	0,256	0,283
3,980	0,906	0,255	0,282
4,000	0,906	0,254	0,280
4,020	0,907	0,253	0,279
4,040	0,907	0,252	0,278
4,060	0,907	0,251	0,277
4,080	0,907	0,250	0,276
4,100	0,908	0,246	0,274
4,120	0,908	0,248	0,273

Продовження таблиці 3

ϵ	k_ϵ	C_ϵ	V
3,160	0,895	0,310	0,347
3,180	0,895	0,309	0,345
3,200	0,896	0,307	0,343
3,220	0,896	0,306	0,341

ϵ	k_ϵ	C_ϵ	V
4,140	0,908	0,247	0,272
4,160	0,908	0,246	0,271
4,180	0,909	0,245	0,270
4,200	0,909	0,244	0,268

Примітка: $\bar{t} = a \cdot k_\epsilon$; $\sigma = a \cdot C_\epsilon$; $a = \frac{\bar{t} - t_{cm}}{k_\epsilon}$;

Додаток. Таблиця 4

Функція щільності ймовірності $a f(t)$
закон розподілу Вейбулла-Гнеденка

$b \backslash \frac{t}{a}$	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0	3.0
0.1	0.905	711	536	392	281	198	030
0.2	0.819	752	662	565	470	384	119
0.3	0.741	745	719	672	613	548	263
0.4	0.670	716	735	733	714	682	450
0.5	0.607	766	726	759	776	779	662
0.6	0.549	630	700	757	803	837	870
0.7	0.497	582	662	734	800	858	1.043
0.8	0.449	534	616	695	771	844	1.151
0.9	0.407	487	566	645	723	801	1.172
1.0	0.368	442	515	589	662	736	1.104
1.1	0.333	399	464	529	593	656	959
1.2	0.301	359	414	468	520	569	767
1.3	0.273	321	367	409	447	480	564
1.4	0.247	287	323	353	377	394	378
1.5	0.223	256	282	301	313	316	231
1.6	0.202	227	245	253	255	247	128
1.7	0.183	202	212	213	205	189	064
1.8	0.165	178	182	176	162	141	029
1.9	0.150	157	155	144	126	103	011
2.0	0.135	139	132	117	096	073	004
2.1	0.123	122	112	094	073	051	001
2.2	0.111	107	194	075	054	035	-
2.3	0.100	094	079	060	040	023	-
2.4	0.091	082	066	047	029	015	-
2.5	0.082	072	055	036	021	010	-

Функція розподілу $F(t)$ закону Вейбулла-Гнеденка

$\begin{matrix} b \\ t/a \end{matrix}$	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0	2.5	3.0	3.5
0.1	0.095	061	039	025	016	010	003	001	000
0.2	0.181	135	100	073	054	039	018	008	004
0.3	0.259	210	169	136	108	086	048	027	015
0.4	0.330	283	242	206	175	148	096	062	040
0.5	0.393	353	315	281	250	221	162	117	085
0.6	0.451	418	387	357	329	302	243	194	154
0.7	0.503	479	455	432	409	387	336	290	249
0.8	0.551	535	519	503	488	473	436	401	367
0.9	0.593	586	578	570	563	555	536	518	499
1.0	0.632	632	632	632	632	632	632	632	632
1.1	0.667	674	681	688	695	702	719	736	752
1.2	0.699	712	725	738	750	763	793	822	850
1.3	0.727	746	764	782	799	815	854	889	918
1.4	0.753	776	798	820	840	859	902	936	961
1.5	0.777	803	829	852	874	895	936	966	984
1.6	0.798	828	855	880	903	923	961	983	994
1.7	0.817	869	878	903	926	944	977	993	998
1.8	0.835	868	897	923	944	961	987	997	-
1.9	0.850	885	914	939	958	973	993	999	-
2.0	0.865	899	929	952	969	982	996	-	-
2.1	0.877	912	941	962	978	988	998	-	-
2.2	0.889	924	951	971	984	992	999	-	-
2.3	0.900	934	960	977	989	995	-	-	-
2.4	0.909	943	967	983	992	997	-	-	-
2.5	0.918	950	973	987	994	998	-	-	-

Додаток. Таблица 6

t	e^t	e^{-t}	t	e^t	e^{-t}	t	e^t	e^{-t}
0	1.0000	1.0000	0.35	1.4191	0.7047	0.70	2.0138	0.4966
0.01	1.0050	0.9900	0.36	1.4333	0.6977	0.71	2.0340	0.4916
0.02	1.0202	0.9802	0.37	1.4477	0.6907	0.72	2.0544	0.4868
0.03	1.0305	0.9704	0.38	1.4623	0.6839	0.73	2.0751	0.4819
0.04	1.0408	0.9608	0.93	1.4770	0.6771	0.74	2.0959	0.4771
0.05	1.0513	0.9512	0.40	1.4918	0.6703	0.75	2.1170	0.4724
0.06	1.0618	0.9418	0.41	1.5068	0.6637	0.76	2.1383	0.4677
0.07	1.0725	0.9324	0.42	1.5220	0.6570	0.77	2.1598	0.4630
0.08	1.0833	0.9231	0.43	1.5379	0.6505	0.78	2.1815	0.4584
0.09	1.0942	0.9139	0.44	1.5527	0.6440	0.79	2.2034	0.4538
0.10	1.1052	0.9048	0.45	1.5683	0.6376	0.80	2.2255	0.4493
0.11	1.1163	0.8958	0.46	1.5841	0.6313	0.81	2.2479	0.4449
0.12	1.1275	0.8869	0.47	1.6000	0.6250	0.82	2.2705	0.4404
0.13	1.1388	0.8781	0.48	1.6161	0.6188	0.83	2.2933	0.4360
0.14	1.1503	0.8694	0.49	1.6323	0.6226	0.84	2.3164	0.4317
0.15	1.1618	0.8601	0.50	1.6487	0.6065	0.85	2.3396	0.4274
0.16	1.1735	0.8521	0.51	1.6653	0.6005	0.86	2.3632	0.4232
0.17	1.1853	0.8437	0.52	1.6820	0.5945	0.87	2.3869	0.4190
0.18	1.1972	0.8353	0.53	1.6989	0.5836	0.88	2.4169	0.4148
0.19	1.2092	0.8270	0.54	1.7060	0.5827	0.89	2.4351	0.4107
0.20	1.2214	0.8167	0.55	1.7333	0.5769	0.90	2.4596	0.4066
0.21	1.2337	0.8106	0.56	1.7507	0.5712	0.91	2.4843	0.4025
0.22	1.2461	0.8025	0.57	1.7683	0.5655	0.92	2.5093	0.3985
0.23	1.2586	0.7943	0.58	1.7860	0.5599	0.93	2.2345	0.3946
0.24	1.2712	0.7866	0.59	1.8040	0.5543	0.94	2.5600	0.3906
0.25	1.2840	0.7788	0.60	1.8221	0.5488	0.95	2.5857	0.3867
0.26	1.2969	0.7711	0.61	1.8404	0.5434	0.96	2.6117	0.3829
0.27	1.3100	0.7634	0.62	1.8589	0.5379	0.97	2.6379	0.3791
0.28	1.3231	0.7558	0.63	1.8776	0.5326	0.98	2.6645	0.3753
0.29	1.3364	0.7483	0.64	1.8965	0.5273	0.99	2.6912	0.3716
0.30	1.3499	0.7408	0.65	1.9155	0.5220	1.00	2.7183	0.3679
0.31	1.3634	0.7334	0.66	1.9348	0.5169	1.01	2.7456	0.3642
0.32	1.3771	0.7261	0.67	1.9542	0.5117	1.02	2.7732	0.3606
0.33	1.3910	0.7189	0.68	1.9639	0.5066	1.03	2.8011	0.3510
0.34	1.4049	0.7118	0.69	1.9937	0.5016	1.04	2.8292	0.3535

Продовження таблиці 6

t	e^t	e^{-t}	t	e^t	e^{-t}	t	e^t	e^{-t}
1,05	2,8577	0,3499	1,40	4,0552	0,2466	2,30	9,9742	0,1003
1,06	2,8864	0,3465	1,41	4,0960	0,2441	2,35	10,486	0,0954
1,07	2,9154	0,3430	1,42	4,1371	0,2417	2,40	11,023	0,0907
1,08	2,9447	0,3396	1,43	4,1787	0,2393	2,45	11,588	0,0863
1,09	2,9743	0,3362	1,44	4,2207	0,2369	2,50	12,182	0,0821
1,10	3,0042	0,3329	1,45	4,2631	0,2346	2,55	12,807	0,0781
1,11	3,0444	0,3296	1,46	4,3060	0,2322	2,60	13,464	0,0743
1,12	3,0649	0,3263	1,47	4,3492	0,2299	2,65	14,154	0,0707
1,13	3,0957	0,3230	1,48	4,3929	0,2276	2,70	14,880	0,0672
1,14	3,1268	0,3198	1,49	4,4371	0,2254	2,75	15,643	0,0639
1,15	3,1582	0,3166	1,50	4,4817	0,2231	2,80	16,445	0,0608
1,16	3,1899	0,3185	1,51	4,5267	0,2209	2,85	17,288	0,0578
1,17	3,2220	0,3140	1,52	4,5722	0,2187	2,90	18,174	0,0550
1,18	3,2544	0,3073	1,53	4,6182	0,2165	2,95	19,106	0,0523
1,19	3,2871	0,3042	1,54	4,6646	0,2144	3,00	20,086	0,0498
1,20	3,3201	0,3012	1,55	4,7115	0,2122	3,05	21,115	0,0414
1,21	3,3535	0,2982	1,56	4,7588	0,2101	3,10	22,198	0,0451
1,22	3,3872	0,2952	1,57	4,8066	0,2080	3,15	23,336	0,0429
1,23	3,4212	0,2923	1,58	4,8580	0,2060	3,20	24,533	0,0408
1,24	3,4556	0,2894	1,59	4,9037	0,2039	3,25	25,790	0,0388
1,25	3,4903	0,2865	1,60	4,9530	0,2019	3,30	27,113	0,0369
1,26	3,5254	0,2837	1,65	5,2070	0,1920	3,35	28,503	0,0351
1,27	3,5609	0,2808	1,70	5,4739	0,1827	3,40	29,964	0,0334
1,28	3,5966	0,2780	1,75	5,7546	0,1738	3,45	31,500	0,0318
1,29	3,6328	0,2753	1,80	6,0496	0,1653	3,50	33,115	0,0302
1,30	3,6693	0,2725	1,85	6,3596	0,1572	3,55	34,813	0,0287
1,31	3,7062	0,2698	1,90	6,6859	0,1496	3,60	36,598	0,0273
1,32	3,7434	0,2671	1,95	7,0287	0,1423	3,65	38,475	0,0260
1,33	3,7910	0,2645	2,00	7,3891	0,1353	3,70	40,447	0,0247
1,34	3,8190	0,2618	2,05	7,7679	0,1287	3,75	42,521	0,0235
1,35	3,8574	0,2592	2,10	8,1662	0,1226	3,80	44,701	0,0224
1,36	3,8962	0,2567	2,15	8,5849	0,1165	3,85	46,993	0,0213
1,37	3,9354	0,2541	2,20	9,0550	0,1108	3,90	49,402	0,0202
1,38	3,9749	0,2516	2,25	9,4877	0,1054	3,95	51,935	0,0193
1,39	4,0149	0,2490	2,30	9,9742	0,1003	4,00	54,5980	0,0183

Ймовірність $P(\chi^2)$ для критерію Персона

χ^2	K								
	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	0.6065	8013	9098	9626	9856	9948	9982	9994	9998
2	0.3679	5724	7358	8491	9197	9598	9810	9915	9963
3	0.2231	3916	5878	7000	8088	8850	9344	9643	9814
4	0.1353	2615	4060	5494	6767	7798	8571	9114	9373
5	0.0821	1718	2873	4159	5338	6600	7576	8343	8912
6	0.0498	1116	1991	3062	4232	5398	6472	7399	8153
7	0.0302	0719	1359	2206	3208	4289	5366	6371	7254
8	0.0183	0460	0916	1562	2318	3326	4335	5341	6288
9	0.0111	0293	0611	1091	1736	2527	3423	4373	5321
10	0.0067	0186	0404	0752	1247	1886	2650	3505	4405
11	0.0041	0117	0266	0514	0884	1386	2017	2757	3575
12	0.0025	0074	0174	0348	0620	1006	1512	2133	2851
13	0.0015	0046	0113	0234	0430	0721	1119	1626	2237
14	0.0009	0029	0073	0156	0226	0512	0818	1223	1730
15	0.0006	0018	0047	0104	0203	0360	0591	0909	1321
16	0.0003	0011	0030	0068	0138	0251	0424	0669	0996
17	0.0002	0007	0019	0045	0093	0174	0301	0487	0744
18	0.0001	0004	0012	0029	0062	0120	0212	0352	0550
19	0.0001	0003	0008	0019	0042	0082	0149	0252	0403
20	0.0000	0002	0005	0013	0028	0056	0103	0179	0293
21	0.0000	0001	0003	0008	0018	0038	0071	0126	0211
22	0.0000	0001	0002	0005	0012	0025	0049	0089	0151
23	0.0000	0000	0001	0003	0008	0017	0034	0062	0107
24	0.0000	0000	0001	0002	0005	0011	0023	0043	0076
25	0.0000	0000	0001	0001	0003	0008	0016	0030	0053
26	0.0000	0000	0000	0001	0002	0005	0010	0020	0037
27	0.0000	0000	0000	0001	0001	0003	0007	0014	0026
28	0.0000	0000	0000	0000	0001	0002	0005	0010	0018
29	0.0000	0000	0000	0000	0001	0001	0003	0006	0012
30	0.0000	0000	0000	0000	0000	0001	0002	0004	0009

χ^2	<i>K</i>								
	11	12	13	14	15	16	17	18	19
1	0,9999	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
2	0,9985	9994	9998	9999	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
3	0,9907	9955	9979	9991	9998	9998	9998	1,00	1,00
4	0,9699	9834	9912	9955	9977	9989	9996	9998	9999
5	0,9312	9580	9752	9858	9921	9958	9978	9989	9994
6	0,8734	9161	9462	9665	9797	9881	9932	9962	9979
7	0,7991	8576	9022	9343	9576	9973	9835	9901	9942
8	0,7133	7851	8436	8893	9238	9489	9665	9786	9867
9	0,6219	7029	7729	8311	8775	9134	9403	9597	9735
10	0,5304	6160	6939	7622	8197	8666	9063	9619	9529
11	0,4433	5289	6102	6860	7526	8095	8566	8944	9238
12	0,3626	4457	5276	6063	6790	7440	8001	8472	8856
13	0,2933	3690	4478	5265	6023	6728	7362	7916	8385
14	0,2330	3007	3738	4497	5255	5887	6671	7291	7837
15	0,1825	2414	3074	3782	4514	5246	5955	6620	7226
16	0,1411	1912	2491	3134	3821	4530	5238	5925	5673
17	0,1079	1496	1993	2562	3189	3856	4544	5231	5899
18	0,0816	1157	1578	2068	2627	3239	3888	4557	5224
19	0,0611	0885	1231	1449	2137	2687	3285	3918	4568
20	0,0453	0671	0952	1301	1719	2202	2742	3328	3946
21	0,0334	0504	0729	1016	1368	1785	2263	2794	3368
22	0,0244	0375	0554	0786	1078	1432	1847	2320	2843
23	0,0177	0277	0417	0603	0841	1137	1493	1806	2373
24	0,0127	0203	0311	0458	0651	0895	1194	1550	1962
25	0,0091	0148	0231	0346	0499	0698	0947	1249	1605
26	0,0065	0107	0107	0259	0380	0540	0745	0998	1302
27	0,0046	0077	0124	0193	0287	0415	0581	0790	1047
28	0,0032	0055	0090	0142	0216	0316	0449	0621	0837
29	0,0023	0039	0065	0104	0161	0239	0345	0484	0660
30	0,0016	0028	0047	0076	0119	0180	0263	0374	0518

Ймовірність $P(\lambda)$ критерію Колмогорова

λ	$P(\lambda)$	λ	$P(\lambda)$	λ	$P(\lambda)$
0,30	1,0000	0,75	0,6272	1,60	0,0120
0,35	0,9997	0,80	0,5441	1,70	0,0062
0,40	0,9972	0,85	0,4653	1,80	0,0032
0,45	0,9874	0,90	0,3927	1,90	0,0015
0,50	0,9639	0,95	0,3275	2,00	0,0007
0,55	0,9228	1,00	0,2700	2,10	0,0003
0,58	0,8898	1,10	0,1777	2,20	0,0001
0,60	0,8643	1,20	0,1122	2,30	0,0001
0,64	0,8073	1,30	0,0681	2,40	0,0000
0,65	0,7920	1,40	0,0597	2,50	0,0000
0,70	0,7112	1,50	0,0222	-	-

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №2

ВИЗНАЧЕННЯ ПОКАЗНИКІВ НАДІЙНОСТІ ВИРОБІВ, ЩО НЕ РЕМОНТУЮТЬСЯ ДЛЯ ПОВНОЇ ВИБОРКИ – ПЛАН СПОСТЕРЕЖЕНЬ [NUM]

Мета роботи: засвоїти методику і набути навичок визначення показників надійності виробів та їх довірчих меж для повної вибірки.

Обладнання робочого місця: установка для моделювання наробіток до відмови кожного з генеральної вибірки однотипових виробів, що досліджуємо; обчислювальна машина (інженерний мікрокалькулятор типу).

Зміст роботи: на моделювальній установці визначити величини експлуатаційної наробітки до відмови кожного виробу або групи виробів. Інформація про об'єкті може бути задана викладачем.

По одержаних даних визначити кількісні значення показників надійності, підібравши відповідний теоретичний закон розподілу, побудувати графік зміни ймовірності безвідмовної роботи в залежності від наробітки.

ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПО РОБОТІ

До виробів, що не ремонтуються відносять деталі або нерозбірні вузли, які працюють до першої відмови, а потім вибраковуюються, так як їх відновлення з технічних або економічних поглядів не доцільно.

Показники надійності не ремонтованих виробів є випадковими величинами, тому для визначення їх кількісних значень потрібен статистичний матеріал.

Для збору достатньої кількості інформації про відмови, спостереження ведуть за партією однотипних виробів в умовах рядової експлуатації, та в умовах спеціальних випробувань, моделюючих відмов.

В процесі спостереження реєструють час (наробітку), від початку роботи об'єкту до настання його відмови.

План випробування [NUM] трактується таким чином: під спостереження поставлено N виробів, випробування проводяться з фіксуванням часу наробітку U до появи відмови, або настання граничного стану виробу всіх N виробів.

Вироби, що відмовили вибраковуються, новими не замінюються і в подальшому процесі випробування участі не приймають.

Послідуюча обробка експериментальних даних зводиться до визначення показників безвідмовності і довговічності генеральної сукупності досліджуваних об'єктів.

Статистична оцінка показників надійності не ремонтованих виробів здійснюється за допомогою наступних залежностей.

Показники безвідмовності:

Середній наробіток на відмову - математичне сподівання (середня значення) наробітки до першої відмови. Для невідновлених об'єктів середній наробіток до першої відмови рівнозначна середній наробітки до відмови:

$$\bar{T}_0 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N t_i, \quad (1)$$

де t_i - наробіток i -го об'єкту до відмови;

N - кількість виробів на випробуванні.

При статистичній оцінці цього показника використовується наступний вираз:

$$\bar{T}_0 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n \bar{t}_i m_i, \quad (2)$$

де n - кількість інтервалів статистичного ряду;

\bar{t}_i - середнє значення наробітки в інтервалі;

m_i - кількість відмов в кожному інтервалі \bar{t}_i .

Інтенсивність відмов - умовна щільність ймовірності появи відмови об'єкта, що не відновлюється, визначається для моменту часу і розглядається при умові, що до цього моменту відмова не наступила.

Фізичний зміст щільності ймовірності відмови - це ймовірність відмови за достатньо малу одиницю часу:

$$P(t)\lambda(t)\Delta t = f(t)\Delta t. \quad (3)$$

Тоді:

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{P(t)}. \quad (4)$$

За наближеною статистичною формулою інтенсивність відмов визначається:

$$\lambda(t) = \frac{m_i(t_i)}{Nu_i(t_i)}, \quad (5)$$

де $m_i(\bar{t}_i)$ - число відмов об'єктів в проміжку \bar{t}_i

$\bar{N}u_i(\bar{t}_i)$ - середня кількість справних об'єктів в проміжку \bar{t}_i .;

$$\bar{N}u_i(t_i) = \frac{N_{iin} + N_{iik}}{2}, \quad (6)$$

де N_{iin} - кількість справних об'єктів на початку \bar{t}_i .;

N_{iik} - кількість справних об'єктів в кінці проміжку \bar{t}_i .

Ймовірність безвідмовної роботи - ймовірність того, що в границях за даного наробітку відмови об'єкту не буде.

Аналітичний вираз для визначення $P(t)$:

$$P(t) = 1 - F(t_i), \quad (7)$$

де $F(t_i)$ - табульована функція статистичного розподілу відмов, що розшукується за аргументом:

$F\left(\frac{\bar{t}_i - \bar{t}}{\sigma}\right)$ - таблиці додатків до лабораторної роботи №1 для відповідних законів розподілу.

При статистичній оцінці величина $P(t)$ може бути визначена за наступним виразом:

$$P(t) = 1 - \frac{\sum_1^n m_i}{N}, \quad (8)$$

де $\sum_1^n m_i$ - зростаюча кількість відмов в кожному інтервалі \bar{t}_i .

Показники довговічності

Гамма-процентний ресурс - наробіток протягом якого об'єкт не досягає граничного стану з заданою вірогідністю γ -відсотків.

Гамма-відсотковий ресурс більш важливий в практичному плані так, як в результаті неминучого розсіювання величини довго строкості сільськогосподарської техніки при змінних умовах експлуатації, їх довговічність - величина статистична, яка визначається за даними про довговічність великої групи об'єктів.

Гамма-відсотковий ресурс - ресурс, який має і перевищує в середньому обумовлене число γ -відсотків виробів даного типу. Таким чином даний відсоток об'єктів γ -регламентована ймовірність.

Якщо ресурс має розподіл з цінністю ймовірності $f(t)$, гамма-відсотковий ресурс t_γ знаходять з рівняння:

$$P(t_\gamma) = \frac{\gamma}{100} . \quad (9)$$

МЕТОДИКА ВИКОНАННЯ РОБОТИ

Визначення числових значень окремих показників надійності в вирішенні практичних задач часто не достатньо. Більшу інформацію про динаміку зміни цих показників можна одержати, встановивши вид теоретичного розподілу, оскільки він характеризує визначену модель відмов.

Визначення теоретичного закону розподілу дозволяє екстраполювати експериментальні данні, отриманні з обмеженої кількості спостережень та виявити генеральні характеристики зміни показників надійності з високим ступенем точності.

Найбільш простий метод визначення параметрів теоретичного закону розподілу за емпіричними даними полягає в наступному:

1. За експериментальними даними показника надійності складається статистичний ряд вихідної інформації.
2. Визначаються середнє значення ряду і характеристики розсіювання (дисперсія, середньоквадратичне відхилення, коефіцієнт варіації).
3. Перевіряється вихідна інформація на точки, що випадають та визначається теоретичний закон розподілу.
4. "Вирівнюється" емпіричний розподіл за теоретичним законом і визначається ймовірність згоди за критеріями Пірсона і Колмогорова
5. Визначаються точкові оцінки та довірчі межі для параметрів встановленого закону.
6. Визначаються показники надійності для встановленого закону розподілу та їх довіри межі.
7. Будується графік залежності ймовірності безвідмовної роботи від наробітку з нанесенням середнього наробітку на відмову та гама-відсоткового ресурсу.

Статистичний ряд вихідної інформації доцільно записати у вигляді інтервалів, крок яких визначається з виразу аналогічного формулі (1) лабораторної роботи №1:

$$A = \frac{t_{\max} - t_{\min}}{n} = \frac{t_{\max} - t_{\min}}{1 + 3.2 \lg N} \quad (10)$$

Вихідні дані заносяться в табл. 1 і визначаються параметри статистичного розподілу.

Параметри статистичного розподілу:

- середній наробіток до відмов

$$\bar{t} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n \bar{t}_i m_i, \quad (11)$$

Таблиця 1

		m_i	\bar{t}_i	$\bar{t}_i m_i$	$\bar{t}_i - \bar{t}$	$(\bar{t}_i - \bar{t})^2$	$(\bar{t}_i - \bar{t})^2 \cdot m_i$
$t_{i \min}$	$t_{i \max}$						
		$\sum_1^n m_i = N$			$\sum_1^n \bar{t}_i m_i$		$\sum_1^n (\bar{t}_i - \bar{t})^2 \cdot m_i$

- середньоквадратичне відхилення

для вибірки $N < 25$: $\sigma = \sqrt{\frac{\sum_1^n (\bar{t}_i - \bar{t})^2 m_i}{N-1}}, \quad (12)$

- для вибірки $N > 25$: $\sigma = \sqrt{\frac{\sum_1^n (\bar{t}_i - \bar{t})^2 m_i}{N}}, \quad (13)$

- коефіцієнт варіації:

$$V = \frac{\sigma}{\bar{t}}. \quad (14)$$

По значенню коефіцієнту варіації задається визначеним законом розподілу.

Далі параметри статистичного розподілу прирівнюються до відповідних параметрів теоретичної щільності розподілу та обчислюється за наступними залежностями.

Для експоненціального однопараметрового розподілу необхідно визначити один параметр λ . Для цього закону показники надійності розраховуються за наступними формулами:

- ймовірність безвідмовної роботи

$$P(t) = e^{-\lambda t}, \quad (15)$$

де $e^{-\lambda t}$ - приведені в табл. 6 додатків до лабораторної роботи №1,

- інтенсивність відмов $\lambda(t) = \frac{1}{t}. \quad (16)$

Для закону нормального розподілу показники надійності визначаються із співвідношень:

- ймовірність безвідмовної роботи

$$P(t) = F_0\left(\frac{\bar{t}_i - \bar{t}}{\sigma}\right), \quad (17)$$

де F_0 – табульоване значення функції розподілу відмов, табл.2., додаток до лабораторної роботи №1,

- інтенсивність відмов

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{P(t)}, \quad (18)$$

де $f(t) = f_0 \left(\frac{\bar{t}_i - \bar{t}}{\sigma} \right)$ – табульована щільність розподілу часу безвідмовної роботи, табл.1, додатку до лабораторної роботи №1.

Для закону Вейбулла - Гнеденка двох параметричного розподілу, показників надійності підраховують за наступними виразами:

- ймовірність безвідмовної роботи

$$P(t) = e^{-\left(\frac{t}{a}\right)^b} \quad \text{або} \quad P(t) = 1 - F(t), \quad (19)$$

де a і b – параметри закону ЗРВ, визначається за табл.3. додаток до лабораторної роботи 1;

$F(t)$ - табульоване значення функції розподілу відмов в залежності від $\frac{t}{a}$ і b , табл. 5 додаток до лабораторної роботи №1;

- інтенсивність відмов

$$\lambda(t) = \frac{b}{a} \left(\frac{t}{a} \right)^{b-1}. \quad (20)$$

Збіжність дослідних та теоретичних даних оцінюється за критерієм згоди Пірсона χ^2 :

$$\chi^2 = \sum_1^n \frac{(m_i - m_{ri})^2}{m_{ri}}, \quad (21)$$

де m_i та m_{ri} - відповідно дослідна та теоретична частоти інтервалів;

$$m_{ri} = \frac{A}{\sigma} f(t_i) N, \quad (22)$$

де A -шаг інтервалу;

$f(t_i)$ - теоретична щільність розподілу;

N - повна вибірка.

Коли відома математичне сподівання \bar{t} (середнє значення) і середньоквадратичне відхилення σ , то в залежності від закону розподілу можна визначити гамма-відсотковий ресурс t_γ з наступного виразу для нормального розподілу:

$$t_\gamma = \bar{t} - H_\kappa \sigma, \quad (23)$$

де H_κ – величина визначається по таблиці квантів (додаток 2).

При розподілу по закону Вейбулла-Гнеденка розрахунок величини гамма-відсоткового ресурсу проводився також за формулою (23), але визначення $\frac{H_k}{a}$ відповідно з додатком .

ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

1. Вивчити методику визначення показників надійності.
2. Отримати на машині або у викладача завдання для практичного розрахунку.
3. Скласти статистичний ряд вихідної інформації.
4. Визначити параметри статистичного розподілу.
5. Встановити закон розподілу наробітки до відмови за коефіцієнтом варіації.
5. Перевірити, чи збігаються дослідні і теоретичні дані за критерієм Пірсона.
7. Визначити для встановленого закону розподілу крапкові показники надійності та їх довірчі межі.
8. Побудувати графік залежності $P_{(t)}$ від наробітку, нанести значення середнього наробітку до відмови \bar{t} та гамма-відсоткового ресурсу для $\gamma = 90\%$.

ЗВІТ ПРО РОБОТУ

В звіт заносять: найменування та мету лабораторної роботи. Наробітки виробів до відмови заносять в табл. 1.

Результати наступних розрахунків також повинні бути представлені у звіті в наступній послідовності :вказується найменування розділу, приводяться формули та результати розрахунків

На графіку ймовірності безвідмовної роботи нанести γ відсотковий ресурс (для $\gamma = 90\%$) та середню наробітку до відмови (середній ресурс).

Квантилі H_K закону нормального розподілу

P	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0,5	0,000	0,025	0,050	0,075	0,100	0,126	0,151	0,176	0,202	0,227
0,6	0,253	0,279	0,305	0,332	0,358	0,385	0,412	0,440	0,468	0,496
0,7	0,524	0,553	0,583	0,613	0,643	0,675	0,706	0,739	0,772	0,806
0,8	0,842	0,878	0,915	0,954	0,994	1,036	1,080	1,126	1,175	1,227
0,9	1,282	1,341	1,405	1,476	1,555	1,645	1,751	1,881	2,054	2,326

Таблиця 2

Квантилі H_K/a розподілу закону Вейбулла-Гнеденка

F_t	b							
	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0	2.5	3.0
0.01	0.010	0.022	0.037	0.056	0.078	0.100	0.159	0.216
0.02	0.020	0.039	0.062	0.087	0.114	0.143	0.210	0.272
0.05	0.051	0.084	0.120	0.156	0.192	0.226	0.305	0.372
0.07	0.073	0.112	0.154	0.194	0.233	0.269	0.350	0.417
0.10	0.105	0.153	0.200	0.245	0.286	0.325	0.407	0.472
0.15	0.174	0.232	0.285	0.332	0.380	0.419	0.498	0.558
0.20	0.223	0.287	0.343	0.392	0.435	0.472	0.549	0.607
0.30	0.357	0.424	0.479	0.525	0.564	0.597	0.662	0.709
0.40	0.511	0.571	0.619	0.657	0.688	0.715	0.764	0.799
0.50	0.693	0.737	0.770	0.795	0.816	0.833	0.864	0.885
0.60	0.916	0.930	0.939	0.947	0.953	0.957	0.966	0.971
0.70	1.200	1.170	1.140	1.120	1.110	1.100	1.080	1.060
0.80	1.610	1.490	1.410	1.350	1.300	1.270	1.210	1.170
0.90	2.300	2.000	1.810	1.680	1.590	1.520	1.400	1.320
0.93	2.660	2.260	2.010	1.840	1.720	1.630	1.480	1.390
0.95	3.000	2.490	2.190	1.990	1.840	1.730	1.550	1.440
0.98	3.910	3.120	2.650	2.350	2.130	1.980	1.730	1.580
0.99	4.600	3.570	2.980	2.600	2.340	2.150	1.840	1.660

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №3

ВИЗНАЧЕННЯ ПОКАЗНИКІВ НАДІЙНОСТІ ВИРОБІВ, ЩО НЕ РЕМОНТУЮТЬСЯ ДЛЯ ПОВНОЇ ВИБОРКИ – ПЛАН СПОСТЕРЕЖЕНЬ [NUT]

Мета роботи: засвоїти методику і набути навичок визначення показників надійності виробів та їх довірчих меж для повної вибірки.

Обладнання робочого місця: установка для моделювання наробіток до відмови кожного з генеральної вибірки одно типових виробів, що досліджуємо; обчислювальна машина (інженерний мікрокалькулятор).

Зміст роботи : на моделювальній установці визначити величини експлуатаційної наробітки до відмови кожного виробу або групи виробів. Інформація про об'єкті може бути задана викладачем.

По одержаних даних визначити кількісні значення показників надійності, підібравши відповідний теоретичний закон розподілу, побудувати графік зміни ймовірності безвідмовної роботи в залежності від наробітки.

ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПО РОБОТІ

До виробів, що не ремонтуються відносять деталі або нерозбірні вузли, які працюють до першої відмови, а потім вибраковуюються, так як їх відновлення з технічних або економічних поглядів не доцільно.

Показники надійності виробів, що не ремонтуються є випадковими величинами, тому для визначення їх кількісних значень необхідний статистичний матеріал.

Для збору достатньої кількості інформації про відмови, спостереження ведуть за партією однотипних виробів в умовах рядової експлуатації, та в умовах спеціальних випробувань, моделюючих відмови.

Одним з основних видів контрольно-визначальних випробувань, прийнятих в партії надійності та регламентованих стандартом ГОСТ 17509-72 і ГОСТ 17510- 72, є випробування за планом [NUT]. В процесі спостережень реєструється наробіток від початку роботи об'єкта до настання його відмови, а також фіксується власне відмова об'єкту.

План випробування [NUT], трактується таким чином: під спостереження поставлено N виробів, випробування проводяться з фіксуванням часу наробітку U до появи відмови або настання граничного стану виробу. Випробування проводяться протягом певного часу, або обмежуються величиною визначеної наробітки T .

Вироби, що відмовили вибраковуюються, новими не замінюються і в подальшому процесі випробувань участі не приймають.

Особливістю даного плану випробувань є те, що при обмеженій тривалості випробувань, граничного стану досягає тільки частина випробуваних виробів.

Оскільки наробіток до граничного стану виробів має ймовірний характер, то статистична оцінка показників надійності об'єктів, що не ремонтуються та при даному плані випробувань, здійснюються за допомогою залежностей (формули 1...9), детальніше представлених в лабораторній роботі 2.

МЕТОДИКА ВИКОНАННЯ РОБОТИ

Найбільш повну інформацію про характер зміни показників надійності досліджуваних об'єктів можна одержати встановивши закон теоретичного розподілу характеристик надійності. Це особливо необхідно при досліджуванні усіченої вибірки, тобто при малому числі об'єктів досліджень.

Визначення теоретичного закону розподілу дозволяє екстраполювати експериментальні дані і виявити генеральні характеристики змін показників надійності з досить великим ступенем точності.

Визначення параметрів в теоретичному законі розподілу по емпіричним даним здійснюється за наступною схемою:

1. По експериментальним даним показника надійності складається статистичний ряд вихідних інформацій, обмежений заданою величиною наробітку. У разі малого числа даних по результатах випробувань допускається їх обробка без формування інтервального статистичного ряду.

2. Визначається середнє значення ряду і характеристики розсіювання (дисперсія, середньоквадратичне відхилення, коефіцієнт варіації).

3. Перевіряється вихідна інформація на точки, що випадають та визначається теоретичний закон розподілу.

4. "Вирівнюється" емпіричний розподіл за теоретичним законом і визначається ймовірність згоди за критеріями Пірсона і Колмогорова

5. Визначаються точкові оцінки та довірчі межі для параметрів встановленого закону.

6. Визначаються точкові показники надійності для встановленого закону розподілу та їх довірчі межі.

7. Будується графік залежності ймовірності безвідмовної роботи від наробітку.

$$V = \frac{\sigma}{T}. \quad (4)$$

За значенням коефіцієнту варіації задається певний закон розподілу, а щільності розподілу і обчислюється за наступною залежністю, для кожного конкретного закону:

ймовірність безвідмовної роботи

$$P(t) = e^{-\lambda t}, \quad (5)$$

інтенсивність відмов

$$\lambda(t_i) = \frac{N_0}{\sum_1^{N_0} t_i - (N - N_0)T}. \quad (6)$$

Для нормального закону визначені за експериментальними даними значення T і σ приймаються рівними відповідним параметрам теоретичного розподілу безвідмовної роботи.

Показники надійності для цього закону визначаються з відношень:

ймовірність безвідмовної роботи

$$P(t) = F_0 \left(\frac{\bar{t}_i - \bar{T}}{\sigma} \right); \quad (7)$$

інтенсивність відмов

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{P(t)}. \quad (8)$$

Для закону Вейбулла-Гнеденка визначають коефіцієнт варіації за емпіричними даними і прирівнюють до теоретичного значення.

Визначають параметри: b , C_b , K_b в залежності від коефіцієнту варіації. Розрахунок $a = \sigma / C_b$ виразу визначають параметр a .

Показники надійності підраховують за наступними виразами:

- ймовірність безвідмовної роботи

$$\lambda(t) = \frac{b}{a} \left(\frac{t}{a} \right)^{b-1}; \quad (9)$$

інтенсивність відмов

$$\lambda(t) = \frac{b}{a} \left(\frac{t}{a} \right)^{b-1}. \quad (10)$$

Подальша обробка отриманих значень показників надійності здійснюються за відомою методикою з оцінкою критерію згоди Персона і визначенням довірчих меж розсіювання і довірчої ймовірності.

ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ.

- 1 Вивчити методику визначення показників надійності.
- 2 Одержати вихідні дані і внести їх в табл. 1.
- 3 Визначити параметри статистичного розподілу.

4 Встановити закон розподілу наробітку до відмови по коефіцієнту варіації.

5 Визначити для встановленого закону розподілу точкові показники надійності і їх довірчі межі.

ЗВІТ ПРО РОБОТУ

В звіт про роботу заносяться назва і мета роботи Наробітки виробів до відмов заносять в табл. 1. Результати проміжних розрахунків також повинні бути надані в звіті.

Додаток. Таблиця 1

Значення коефіцієнта і його функції

k	-0.5	-0.4	-0.3	-0.2	-0.1	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5
$f(k)$	1.141	1.069	0.998	0.929	0.868	0.79	0.735	0.675	0.617	0.562	0.509

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №4

ВИЗНАЧЕННЯ ПОВНОГО РЕСУРСУ СПРЯЖЕННЯ ТА ДОПУСТИМИХ РОЗМІРІВ З'ЄДНАНИХ ДЕТАЛЕЙ В МІСЦІ ЇХ НАЙБІЛЬШОГО ЗНОСУ

Мета роботи: засвоїти методику визначення показників надійності характеризуючи технічний стан спряжень по результатам перед ремонтної дефектації.

Обладнання робочого місця: робоче місце дефектовщика з набором вимірювального інструменту, зношенні деталі сполучення.

Зміст роботи: Визначити новий ресурс сполуки і допустимі без ремонту розміри сполучних деталей в місці їх найбільшого спрацювання за результатами дефектації або по ТУ ремонтного креслення.

ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ДО РОБОТИ.

Ефективність використання сільськогосподарської техніки обумовлюється не лише конструктивно - технологічними рішеннями, закладеними в процес виготовлення, але й умовами її експлуатації, технічного обслуговування і ремонту.

Для кваліфікованого використання, обслуговування, зберігання і ремонту технічного складної і дорогої сільськогосподарської техніки вимоги важливо знати і вміти визначать основні показники надійності. Надійність є складною властивістю, яка в залежності від призначення об'єкту і умов його пристосування складається із поєднання таких властивостей: безвідмовності, міцності, ремонтпридатності і зберіганні. В той же час надійність тісно зв'язана з експлуатаційним і перед ремонтним діагностуванням, яке дозволяє дізнатись про стан деталей, вузлів і машини в цілому, а також планування заходів, які включають прогнозування витрат запасних частин для підвищення її працездатності і ресурсу.

МЕТОДИКА ВИКОНАННЯ РОБОТИ.

Визначення фактичного технічного стану сполуки, а також оцінка основних показників надійності проводиться в наступній послідовності.

Потрібно визначити повний ресурс сполуки і допустимі без ремонту розміри сполучених деталей в місці їх найбільшого спрацювання.

Методику розрахунку розглянемо на наступному прикладі.

Деталі сполуки і вихідні технічні дані для розрахунку (із технічних умов на дефектацію сполуки):

Сполука - втулка (внутрішній діаметр): палець поршневий (зовнішній діаметр);

Розміри за кресленням втулка $42^{+0.038}_{+0.023}$; палець $42^{+0.001}_{-0.009}$ мм;

Початкова прогалина сполуки S_H - 0,022...0,047 мм;

Допустима прогалина сполуки S_{dp} - 0,11 мм;

Гранична прогалина сполуки S_{rp} - 0,25 мм;

Середнє міжремонтне напрацювання сполуки $T_{mp} = 2000$ мото-год;

Середня швидкість спрацювання по зовнішньому діаметру -5×10^{-5} мм/мото-год;

Середня швидкість спрацювання по зовнішньому діаметру -2×10^{-5} мм/мото-год.

1. Методика розрахунку значень допустимого без ремонту I_{dp} і граничного I_{gp} спрацювання, середня швидкість спрацювання V_c і повного ресурсу T_{ep} сполуки викладена в [1] і більш детально в [2] (С.182...189).

2. При підрахунках використовуються наступні рішення :

$$I_{dp} = S_{dp} - S_{Hmax}; \quad (1)$$

$$I_{gp} = S_{rp} - S_{Hmax}; \quad (2)$$

$$V_c = V_{d1} + V_{d2}; \quad (3)$$

$$T_{nc} = \frac{I_{np}}{V_c}, \quad (4)$$

де S_{Hmax} - максимальна початкова прогалина в сполуці, мм;

V_{d1} і V_{d2} - відповідно середня швидкість спрацювання першої і другої сполучних деталей, мм/мото-год.

Для даного прикладу отримано:

$$I_{dp} = 0,11 - 0,047 = 0,063 \text{ мм};$$

$$I_{gp} = 0,25 - 0,047 = 0,203 \text{ мм};$$

$$V_c = 5 \times 10^{-5} + 2 \times 10^{-5} = 7 \times 10^{-5} \text{ мм/мото-год};$$

$$T_{nc} = \frac{I_{np}}{V_c} = \frac{0,203}{7 \times 10^{-5}} = 2900 \text{ мото-год.}$$

Отримані розрахункові значення V_c і T_{nc} треба розглянути, як середні із-за можливих відхилень, перш за все, внаслідок нестабільності умов експлуатації сільськогосподарської техніки.

2. Граничні спрацювання сполучуваних деталей можна визначити за рівнянням:

$$I_{np(BT)} = \frac{I_{np} \cdot V_{BT}}{V_C} = \frac{0.203 \cdot 5 \cdot 10^{-5}}{7 \cdot 10^{-5}} = 0.145 \text{ мм};$$

$$I_{np(nn)} = \frac{I_{np} \cdot V_{nn}}{V_C} = \frac{0.203 \cdot 2 \cdot 10^{-5}}{7 \cdot 10^{-5}} = 0.058 \text{ мм}.$$

Допустиме спрацювання сполучених деталей при заданому значенні міжремонтної наробітки $T_{MP} = 2000$ мото-год. складуть:

$$I_{др(BT)} = I_{np(BT)} - T_{MP} \cdot V_{BT} = 0.145 - 2000 \cdot 5 \cdot 10^{-5} = 0.045 \text{ мм};$$

$$I_{др(ПП)} = I_{np(ПП)} - T_{MP} \cdot V_{ПП} = 0.058 - 2000 \cdot 2 \cdot 10^{-5} = 0.018 \text{ мм},$$

тоді допустимі без ремонту розміри деталей спряження в місцях їх найбільшого спрацювання визначають наступним чином:

для втулки

$$D_{др} = D_{\max} + T_{MP} \cdot V_{BT} = 42.038 + 2000 \cdot 5 \cdot 10^{-5} = 42.138 \text{ мм};$$

для поршневого пальця

$$d_{др} = d_{\min} - T_{MP} \cdot V_{ПП} = 41.991 - 2000 \cdot 2 \cdot 10^{-5} = 41,951 \text{ мм}.$$

Тут D_{\max} і d_{\min} - відповідно максимальний зовнішній і мінімальний внутрішній діаметри спряжених деталей з урахуванням допусків на їх виготовлення в відповідності з завданням (розмір за кресленням).

3. В кінці потрібно накреслити розрахункова схема спрацювання деталей сполуки в функції від напрацювання; визначається його повний ресурс, а також допустимі без ремонту і граничні спрацювання сполучуваних деталей. Приклад виконання розрахункової схеми для заданого варіанту вихідних умов даний на рис.3.

Виконання схеми розпочинається з позначення на осях координат масштабних поділок спрацювання і напрацювання.

Потім викладаємо значення прогаліни $S_{H_{\max}}$, повного ресурсу сполуки T_{cn} , граничного спрацювання для обох деталей $I_{np(ем)}$, $I_{np(nn)}$ і проводяться лінії спрацювання деталей.

Далі позначається прогаліни S_{np} і $S_{др}$, міжремонтне напрацювання T_{mp} і допустимі без ремонту спрацювання деталей $I_{др(ем)}$ і $I_{др(nn)}$.

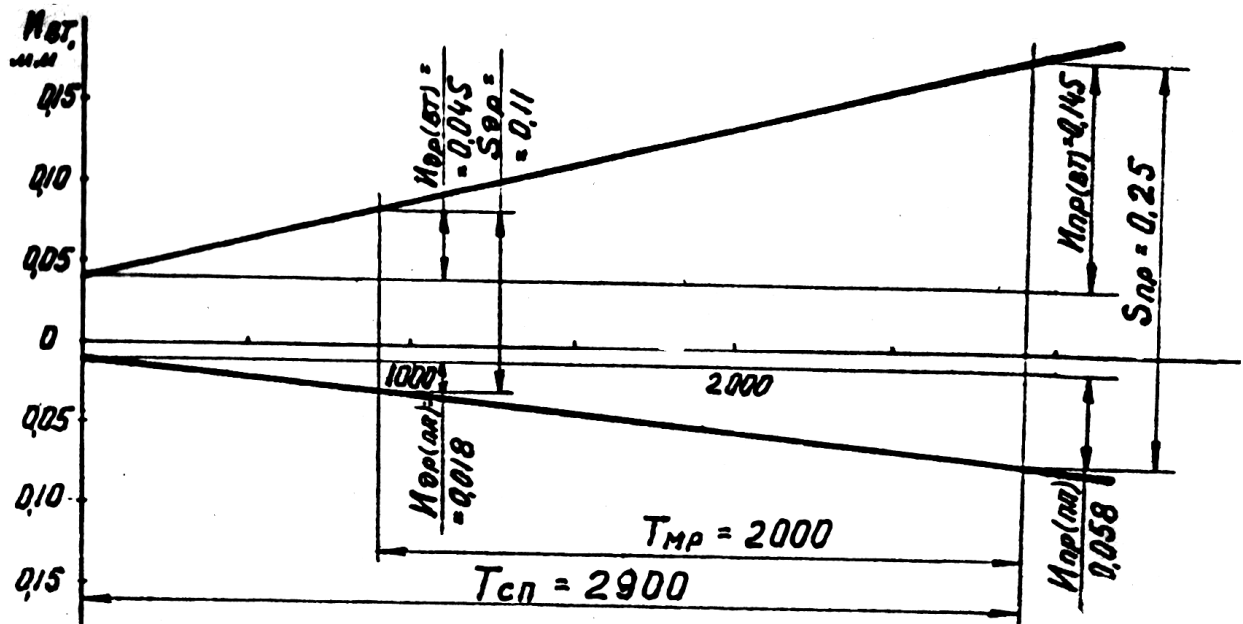


Рис. 3. Розрахункова схема спрацьовування деталей сполуки, визначення його ресурсів, допустимих без ремонту і граничного спрацьовування сполучуваних деталей

Додаток 2

Значення середньої міжремонтної наробітки T_{mr} та середньої швидкості зносу деталей спряжень

Варіанти індивідуального завдання	T_{mr} , мото-год	Швидкість зносу спряжень	
		По зовнішньому \varnothing , мм/мото-год	По внутр. \varnothing , мм/мото-год
0	4200	$4,85 \cdot 10^{-5}$	$6,38 \cdot 10^{-5}$
1	3850	$2,22 \cdot 10^{-5}$	$3,94 \cdot 10^{-5}$
2	4000	$1,83 \cdot 10^{-5}$	$5,10 \cdot 10^{-5}$
3	2800	$4,96 \cdot 10^{-5}$	$1,57 \cdot 10^{-5}$
4	1610	$4,55 \cdot 10^{-5}$	$2,51 \cdot 10^{-5}$
5	2550	$3,88 \cdot 10^{-5}$	$1,59 \cdot 10^{-5}$
6	2680	$5,32 \cdot 10^{-5}$	$3,01 \cdot 10^{-5}$
7	3500	$3,89 \cdot 10^{-5}$	$2,11 \cdot 10^{-5}$
8	2050	$4,14 \cdot 10^{-5}$	$1,29 \cdot 10^{-5}$
9	3000	$3,11 \cdot 10^{-5}$	$5,61 \cdot 10^{-5}$

Дані з технічних умов на дефектацію спряжень тракторних деталей

Варіанти індивідуального завдання	Найменування деталей спряження	Виписка з технічних умов			
		Розмір за кресленням	Зазори, мм		
			Початковий, S_H	Допустимий, S_H	Граничний, S_{HP}
0	Сателіт(внутр.Ø)	25 ^{+0.045}	0,001-0,066	0,20	0,30
	Вісь сателіту(зовн. Ø)	25 _{-0.021}			
1	Нижня втулка (внутр.Ø)	50 ^{+0.050}	0,032- 0,150	0,40	0,50
	Поворотна цапфа(зовн. Ø)	50 _{-0.100}			
2	Втулка(внутр.Ø)	38 ^{+0.100} _{+0.020}	0,095- 0,260	0,40	0,50
	Поворотна цапфа(зовн. Ø)	38 _{-0.160}			
3	Гільза(внутр.Ø)	120 ^{+0.020}	0,200- 0,240	0,30	0,60
	Поршень(зовн. Ø)	120 _{-0.200} _{-0.220}			
4	Підшипник(внутр.Ø)	55 ^{+0.115} _{+0.065}	0,077- 0,147	0,40	0,50
	Передня шийка розподільного валу(зовн. Ø)	55 _{-0.012} _{-0.032}			
5	Сателіт(внутр.Ø)	78 ^{+0.031} _{-0.010}	0,085- 0,141	0,28	0,50
	Вісь сателіту(зовн. Ø)	78 _{-0.095} _{-0.110}			
6	Сателіт(внутр.Ø)	88 ^{+0.045} _{+0.004}	0,104- 0,160	0,28	0,50
	Вісь сателіту(зовн. Ø)	88 _{-0.100} _{-0.115}			
7	Сателіт(внутр.Ø)	24 ^{+0.080} _{+0.040}	0,040- 0,101	0,24	0,35
	Вісь сателіту(зовн. Ø)	24 _{+0.080} _{+0.040}			
8	Сателіт(внутр.Ø)	34 ^{+0.060} _{+0.020}	0,030- 0,087	0,24	0,40
	Вісь сателіту(зовн. Ø)	34 _{-0.010} _{-0.027}			
9	Сателіт(внутр.Ø)	11 ^{+0.035} _{-0.060}	0,060- 0,120	0,28	0,40
	Вісь сателіту(зовн. Ø)	11 _{-0.060} _{-0.085}			

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 5

ВИЗНАЧЕННЯ ПОКАЗНИКІВ НАДІЙНОСТІ ВИРОБІВ ГРАФІЧНИМ МЕТОДОМ

Мета роботи: засвоїти методику визначення точкових оцінок показників надійності графічним методом.

Обладнання робочого місця: установка для моделювання наробітку однотипних виробів до відмови, обчислювальна машина (інженерний мікрокалькулятор).

Зміст роботи: на моделюючій установці визначити експлуатаційні наробітки до вимови об'єктів. Інформація про наробіток виробів до відмови може бути задана викладачем.

За допомогою імовірного паперу визначити теоретичний закон розподілу показників і його параметри.

ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

1. Вивчити методику виконання роботи.
2. Отримати емпіричний ряд для визначення теоретичного закону розподілу.
3. Скласти таблицю для визначення накопиченої дослідної імовірності (частоти) і розрахувати їх значення.
4. За допомогою імовірного паперу визначити теоретичний закон розподілу для емпіричного ряду по трьом основним законам.
5. Визначити параметри теоретичного закону розподілу і оцінити походження за критерієм Колмогорова.
6. Скласти звіт по лабораторній роботі.

МЕТОДИКА ВИКОНАННЯ РОБОТИ

Поряд з аналітичним методом визначення теоретичних законів розподілу, який є досить трудомістким, існує графічний метод обробки інформації за допомогою так званого імовірного паперу.

Функціональна сітка імовірного паперу складається таким чином, щоб нанесена на цей папір інтегральна функція закону розподілу була виражена прямою лінією імовірнісний папір може бути виготовлений для будь-якого закону розподілу.

В даній лабораторній роботі застосовуються імовірнісні папери, розроблені для трьох, найбільш часто використовуваних законів розподілу (нормального ЗНР, експоненціального і Вейбулла-Гнеденка ЗРВ).

Для визначення законів розподілу показників надійності на вісь ординат імовірного паперу наносять значення накопичених дослідних ймовірностей (частостей), а на вісь абсцис - значення показника надійності (наробітку), для якого визначається теоретичний закон. Намічають точки перетину вказаних величин. Якщо через отримані точки на імовірному папері можна провести пряму лінію, то дослідна інформація про показника надійності відповідає тому закону розподілу, імовірний папір якого застосовують. Причому пряму лінію необхідно провести з таким розрахунком, щоб кількість дослідних точок з обох сторін лінії було приблизно однаковим, а їх відстань від прямої - найменшим.

Якщо точки на імовірному папері одного закону не аппроксимуються прямої лінії, то застосовується імовірний папір для другого закону і так повторюються до тих пір, поки не буде підібрано необхідний закон розподілу.

Закон нормального розподілу.

Наприклад: Наробіток на відмову (в тис. км) коробки передач автомобіля ЗІЛ -130 має наступні значення;

30; 52; 66; 105; 216; 120; 78; 66; 99; 74; 81; 105; 120; 145;
99; 183; 74; 92; 99; 78; 216; 113.

Складаємо варіаційний ряд наробітку до відмови, записуючи їх значення в наробітку зростання:

30; 52; 66; 66; 74; 74; 78; 78; 81; 99; 99; 105; 113; 120; 120;
120; 145; 183; 216; 216.

Потім складаємо таблицю 1 і визначаємо накопичену дослідну імовірність (частість).

Маючи дані таблиці 1 наносимо дослідні точки (по методиці вказаній вище) на імовірний папір закону нормального розподілу (рис.1). З рис.1 можна зробити висновок, що емпірична функція розподілу (накопичені частоти) наробітку до відмови КПП ЗІЛ-130 розташовуються на імовірному папері по закону прямої, значить, розподіл може бути апроксимований нормальним законом розподілу.

Таблиця 1

Наробіток до відмови, тис.км t_i	Частота, m_i	Дослідна ймовірність (частість) $P_i = \frac{m_i}{N}$	Накопичена дослідна ймовірність (частість) $F_s = \sum_1^m P_i$
30	1	0,043	0,043
52	1	0,043	0,09
66	2	0,087	0,17
74	2	0,087	0,26
78	2	0,087	0,35
81	1	0,043	0,39
92	1	0,043	0,43
99	3	0,13	0,57
105	2	0,087	0,65
113	1	0,043	0,70
120	3	0,13	0,83
145	1	0,043	0,87
183	1	0,043	0,91
216	2	0,087	1,00

$$N = \sum m_i = 23$$

Відомо, що диференційна функція або щільність імовірності нормального розподілу виражається формулою:

$$f(t) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(t-\bar{T})^2}{2\sigma^2}}, \quad (1)$$

де \bar{T} , σ - параметри розподілу;

\bar{T} - середнє значення;

σ - середньоквадратичне відхилення.

Імовірний папір дозволяє визначити приблизні значення \bar{T} і σ . Середнє значення показника надійності \bar{T} являється абсцисою точки Б перетину прямої з горизонтальною лінією, яка має координату $F_s = 0,50$. Для нашого прикладу (рис.1) $\bar{T} = 97$ тис.км.

Середнє квадратичне відхилення σ визначається як різниця двох точок, точніше кажучи, як різниця абсцис цих двох точок перетину А і Б з горизонтальними лініями, які мають ординати $F_s = 0,50$ і $F_s = 0,16$. Для нашого прикладу $\sigma = 97 - 55 = 42$ тис.км.

Експоненціальний закон розподілу.

Приклад: Маємо наступний варіаційний ряд значення часу виправленої роботи об'єкту в годинах:

2; 3; 3; 5; 6; 7; 8; 8; 9; 9; 13; 15; 16; 17; 18; 20; 21; 25; 28;
35; 37; 53; 56; 69; 77; 86; 98; 119.

Визначаємо (аналогічно попередньому прикладу) накопичену дослідну імовірність (частість) і дані записуємо в табл. 2.

Таблиця 2

Наробіток до відмови, год. t_i	Частота, m_i	Дослідна ймовірність (частість) $P_i = \frac{m_i}{N}$	Накопичена дослідна ймовірність (частість) $F_{\Sigma} = \sum_1^m P_i$
2	1	0.036	0.036
3	2	0.072	0.108
5	1	0.036	0.144
6	1	0.036	0.180
7	1	0.036	0.216
8	2	0.072	0.288
9	2	0.072	0.360
1	1	0.036	0.396
15	1	0.036	0.432
16	1	0.036	0.468
17	1	0.036	0.504
18	1	0.036	0.540
20	1	0.036	0.576
21	1	0.036	0.612
25	1	0.036	0.648
28	1	0.036	0.684
35	1	0.036	0.720
37	1	0.036	0.756
53	1	0.036	0.792
56	1	0.036	0.828
69	1	0.036	0.864
77	1	0.036	0.900
86	1	0.036	0.936
98	1	0,036	0,972
119	1	0,036	1,000

$N = 28$

Наносимо дослідні точки на імовірний папір експоненціального закону розподілу (рис. 2).

З рис. 2 маємо, що емпірична функція розподілу (накопичені частоти) часу справної роботи виробу знаходяться на імовірному папері по закону прямої, значить, розподіл може також бути апроксимований експоненціальним законом розподілу. Щільність імовірності експоненціального закону розподілу виражається формулою:

$$f(t) = \frac{1}{\bar{T}} e^{-\frac{t}{\bar{T}}}, \quad (2)$$

де \bar{T} - параметр розподілу.

При допомозі імовірного паперу визначаємо значення абсциси, яка відповідає ординаті з накопиченою частістю $F_3=0.632$. Для цього на імовірному папері через ординату з вказаною частістю проводимо горизонтальну лінію до перетину з прямою в точці A . В точці A проводимо перпендикуляр на вісь абсцис. Відрізок, який відсікає на вісь абсцис, є параметром розподілу \bar{T} . Для нашого прикладу $\bar{T}=28$ год.

Закон Вейбулла – Гнеденка.

Приклад: Дано варіаційний ряд розподілу випадкової величини, яка характеризує наробіток до граничного стану підшипника КПП трактора МТЗ-80 в тис.год.:

0,5; 1,5; 2,5; 3,5; 4,5; 5,5; 6,5; 7,5; 8,5; 9,5; 10,5; 11,5; 12,5.

Визначаємо накопичену дослідну ймовірність (частість) і дані заносимо в табл. 3.

Наносимо дослідні точки на імовірнісний папір закону розподілу Вейбулла-Гнеденка рис.3

З рис.3 виходить, що накопичені дослідні ймовірності (частоти) наробітки підшипника КПП до граничного стану знаходяться на імовірнісному папері за законом прямої. Звідси дане розподілення може бути апроксимоване за законом ЗРВ.

Щільність імовірності для закону має наступний вигляд:

$$f(t) = \frac{b}{a} \left(\frac{t}{a}\right)^{b-1} e^{-\left(\frac{t}{a}\right)^b}, \quad (3)$$

де b і a – параметри розподілу.

Знаходимо їх значення за допомогою імовірного паперу. Параметр a знаходимо графічно, як значення абсциси, яка відповідає ординаті з накопиченої часті сум $F_3=0.632$ (аналогічно параметру \bar{T} для експоненціального закону). Для даного прикладу $a=7.0$ тис.год.

Таблиця 3

Наробіток до відмови, тис. год. t_i	Накопичена дослідна ймовірність (частіть) $F_s = \sum_1^m P_i$
0,5	0,008
1,5	0,02
2,5	0,05
3,5	0,14
4,5	0,26
5,5	0,40
6,5	0,54
7,5	0,67
8,5	0,79
9,5	0,86
10,5	0,94
11,5	0,97
12,5	0,992

Для визначення параметру b необхідно через точку A (рис.3) провести лінію $B'C'$, паралельно отриманій прямій BC , до перетину зі шкалою 1. Ордината, яка відповідає цій точці перетину на шкалі 11, дорівнює величині b . Для даного прикладу $b = 2.46$.

Визначення критерії Колмогорова.

Перевірку згоди емпіричного розподілу з теоретичним при графічному методі обробки інформації проводимо за допомогою критерії Колмогорова. Згідно цьому критерію емпіричний розподіл погоджується з вибраним теоретичним, якщо виконується наступна умова;

$$\lambda = D_H \sqrt{N} \leq 1, \quad (4)$$

де D_H - найбільше відхилення точок відповідних їм теоретичних (по величині накопиченої частоти);

N - число членів ряду розподілу.

Для прикладу нормального закону розподілу (рис. I):

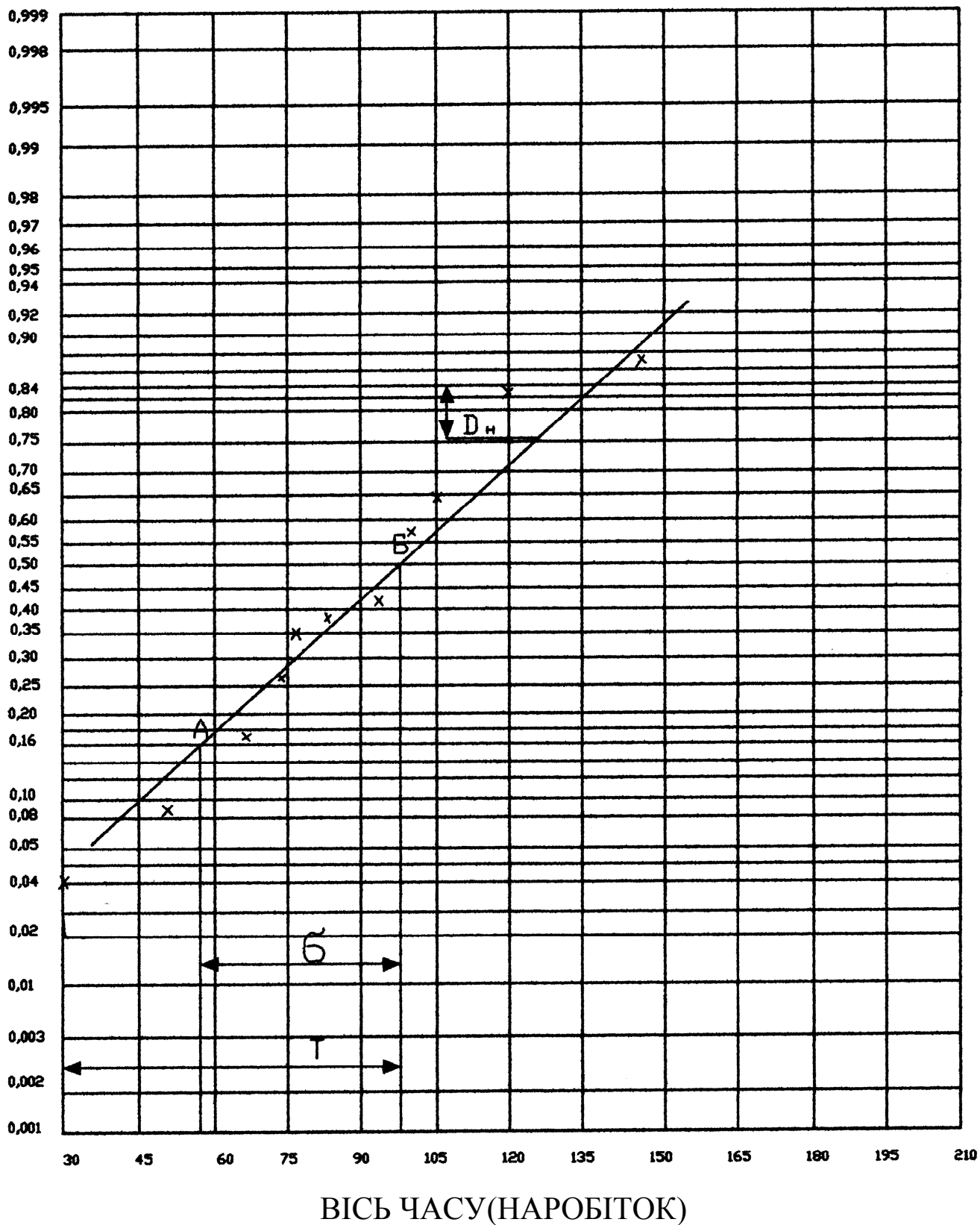
$D_H = 0.11$, $N = 23$, $\lambda = 11 \cdot \sqrt{23} = 0.53 \leq 1$, значить, значення наробітку до відмови підлягає закону нормального розподілу. Для інших законів розподілу критерій Колмогорова застосовується аналогічно.

ЗВІТ ПРО РОБОТУ.

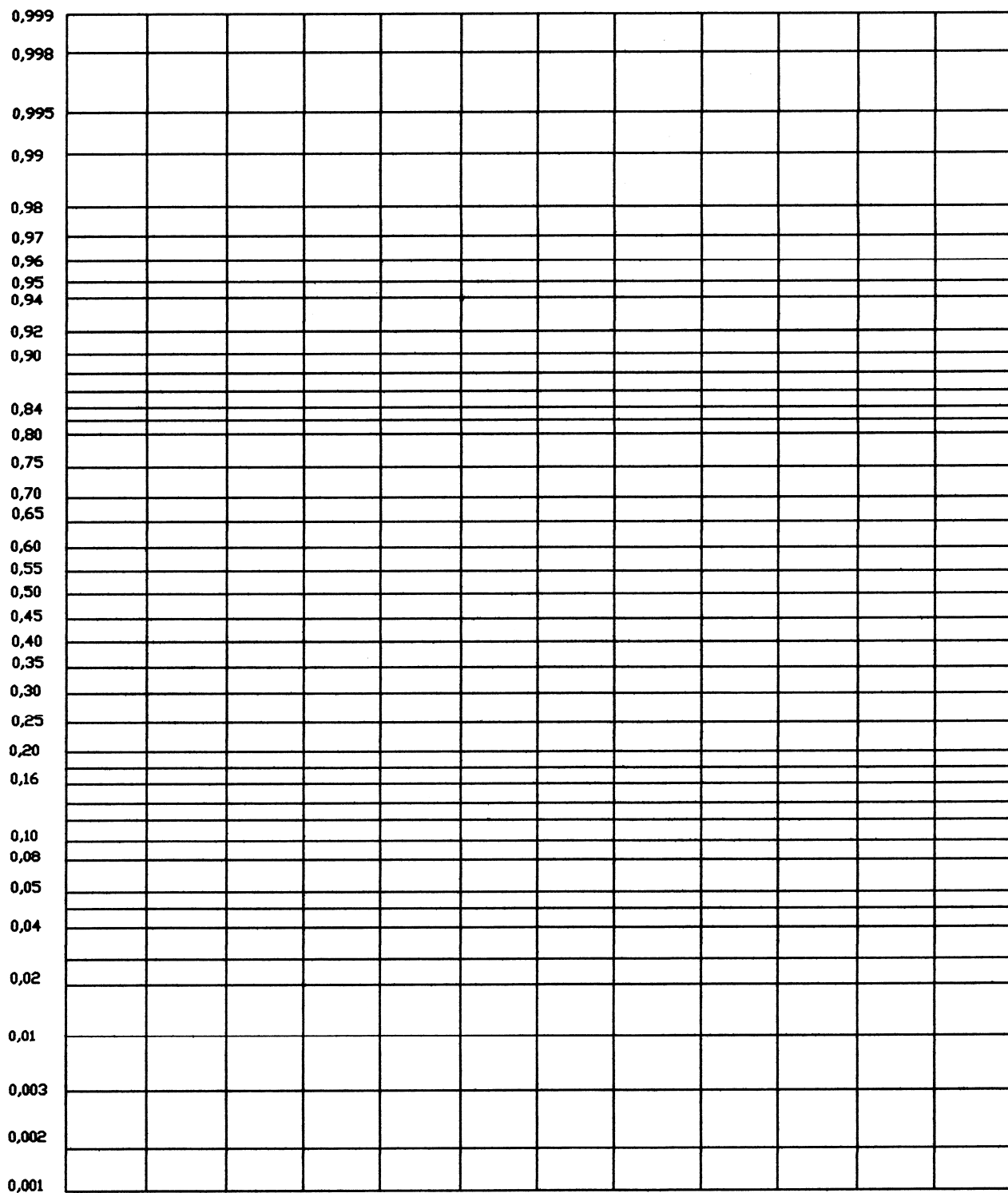
У звіті повинні бути відображені наступні дані: назва і номер лабораторної роботи, мета роботи, дані емпіричного ряду розподілу наробітку до відмови, таблиця з розрахунком накопичених частостей, визначення параметрів закону і критерію Колмогорова, а також імовірний папір трьох законів розподілу з нанесенням даних.

Допускається виконувати графічні побудови на кальці або іншому прозорому папері накладенням на імовірний папір відповідного закону з нанесенням координат точок частостей.

ЙМОВІРНІСНИЙ ПАПІР НОРМАЛЬНОГО РОЗПОДІЛУ

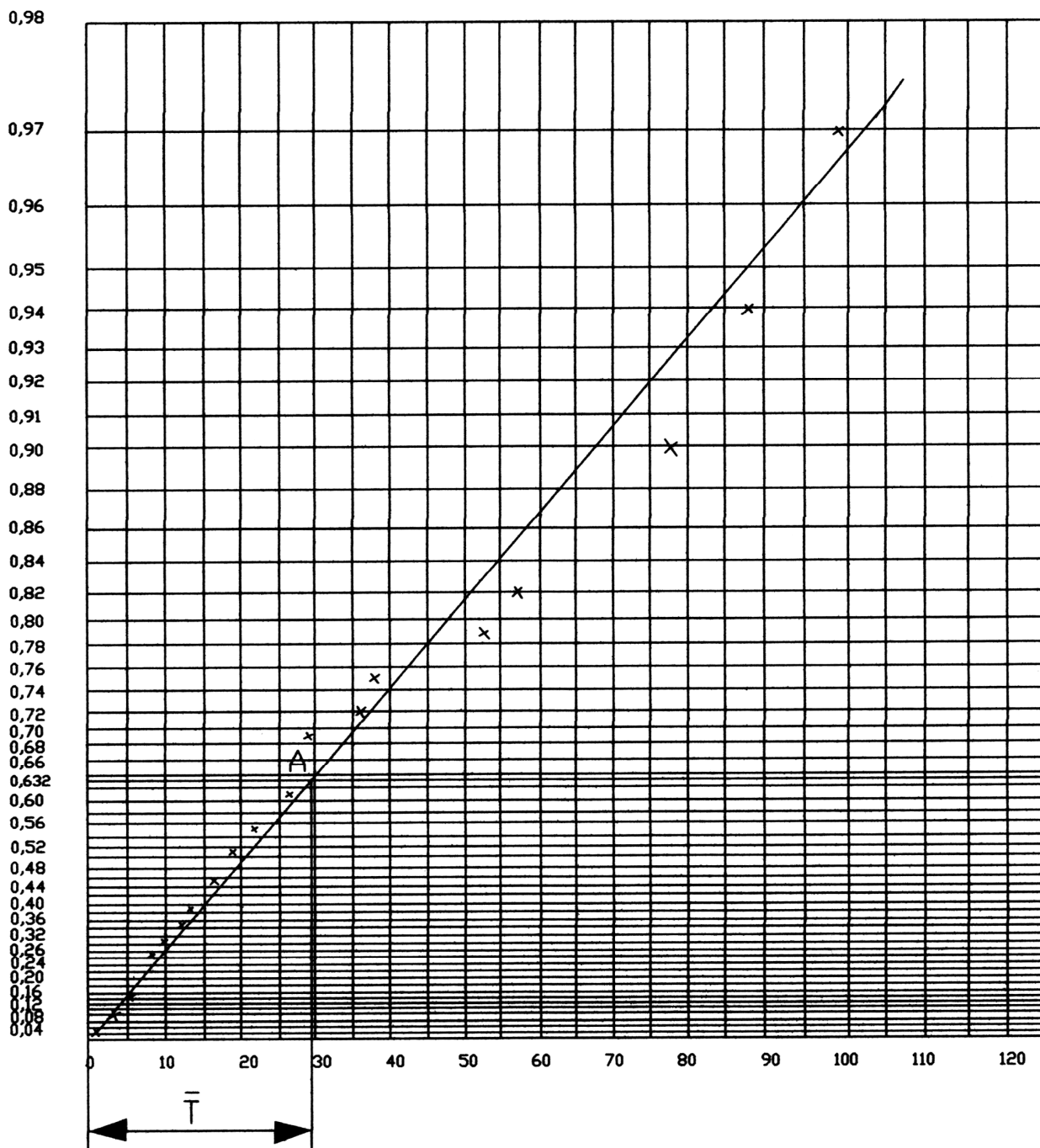


ЙМОВІРНІСНИЙ ПАПІР НОРМАЛЬНОГО РОЗПОДІЛУ



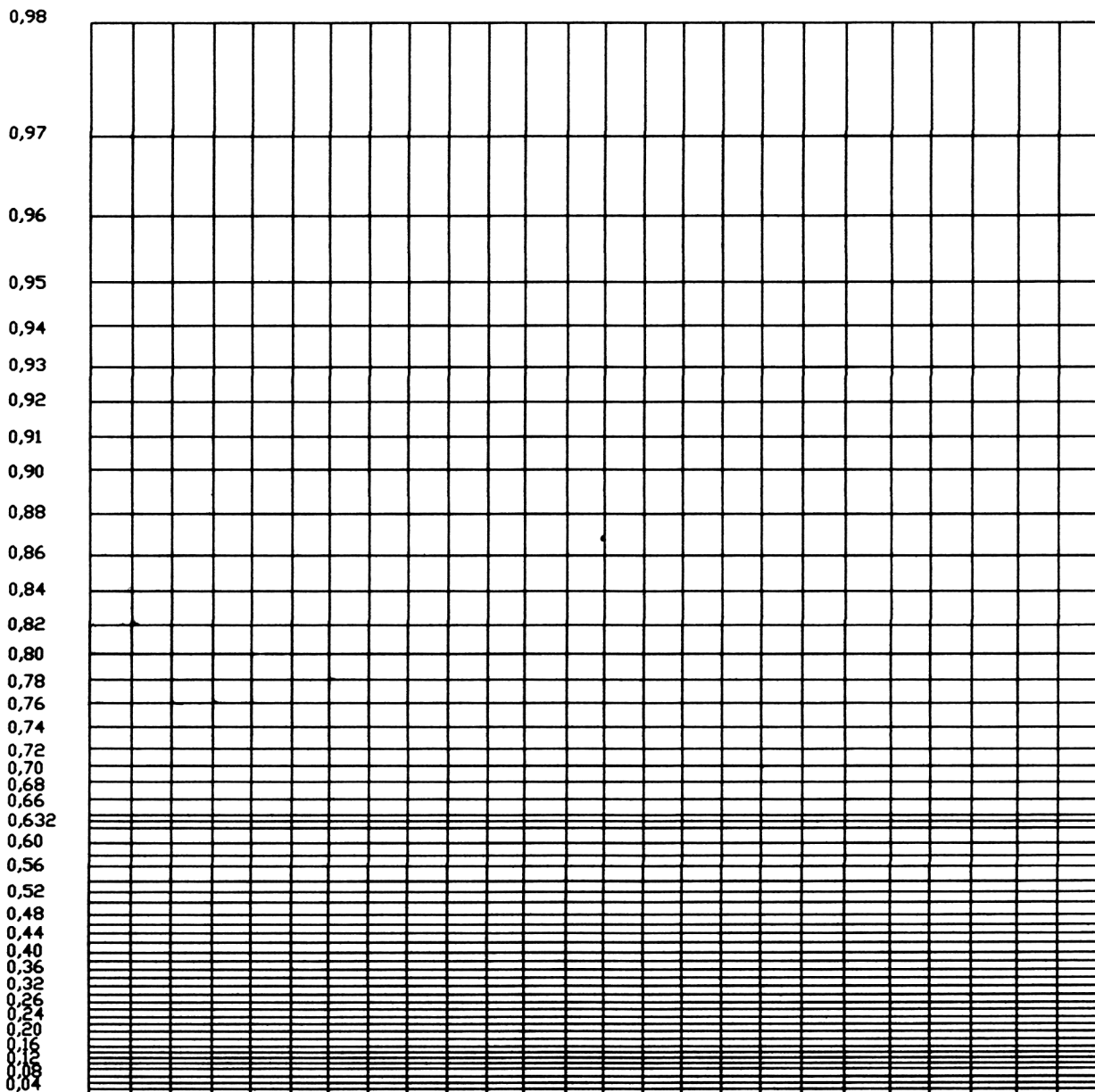
ВІСЬ ЧАСУ(НАРОБІТОК)

ЙМОВІРНІСНИЙ ПАПІР ЕКСПОНЕНЦІАЛЬНОГО РОЗПОДІЛУ



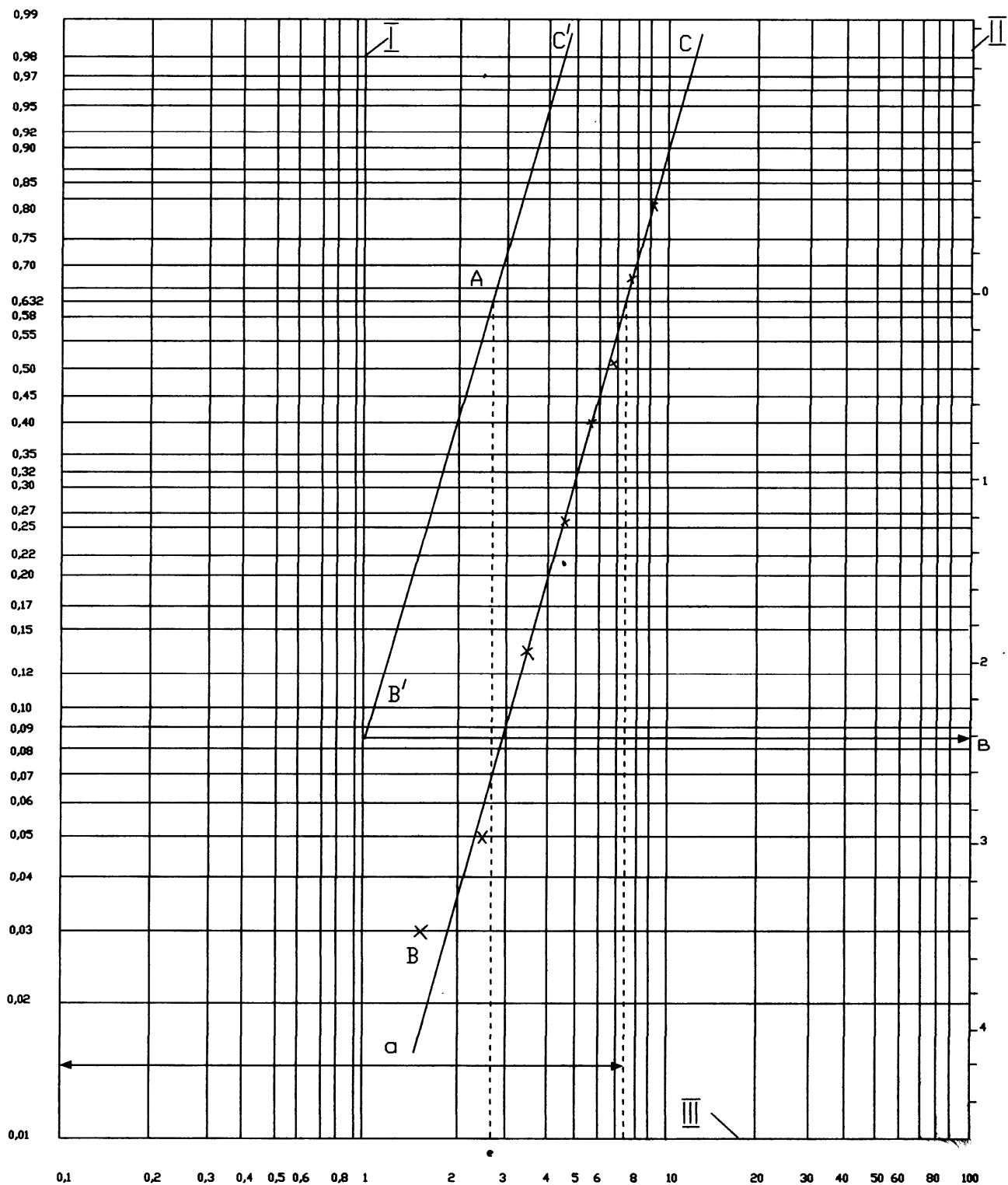
ВІСЬ ЧАСУ (НАРОБІТОК)

ЙМОВІРНІСНИЙ ПАПІР ЕКСПОНЕНЦІАЛЬНОГО РОЗПОДІЛУ



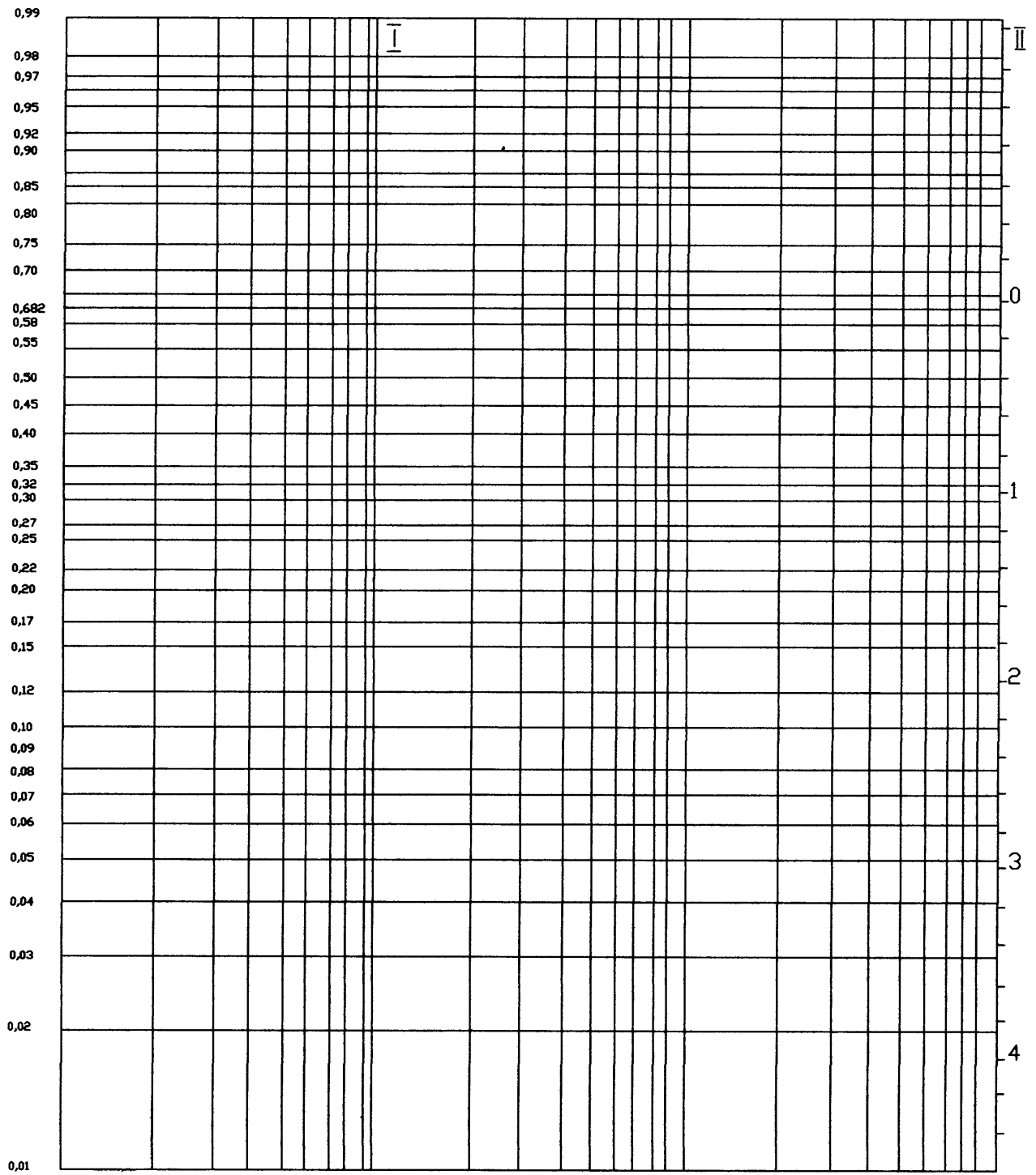
ВІСЬ ЧАСУ (НАРОБІТОК)

ЙМОВІРНІСНИЙ ПАПІР РОЗПОДІЛУ ВЕЙБУЛЛА-ГНЕДЕНКА



ВІСЬ ЧАСУ (НАРОБІТОК)

ЙМОВІРНІСНИЙ ПАПІР РОЗПОДІЛУ ВЕЙБУЛЛА-ГНЕДЕНКА



ВІСЬ ЧАСУ (НАРОБІТОК)

СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Острейковский В. А. Теория надежности : учебник для вузов / В. А. Острейковский. – М. : Высшая школа, 2008. – 464 с.
2. Ермолов Л. С. Основы надежности сельскохозяйственной техники / Л. С. Ермолов, В. М. Кряжков, В. Е. Черкун. – М. : Колос, 1982. – 272 с.
3. Решетов Д. Н. Надежность машин : учеб. пособие для машиностр. спец. вузов / Д. Н. Решетов, А. С. Иванов, В. З. Фадеев. – М. : Машиностроение, 1988. – 238 с.
4. Гмурман В. Е. Теория вероятностей и математическая статистика : учеб. пособие для вузов / В. Е. Гмурман. – М. : Высш. шк., 1977. – 479 с.
5. Проников А. С. Надежность машин / А. С. Проников. – М. : Машиностроение, 1978. – 592 с.
6. Бабаев С. Г. Надежность нефтепромыслового оборудования / С. Г. Бабаев. – М. : Недра, 1987. – 264 с.
7. Кряжков В. М. Надежность и качество сельскохозяйственной техники / В. М. Кряжков. – М. : Агропромиздат, 1989. – 335 с.
8. Труханов В. М. Сложные технические системы типа подвижных установок. Разработка и организация производства / В. М. Труханов. – М. : Машиностроение, 1993. – 336 с.
9. Труханов В. М. Методы обеспечения надежности изделий машиностроения / В. М. Труханов. – М. : Машиностроение, 1995. – 304 с.
10. Серый И. С. Курсовое и дипломное проектирование по надёжности и ремонту машин / И. С. Серый, А. П. Смелов, В. Е. Черкун. – М. : Агропромиздат, 1991. – 184 с.

11. Гранкін С. Г. Надійність сільськогосподарської техніки / С. Г. Гранкін та ін. ; за ред. В. Ю. Черкуна. – К. : Урожай, 1998. – 208 с.
12. Михлин В. М. Управление надежностью сельскохозяйственной техники / В. М. Михлин. – М. : Колос, 1984. – 335 с.
13. Надежность и ремонт машин / В. В. Курчаткин, Н. Ф. Тельнов, К. А. Ачкасов и др. ; под ред. В. В. Курчаткина. – М. : Колос, 2000. – 776 с.
14. Прейсман В. И. Основы надежности сельскохозяйственной техники / В. И. Прейсман. – Днепропетровск, 1972. – 44 с.

Навчальне видання

НАДІЙНІСТЬ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ ТЕХНІКИ

Методичні рекомендації

Укладач: **Марченко** Дмитро Дмитрович

Формат 60x84 1/16. Ум. друк. арк. 56,73.

Тираж 100 прим. Зам. № ____

Надруковано у видавничому відділі
Миколаївського національного аграрного університету
54020, м. Миколаїв, вул. Георгія Гонгадзе, 9

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК №4490 від 20.02.2013 р.