



ДЕРЖАВНИЙ СТАНДАРТ УКРАЇНИ

**Надійність техніки
МЕТОДИ ОЦІНКИ ПОКАЗНИКІВ
НАДІЙНОСТІ
ЗА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИМИ ДАНИМИ**

ДСТУ—3004-95

БЗ № 2, 3—94/198

Видання офіційне

**ДЕРЖСТАНДАРТ УКРАЇНИ
Київ**



ДСТУ 3004-95

ДЕРЖАВНИЙ СТАНДАРТ УКРАЇНИ

Надійність техніки
МЕТОДИ ОЦІНКИ ПОКАЗНИКІВ
НАДІЙНОСТІ
ЗА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИМИ ДАНИМИ

Видання офіційне

ДЕРЖСТАНДАРТ УКРАЇНИ
Київ

ПЕРЕДМОВА

1 РОЗРОБЛЕНО І ВНЕСЕНО Асоціацією «Надійність машин та споруд»

2 ЗАТВЕРДЖЕНО І ВВЕДЕНО В ДІЮ наказом Держстандарту України № 31 від 25 січня 1995 р.

3 ВВЕДЕНО ВПЕРШЕ

4 РОЗРОБНИКИ: В. П. Стрельников, докт. техн. наук (керівник розробки), Є. С. Переверзєв, докт. техн. наук, М. А. Шишонок, канд. техн. наук, В. П. Коньков, канд. техн. наук, О. В. Федухін, канд. техн. наук, Ю. К. Скрипник

ЗМІСТ

	с.
1 Галузь використання	1
2 Нормативні посилання	1
3 Визначення	1
4 Загальні положення	2
5 Вибір плану випробувань на надійність	3
6 Планування випробувань на надійність	3
7 Визначення обсягу випробувань	4
7.1 Визначення обсягу випробувань за невідомого виду закону розподілу випадкової величини	4
7.2 Визначення обсягу випробувань за відомого виду закону розподілу випадкової величини для плану [NUN]	5
7.3 Визначення обсягу випробувань за відомого виду закону розподілу випадкової величини для плану [NUG]	7
7.4 Визначення обсягу випробувань за відомого виду закону розподілу випадкової величини для плану [NUT]	8
7.5 Визначення обсягу випробувань за відомого виду закону розподілу випадкової величини для планів [NMG] і [NRG]	9
7.6 Визначення обсягу випробувань за відомого виду закону розподілу випадкової величини для планів [NMT] і [NRT]	10
8 Вихідна інформація для оцінки показників надійності	10
9 Методи оцінки показників надійності	11
9.1 Оцінка показників надійності непараметричними методами	11
9.2 Оцінка показників надійності параметричними методами	12
Додаток А Позначення, використані в стандарті	14
Додаток Б Види планів випробувань на надійність	16
Додаток В Рекомендації щодо вибору планів випробувань та вихідних даних для планування	18
Додаток Г Оцінка показників надійності за невідомого виду закону розподілу	22
Додаток Д Оцінка показників надійності за експоненційного розподілу	30
Додаток Ж Оцінка показників надійності за DM-розподілу	36
Додаток К Оцінка показників надійності за DN-розподілу	43
Додаток Л Оцінка показників надійності за логарифмічно нормального розподілу	49
Додаток М Оцінка показників надійності за розподілу Вейбулла	66

Додаток Н Оцінка імовірності безвідмовної роботи за біноміаль- ного розподілу	109
Додаток П Приклади визначення оцінок показників надійності	112

ДЕРЖАВНИЙ СТАНДАРТ УКРАЇНИ

**НАДІЙНІСТЬ ТЕХНІКИ
МЕТОДИ ОЦІНКИ ПОКАЗНИКІВ НАДІЙНОСТІ
ЗА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИМИ ДАНИМИ**

**НАДЕЖНОСТЬ ТЕХНИКИ
МЕТОДЫ ОЦЕНКИ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ
ПО ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫМ ДАННЫМ**

**DEPENDABILITY OF TECHNICS
METHODS OF ESTIMATION DEPENDABILITY
BY OPERATING DATA**

Чинний від 1996-01-01

1 Галузь використання

Цей стандарт поширюється на технічні системи, пристрої, машини, механізми, апаратуру, прилади чи будь-які їхні частини (далі — об'єкти), що розглядаються з погляду надійності як самостійні одиниці, і встановлює методи вибору планів і обсягів випробувань, оцінки показників надійності за результатами випробувань.

Цей стандарт придатний для цілей сертифікації.

2 Нормативні посилання

У цьому стандарті є посилання на такі нормативні документи:
ДСТУ 2860—94 Надійність техніки. Терміни та визначення
ГОСТ 27.410—87 Надежность в технике. Методы контроля показателей надежности и планы контрольных испытаний на надежность

3 Визначення

Поняття, терміни та їхні визначення, що використовуються в цьому стандарті, відповідають ДСТУ 2860, ГОСТ 27.410.

Додатково до них у цьому стандарті використовуються такі визначення:

Цензурування справа (цензурування) — подія, яка призводить до припинення випробувань чи експлуатаційних спостережень об'єкта до настання відмови (граничного стану).

Примітка. Причинами цензурування є:

- різний час початку і (або) закінчення випробувань чи експлуатації об'єкта;
- зняття з випробувань чи експлуатації деяких об'єктів з організаційних причин, або внаслідок відмов складових частин, надійність яких не досліджується;
- переведення об'єктів з одного режиму використання в інший під час випробувань чи експлуатації;
- необхідність оцінки надійності до настання відмов усіх випробовуваних об'єктів.

Наробіток до цензурування — наробіток об'єкта від початку випробувань чи експлуатаційних спостережень до настання цензурування.

Цензурована вибірка — вибірка, елементами якої є значення наробітку до відмови та наробітку до цензурування.

Одноразово цензурована вибірка — цензурована вибірка, в якій значення всіх наробітків до цензурування дорівнюють одне одному і не менші за найбільший наробіток до відмови.

Багаторазово цензурована вибірка — цензурована вибірка, в якій значення наробітків до цензурування не дорівнюють одне одному.

4 Загальні положення

4.1 Під оцінкою показників надійності розуміють точкову чи інтервальну (границі довірчого інтервалу, в якому із заданою імовірністю знаходиться дійсне значення показника) оцінку показника.

4.2 Оцінки показників надійності використовують за кількісного аналізу надійності та (або) за контролю показників надійності за допомогою довірчих границь.

4.3 Для визначення показників надійності використовують два методи:

- непараметричний — за невідомого виду закону розподілу випадкової величини (наробітку до відмови, ресурсу, терміну служби, терміну збережуваності, тривалості відновлення), який містить у собі безпосередню оцінку показників надійності за вибірковими даними;
- параметричний — за відомого виду закону розподілу випадкової величини, який містить у собі оцінку параметрів закону розподілу, що входять у розрахункову формулу показника надійності,

що визначається, та оцінку показника надійності за розрахованими оцінками параметрів закону розподілу.

4.4 Для розрахунку оцінок показників надійності виконують такі роботи:

- вибір плану випробувань на надійність;
- планування випробувань;
- збирання необхідної інформації;
- статистичну обробку інформації.

У технічно обгрунтованих випадках допускається не проводити планування випробувань.

4.5 Позначення, що використовуються в стандарті, наведено у додатку А.

5 Вибір плану випробувань на надійність

5.1 План випробувань на надійність встановлює число об'єктів випробувань, порядок проведення випробувань (з відновленням працездатного стану об'єкта після відмови, заміною об'єкта, що відмовив, або без відновлення і заміни) та критерій їх припинення.

5.2 Позначення та визначення планів випробувань на надійність наведено у додатку Б.

5.3 Об'єктами випробувань є зразки одного типу, які не мають конструктивних чи інших відмінностей, виготовлені за єдиною технологією та випробувані за ідентичних умов.

5.4 Вибір планів випробувань залежить від типу об'єкта випробувань, мети випробувань, показників надійності, що оцінюються, умов випробувань та інших техніко-економічних чинників.

5.5 Рекомендації щодо вибору планів випробувань наведено у додатку В.

6 Планування випробувань на надійність

6.1 Планування випробувань на надійність передбачає визначення потрібного обсягу випробувань для розрахунку оцінок показників надійності із заданими точністю (відносною похибкою ξ в оцінці показника надійності) та вірогідністю (довірчою імовірністю q).

6.2 Під обсягом випробувань розуміють для планів:

— [NUN] — число об'єктів випробувань N або число відновлювань працездатного стану (під час випробувань з метою показника «середня тривалість відновлення»).

— $[Nur]$, $[NMr]$, $[NRr]$ — число об'єктів N і число відмов (граничних станів) r випробуваних об'єктів;

— $[NUT]$, $[NMT]$, $[NRT]$ — число об'єктів N і тривалість випробувань T .

6.3 Вихідними даними для розрахунку обсягу випробувань є:

— довірча імовірність q інтервальної оцінки відповідного показника надійності;

— гранична відносна похибка ξ оцінки відповідного показника надійності:

$$\xi = \max \left\{ \frac{\hat{R} - R}{\hat{R}}; \frac{\bar{R} - \hat{R}}{\hat{R}} \right\}; \quad (1)$$

— коефіцієнт варіації v розподілу випадкової величини (наробітку, ресурсу, терміну служби, часу відновлення, терміну збережуваності);

— вид закону розподілу випадкової величини (наробітку, ресурсу, терміну служби, тривалості відновлення, терміну збережуваності).

6.4 Довірчу імовірність q рекомендується вибирати з ряду: 0,80; 0,90; 0,95; 0,99.

Граничну відносну похибку (відносну похибку) ξ рекомендується вибирати з ряду: 0,05; 0,10; 0,15; 0,20.

Рекомендації щодо вибору значень q і ξ наведено у додатку В.

6.5 Рекомендації щодо очікуваного коефіцієнта варіації розподілу випадкової величини (наробітку, ресурсу), а також виду закону розподілу випадкової величини (наробітку, ресурсу), наведено у додатку В.

7 Визначення обсягу випробувань

7.1 Визначення обсягу випробувань за невідомого виду закону розподілу випадкової величини

7.1.1 Для оцінки середніх показників надійності (середнього наробітку до відмови, на відмову, середнього ресурсу, терміну служби, терміну збережуваності, тривалості відновлення) для наявних вихідних даних обсяг випробувань беруть таким, що дорівнює максимальним значенням.

7.1.2 Обсяг вибірки N для оцінки гамма-відсоткових показників надійності або імовірності безвідмовної роботи під час використання плану $[Nur]$ визначають за таблицею Г.1.

Вихідні дані для розрахунку:

— довірча імовірність q ;

— нормована імовірність $\gamma/100$ чи передбачуване значення $P(t)$;

— встановлене число відмов (граничних станів) r .

Число відмов (граничних станів) r для оцінки гамма-відсоткових показників надійності чи імовірності безвідмовної роботи визначають за таблицею Г.1, припускаючи, що число випробуваних об'єктів N задано.

7.1.3 Обсяг вибірки N для оцінки гамма-відсоткових показників надійності під час використання плану [NUT] визначають за таблицею Г.1, припускаючи відомим значення r для вихідних даних за 7.1.2.

7.1.4 Обсяг вибірки N для оцінки імовірності безвідмовної роботи за наробіток T під час використання плану [NUT] визначають за таблицею Г.2.

Вихідні дані для розрахунку:

— прийнята схема біноміальних випробувань (без фіксування наробітку до відмови);

— нижня довірча границя імовірності безвідмовної роботи $P(T)$ за наробіток T (очікуване значення);

— довірча імовірність, q ;

— допустиме число відмов d .

За відомим значенням N за таблицею Г.2 знаходять допустиме число відмов d .

7.1.5 Необхідне число відмов r для оцінки коефіцієнта готовності K_r під час використання плану [NMr] визначають за формулою

$$r = \left(\frac{U_q}{\xi} \right)^2 \left[v_0^2 + (1 + \xi) v^2 \right]. \quad (2)$$

Вихідні дані для розрахунку:

— довірча імовірність q ;

— відносна похибка ξ ;

— очікуваний коефіцієнт варіації розподілу наробітку між відмовами v ;

— очікуваний коефіцієнт варіації розподілу тривалості відновлення v_0 .

7.2 Визначення обсягу випробувань за відомого виду закону розподілу випадкової величини для плану [NUN]

7.2.1 Вихідні дані для розрахунку обсягу випробувань під час оцінки середніх показників надійності (середнього наробітку до відмови, середнього ресурсу, терміну служби, терміну збережуваності, тривалості відновлення):

— довірча імовірність q ;

— відносна похибка ξ ;

— коефіцієнт варіації v (наробітку до відмови, ресурсу, терміну служби, тривалості відновлення);

— вид закону розподілу випадкової величини (наробітку до відмови, ресурсу, терміну служби, тривалості відновлення).

7.2.2 Число об'єктів випробувань N або число відновлень працездатного стану під час оцінювання середніх показників надійності визначають за формулами

— для експоненційного розподілу

$$N = \frac{(\xi + 1)}{2} \chi^2_{1-q} (2N); \quad (3)$$

— для дифузійних DM-розподілу та DN-розподілу

$$N = \left(\frac{u_q v}{\xi} \right)^2 (1 + \sqrt{1 + \xi^2}) / 2; \quad (4)$$

— для логарифмічно нормального розподілу

$$N = \left(\frac{u_q}{\xi} \right)^2 \ln(v^2 + 1) \left[1 + \frac{\ln(v^2 + 1)}{2} \right]; \quad (5)$$

— для розподілу Вейбулла

$$N = \frac{(1 + \xi)^b}{2} \chi^2_{1-q} (2N). \quad (6)$$

7.2.3 Число об'єктів випробувань N або число відновлень працездатного стану під час оцінювання гамма-відсоткових показників надійності для регламентованої імовірності $\gamma / 100$ визначають за формулами

— для експоненційного розподілу

$$N = (u_q K_\gamma / \xi)^2; \quad K_\gamma = \frac{\sqrt{100/\gamma - 1}}{\ln(100/\gamma)}; \quad (7)$$

— для DM-розподілу

$$N = \left(\frac{u_q v}{\xi} \right)^2 \frac{(1 + \sqrt{1 + \xi^2}) K_{DM}}{2(1 - \gamma/100)}, \quad (8)$$

де $K_{DM} = DM(T_{cp}; \mu, \nu)$ — імовірність, що відповідає наробітку T_{cp} ;

— для DN-розподілу

$$N = \left(\frac{u_q v}{\xi} \right)^2 \frac{(1 + \sqrt{1 + \xi^2}) K_{DN}}{2(1 - \gamma/100)}, \quad (9)$$

де $K_{DN} = DN(T_{cp}; \mu, \nu)$ — імовірність, що відповідає наробітку T_{cp} ;

— для логарифмічно нормального розподілу

$$N = \left(\frac{u_q K_\gamma}{\xi} \right)^2 \ln(v^2 + 1); \quad K_\gamma = \frac{1}{f_0(u_\gamma)} \sqrt{(1 - \gamma/100)\gamma/100}, \quad (10)$$

де $f_0(u_i)$ — густина нормованого нормального розподілу, що відповідає u_i ;

— для розподілу Вейбулла

$$N = \left(\frac{u_0 K_\gamma}{\xi b} \right)^2; \quad K_\gamma = \frac{\sqrt{100/\gamma - 1}}{\ln(100/\gamma)}. \quad (11)$$

7.2.4 Якщо за результатами випробувань одержано коефіцієнт варіації більший за заданий, то обсяг випробувань перераховують для знайденого коефіцієнта варіації згідно з 7.2.2 та 7.2.3 і випробувачня продовжують.

7.3 Визначення обсягу випробувань за відомого виду закону розподілу випадкової величини для плану {NUr}

7.3.1 Число відмов (граничних станів) для оцінки середніх показників надійності визначають за 7.2.2, беручи замість N значення r .

Вихідні дані для розрахунку беруть за 7.2.1.

7.3.2 Обсяг вибірки $N > r$ для оцінки середніх показників надійності визначається можливим числом виробів, виділених для проведення випробувань, якщо немає обмежень на тривалість випробувань.

7.3.3 Обсяг вибірки N для оцінки середніх показників надійності, припустивши, що задана відносна тривалість випробувань $x = T_u/T_{\text{ср}}$, визначають за формулами

— для експоненційного розподілу

$$N = \frac{e^x(r - 0,5) + 0,5}{e^x - 1}; \quad (12)$$

— для DM-розподілу

$$N = r/\Phi \left[\frac{x(1 + v^2/2) - 1}{v \sqrt{x(1 + v^2/2)}} \right]; \quad (13)$$

— для DN-розподілу

$$N = r/\left[\Phi \left(\frac{x - 1}{v\sqrt{x}} \right) + e^{2v^{-2}} \Phi \left(-\frac{x + 1}{v\sqrt{x}} \right) \right]; \quad (14)$$

— для логарифмічно нормального розподілу

$$N = r/\Phi \left[\ln x / \sqrt{\ln(v^2 + 1)} \right]; \quad (15)$$

— для розподілу Вейбулла

$$N = \left\{ \frac{\exp[x\Gamma(1 + \frac{1}{b})]^b (r - 0,5) + 0,5}{\exp[x\Gamma(1 + \frac{1}{b})]^b - 1} \right\}. \quad (16)$$

7.3.4 Число відмов (граничних станів) r для оцінки гамма-відсоткових показників надійності за регламентованою імовірністю $\gamma/100$ визначають за 7.2.3, беручи замість N значення r .

Вихідні дані для розрахунку беруть за 7.2.1.

7.3.5 Обсяг вибірки N для оцінки гамма-відсоткових показників, якщо немає обмежень на тривалість випробувань, визначається умовою

$$r < N \leq r/(1 - \gamma/100). \quad (17)$$

7.3.6 Обсяг вибірки N для оцінки гамма-відсоткових показників надійності, припустивши, що задана відносна тривалість випробувань дорівнює α , визначають за 7.3.3.

7.3.7 Якщо за результатами випробувань одержано коефіцієнт варіації v більший за заданий, то обсяг випробувань перераховують для знайденого коефіцієнта варіації згідно з 7.3.1—7.3.6 і випробування продовжують.

7.4 Визначення обсягу випробувань за відомого виду закону розподілу випадкової величини для плану [NUT]

7.4.1 Для оцінки середніх показників надійності за вихідних даних за 7.2.1 визначають прогнозоване число відмов (граничних станів) r за 7.2.2, беручи замість N значення r .

7.4.2 Якщо задано відносну тривалість випробувань α , то обсяг вибірки N за оцінки середніх показників надійності визначають за 7.3.3.

7.4.3 Якщо обсяг вибірки N задано, значення α визначають за формулами

— для експоненційного розподілу

$$\alpha = \ln \frac{N + 0,5}{N - r + 0,5}; \quad (18)$$

— для DM-розподілу

$$\alpha = \left[1 + v^2 u_{r/N}^2 / 2 - v u_{r/N} \left(1 + \frac{v^2 u_{r/N}^2}{4} \right)^{1/2} \right] / \left(1 + \frac{v^2}{2} \right); \quad (19)$$

— для DN-розподілу

$$\alpha = \left[1 + v^2 u_{r/N}^2 / 2 - v u_{r/N} \left(1 + \frac{v^2 u_{r/N}^2}{4} \right)^{1/2} \right]; \quad (20)$$

— для логарифмічно нормального розподілу

$$\alpha = \exp \left[u_{r/N} \sqrt{\ln(v^2 + 1)} \right], \quad (21)$$

де $u_{r/N}$ — квантиля нормального розподілу рівня r/N ;

— для розподілу Вейбулла

$$\bar{x} = \left[\ln \left(\frac{N + 0,5}{N + 0,5 - r} \right) \right]^{1/b} / \Gamma \left(1 + \frac{1}{b} \right). \quad (22)$$

Тривалість випробувань T визначають за формулою

$$T = \bar{x} T_{\text{ср}},$$

де $T_{\text{ср}}$ — очікуване значення середнього показника надійності, що оцінюється.

7.4.4 Для оцінки гамма-відсоткових показників надійності за вихідними даними за 7.2.1 і для регламентованої імовірності $\gamma/100$ визначають прогнозоване число відмов (граничних станів) r за 7.2.3, беручи замість N значення r .

7.4.5 Якщо задано відносну тривалість випробувань \bar{x} , то обсяг вибірки N для оцінки гамма-відсоткових показників визначають за 7.3.3.

7.4.6 Якщо задано обсяг вибірки N , то визначають тривалість випробувань за формулою $T = \bar{x} T_{\text{ср}}$, де \bar{x} визначають за 7.4.3.

7.4.7 Якщо за результатами випробувань N об'єктів за час T одержано число відмов (граничних станів) менше за прогнозоване, то випробування слід продовжити до настання r відмов (граничних станів) або знизити вимоги до точності та (чи) вірогідності оцінки показника.

7.5 Визначення обсягу випробувань за відомого виду закону розподілу випадкової величини для планів [NM r], [NR r]

7.5.1 Для оцінки середніх показників надійності (середнього наробітку до відмови, на відмову, середньої тривалості відновлення) визначають число відмов (відновлень працездатного стану) r за 7.2.2, беручи замість N значення r .

Вихідні дані для розрахунків беруть за 7.2.1.

Обсяг вибірки N у цьому разі не регламентують.

7.5.2 Для оцінки коефіцієнта готовності K_r (за плану [NM r]) для вихідних даних за 7.2.1 та очікуваного коефіцієнта варіації тривалості відновлення ξ , припустивши дифузійні розподіли наробітку (тривалості відновлення), число відмов r визначають за формулою

$$r = \left(\frac{u_q}{\xi} \right)^2 (v^2 + v_0^2) (1 + \sqrt{1 + \xi^2}) / 2. \quad (23)$$

Обсяг вибірки N не регламентують. Припускають, що числа відмов і відновлень збігаються.

7.5.3 Якщо за результатами випробувань одержано коефіцієнт варіацій v і (або) v_0 більший за заданий, то число відмов перераховують згідно з 7.5.1, 7.5.2 для знайденого коефіцієнта варіації і випробування продовжують.

7.6 Визначення обсягу випробувань за відомого виду закону розподілу випадкової величини для планів {NMT} і {NRT}

7.6.1 Для оцінки середніх показників надійності для вихідних даних за 7.2.1 визначають прогнозоване число відмов r за 7.2.2, беручи замість N значення r .

7.6.2 Обсяг вибірки N або відносну тривалість випробувань h розраховують за формулою $h = r/N$.

7.6.3 Якщо за результатами випробувань N об'єктів за час T одержано число відмов менше за прогнозоване, то випробування слід продовжити до виникнення r відмов або знизити вимоги до точності та (чи) вірогідності оцінки показника.

7.7 Таблиці для визначення обсягу випробувань для невідомого виду закону розподілу випадкової величини наведено в додатку Г, для експоненційного розподілу — в додатку Д, для ДМ-розподілу — в додатку Ж, для ДН-розподілу — в додатку К, для логарифмічно нормального розподілу — в додатку Л, для розподілу Вейбулла — в додатку М.

8 Вихідна інформація для оцінки показників надійності

8.1 Залежно від способу одержання та виду вихідної інформації методи визначальних випробувань поділяють на експериментальні та розрахунково-експериментальні.

Цей стандарт розглядає експериментальні методи визначальних випробувань.

8.2 Експериментальні методи ґрунтуються на використанні статистичних даних, одержаних під час випробувань об'єктів на надійність, або даних дослідної чи підконтрольної експлуатації.

8.3 Експериментальна інформація залежить від плану випробувань. Вихідними даними для оцінки показників надійності є:

8.3.1 За плану {NUN}:

— вибіркові значення наробітку до відмови, ресурсу, терміну служби, тривалості відновлення, терміну збережуваності t_1, t_2, \dots, t_N ;

— обсяг вибірки N .

8.3.2 За плану {NUr}:

— вибіркові значення наробітку до відмови, ресурсу, терміну служби, терміну збережуваності t_1, t_2, \dots, t_r ;

— число відмов r ;

— обсяг вибірки N .

8.3.3 За плану {NUT}:

— вибіркові значення наробітку на відмову, ресурсу, терміну служби, терміну збережуваності t_1, t_2, \dots, t_d ;

— тривалість випробувань T_n ;

— обсяг вибірки N .

8.3.4 За плану $\{NUz\}$:

— вибіркові значення наробітку до відмови, ресурсу, терміну служби, терміну збережуваності t_1, t_2, \dots, t_r ;

— вибіркові значення наробітку працездатних об'єктів (наробітку до цензурування) $\tau_1, \tau_2, \dots, \tau_n$;

— число відмов r ;

— обсяг вибірки N .

8.3.5 За планів $\{NMr\}$, $\{NRr\}$

— вибіркові значення наробітку між відмовами t_1, t_2, \dots, t_r ;

— число відмов r ;

— обсяг вибірки N .

8.3.6 За планів $\{NMT\}$, $\{NRT\}$:

— вибіркові значення наробітку між відмовами t_1, t_2, \dots, t_d ;

— тривалість випробувань T_n ;

— обсяг вибірки N .

9 Методи оцінки показників надійності

9.1 Оцінка показників надійності непараметричними методами

9.1.1 Точкові оцінки показників надійності розраховують за $r > 5$.

За $r \leq 5$ використовують нижні довірчі границі показників надійності.

9.1.2 Послідовність розрахунку оцінок показників надійності для планів $\{NUN\}$, $\{NUr\}$, $\{NUT\}$, $\{NUz\}$

Наробітки до відмови та наробітки до цензурування (для планів, що відрізняються від $\{NUN\}$ розміщують у загальний варіаційний неубуваючий ряд. Якщо окремі значення наробітку до відмови порівнюють деяким значенням наробітку працездатних об'єктів, то у варіаційному ряду спочатку зазначають наробітки до відмови, а потім наробітки до цензурування.

Розраховують оцінку функції розподілу $\hat{F}(t_i)$:

$$\hat{F}(t_i) = 1 - \prod_{j=1}^i \frac{N_j - 1}{N_j}; \quad i = \overline{1, r}, \quad (24)$$

де N_j — кількість працездатних об'єктів до j -ї відмови у варіаційному ряду.

Для планів $\{NUN\}$, $\{NUr\}$ і $\{NUT\}$ ця формула переходить у таку:

$$\hat{F}(t_i) = i/N, \quad i \leq m. \quad (25)$$

Розраховують точкові оцінки показників надійності за формулами, наведеними у додатку Г.

9.1.3 Для планів [NMr] і [NMT] вибірккову оцінку середнього наробітку на відмову розраховують за формулою

$$\hat{T}_0 = s/m. \quad (26)$$

Вибіркову оцінку середньої тривалості відновлення розраховують за формулою

$$\hat{T}_s = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m t_{si}. \quad (27)$$

9.1.4 Для планів випробувань [NMr], [NMT] точкову оцінку коефіцієнта готовності розраховують за формулою

$$\hat{K}_r = \hat{T}_0 / (\hat{T}_0 + \hat{T}_s), \quad (28)$$

де оцінки \hat{T}_0 і \hat{T}_s розраховують згідно з 9.1.3.

9.1.5 Вирази для точкових та інтервальних оцінок показників надійності за непараметричними методами визначення наведено в додатку Г.

9.2 Оцінка показників надійності параметричними методами

9.2.1 Параметричні методи оцінки показників надійності, встановлені в цьому стандарті використовуються для експоненційного, дифузійних розподілів, логарифмічно нормального розподілу та розподілу Вейбулла.

9.2.2 Перевірку узгодження досліджуваного розподілу з теоретичним для випробувань за планом [NUN] проводять згідно з критеріями згоди (Колмогорова, Пірсона, ω^2).

9.2.3 Точкові оцінки параметрів законів розподілу розраховують методом максимальної правдоподібності в таких випадках:

$6 \leq N < 10,$	$n/N > 0,5,$
$10 \leq N < 20,$	$n/N > 0,3,$
$20 \leq N < 50,$	$n/N > 0,2,$
$50 \leq N < 100,$	$n/N > 0,1,$
$100 \leq N < 400,$	$n/N > 0,05,$
$N \geq 400,$	$n/N > 0,01.$

В інших випадках використовують наближені методи, які властиві певним законам розподілу, або розраховують тільки нижні довірчі границі показників надійності.

9.2.4 Порядок оцінки показників надійності для експоненційного розподілу наведено в додатку Д, для ДМ-розподілу — в додатку Ж, для ДН-розподілу — в додатку К, для логарифмічно нормального розподілу — в додатку Л, для розподілу Вейбулла — в додатку М.

9.2.5 Якщо надійність об'єктів характеризується показником імовірності безвідмовної роботи, а умови випробувань (експлуатації) об'єктів не дають змоги визначити моменти виникнення їх відмов, то оцінку імовірності безвідмовної роботи розраховують за формулами додатку М (випадок біноміального розподілу).

9.2.6 Приклади визначення оцінок показників надійності за експериментальними даними згідно з рекомендаціями цього стандарту наведено в додатку Н.

Позначення, використані в стандарті

- \hat{R} — оцінка показника надійності R ;
 ξ — гранична відносна похибка (відносна похибка) оцінки показника надійності;
 q — довірна імовірність, що відповідає односторонньому довірчому інтервалу;
 \underline{R} — нижня довірна границя (НДГ) показника надійності R ;
 \overline{R} — верхня довірна границя (ВДГ) показника надійності R ;
 N — число випробовуваних (спостережуваних) об'єктів;
 r — число відмов (граничних станів) за час випробувань (спостережень);
 $m = \begin{cases} d & \text{— для планів } \{NUT\}, \{NMT\}, \{NRT\}; \\ r & \text{— для планів } \{NUR\}, \{NMR\}, \{NRR\}; \end{cases}$
 t_i — окремі значення випадкової величини (наробітку до відмови, наробітку між відмовами, ресурсами, терміну служби, терміну збережувачості);
 t_{ei} — окремі значення тривалості відновлення;
 τ_i — окремі значення наробітку до цензурування;
 $\hat{\lambda}$ — оцінка параметра λ експоненційного розподілу;
 $\hat{\mu}, \hat{\nu}$ — оцінки параметрів μ, ν дифузійних розподілів;
 \hat{a}, \hat{b} — оцінки параметрів a, b розподілу Вейбулла;
 $\hat{\mu}, \hat{\sigma}$ — оцінки параметрів μ, σ логарифмічно нормального розподілу;
 $\hat{F}(t)$ — оцінка функції розподілу $F(t)$ для наробітку t (імовірність відмови за наробіток t);
 $\hat{P}(t)$ — оцінка імовірності безвідмовної роботи $P(t)$ за наробіток t ;
 \hat{T}_{cp} — оцінка середніх показників надійності T_{cp} ;
 T_γ — оцінка гамма-відсоткових показників надійності T_γ ;
 $\gamma/100$ — нормована імовірність;
 s — сумарний наробіток об'єктів за час випробувань;
 T_* — тривалість випробувань;
 x — відносна тривалість випробувань ($x = T_*/T_{cp}$);
 h — відносна тривалість випробувань ($h = r/N$);

- $\hat{\sigma}$ — оцінка середньоквадратичного відхилення наробітку між відмо-
вами;
 \hat{v} — оцінка коефіцієнта варіації v ;
 $\hat{\sigma}_v$ — оцінка середньоквадратичного відхилення тривалості відновле-
ння;
 v_v — коефіцієнт варіації тривалості відновлення;
 u_q — квантиля нормального розподілу, що відповідає імовірності q ;
 $\chi^2_q(l)$ — квантиля χ^2 -квадрат розподілу з числом ступенів вільності
 l , що відповідає імовірності q ;
 $t_q(l)$ — квантиля t -розподілу (Ст'юдента) з числом ступенів вільності
 l , що відповідає імовірності q ;
 $\Phi(\cdot)$ — функція нормального розподілу (нормованого);
 $f_0(\cdot)$ — густина імовірності нормального розподілу;
 $\Gamma(\cdot)$ — гамма-функція;
 $DM(t; \mu, v)$ — позначення функції DM-розподілу;
 $DN(t; \mu, v)$ — позначення функції DN-розподілу.

ДОДАТОК Б
(обов'язковий)

Види планів випробувань на надійність

Б.1 План випробувань [NUT] (план [NUT]) — план випробувань, згідно з яким одночасно випробують N об'єктів, об'єкти, що відмовили під час випробувань, не відновлюють і не замінюють, випробування припиняють після закінчення часу випробувань або наробітку T для кожного об'єкта, який не відмовив.

Б.2 План випробувань [NUr] (план [NUr]) — план випробувань, згідно з яким одночасно випробують N об'єктів, об'єкти, що відмовили під час випробувань, не відновлюють і не замінюють, випробування припиняють, коли число об'єктів, що відмовили, досягає r .

Примітка. За $r = N$ маємо план [NUN]).

Б.3 План випробувань [NRT] (план [NRT]) — план випробувань, згідно з яким одночасно починають випробування N об'єктів, об'єкти, що відмовили під час випробувань, замінюють новими, випробування припиняють після закінчення часу випробувань або наробітку T для кожної з N позицій.

Примітка. Кожен з N об'єктів займає певну позицію (стенд, випробувальний майданчик тощо), відносно якої в подальшому відраховується тривалість випробувань T незалежно від заміни об'єктів, що відмовили на цій позиції.

Б.4 План випробувань [NRz] (план [NRz]) — план випробувань, згідно з яким одночасно починають випробування N об'єктів, об'єкти, що відмовили під час випробувань, замінюють новими, випробування припиняють, коли сумарне число об'єктів, що відмовили за всіма позиціями, досягає r , або після закінчення часу випробувань або наробітку T .

Б.5 План випробувань [NMT] (план [NMT]) — план випробувань, згідно з яким одночасно випробують N об'єктів, об'єкти, що відмовляли під час випробувань, відновлюють, але не замінюють, об'єкт випробують протягом наробітку T .

Б.6 План випробувань [NMг] (план [NMг]) — план випробувань, згідно з яким одночасно випробують N об'єктів, після кожної відмови об'єкт відновлюють, випробування припиняють, коли сумарне за всіма об'єктами число відмов досягає r .

Б.7 План випробувань [NUz] (план [NUz]) — план випробувань, згідно з яким одночасно випробовують N об'єктів, об'єкти, що відмовили під час випробувань, не відновлюють і не замінюють, коли

кожен об'єкт випробують протягом наробітку z_i , де $z_i = \min(t_i, \tau_i)$.
Тут $i = 1, 2 \dots N$;

t_i — наробіток до відмови i -го об'єкта; τ_i — наробіток до зняття з випробувань працездатного i -го об'єкта.

Примітка 1. Позначення та визначення планів випробувань на надійність дано за ГОСТ 27.410.

Примітка 2. Літери U, R, M у позначеннях планів випробувань вказують ступінь характер відновлення об'єктів:

U — невідновлювані і незамінювані під час випробувань у разі відмови;

R — невідновлювані, але замінювані під час випробувань у разі відмови;

M — відновлювані об'єкти під час випробувань у разі відмови;

N — обсяг вибірки;

T — час випробувань або наробіток;

r — число відмов або об'єктів, що відмовили.

ДОДАТОК В
(рекомендований)Рекомендації щодо вибору планів випробувань
та вихідних даних для планування

В.1 Рекомендації щодо вибору планів визначальних випробувань на надійність наведено в таблиці В.1.

Таблиця В.1 — Рекомендовані плани визначальних випробувань на надійність

Вид об'єкта	Показник надійності	План випробувань	Примітка
Невідновлюваний	Середній наробіток до відмови Гамма-відсотковий наробіток до відмови Інтенсивність відмов Імовірність безвідмовної роботи	[NUN], [NUR], [NUT], [NUZ] [NRr], [NRT] [NUT]	Для скорочення тривалості випробувань використовують плани [NRr], [NRT], для підвищення точності оцінок показників — [NUN]
Відновлюваний (що ремонтується)	Середній наробіток на відмову Середній ресурс (термін служби) Гамма-відсотковий ресурс (термін служби) Середня тривалість відновлення Коефіцієнт готовності Середній термін збережуваності Гамма-відсотковий термін збережуваності	[NMr], [NMT] [NUN], [NUz], [NUT], [Nur] [NRr], [NRT] [NMr], [NMT] [NUT], [Nur]	Розглядають стосовно граничних станів Для скорочення тривалості випробувань використовують плани [NRr], [NRT], для підвищення точності оцінок показників — [NUN] Розглядають відносно відновлення працездатного стану і переходять до [NUZ]

В.2 Значення відносної похибки ξ та довірчої імовірності q встановлюють з урахуванням таких чинників:

— для складових частин об'єкта, що впливають на безпеку;

$$\xi = 0,05; \quad q = 0,95; 0,99;$$

— для базових складових частин об'єкта:

$$\xi = 0,10; \quad 0,15; \quad q = 0,90; 0,95;$$

— для деталей, що зумовлюють зовнішній вигляд об'єкта, його комфортабельність:

$$\xi = 0,15; 0,20; \quad q = 0,80; 0,90;$$

— для виробів масового та серійного виробництва:

$$\xi = 0,10; \quad q = 0,90.$$

Для виробів великогабаритних, дорогих, малосерійного виробництва значення ξ допускається збільшувати, значення — зменшувати.

Примітка. За заданої довірчої ймовірності q^* для двобічного інтервалу довірчу ймовірність q для одnobічного інтервалу визначають за формулою $q = (1 + q^*)/2$. Відповідно $q^* = 2q - 1$.

В.3 Значення коефіцієнта варіації v розподілу наробітку (ресурсу) що, як правило, збігається із значенням коефіцієнта варіації фізичних процесів деградації, які призводять до відмов, встановлюють на основі аналізу механізмів відмов випробуваних об'єктів (аналогів). Значення коефіцієнтів варіації основних процесів деградації наведено в таблиці В.2.

Таблиця В.2 — Значення коефіцієнтів варіації основних процесів деградації

Вид руйнування	Коефіцієнт варіації процесу руйнування	Назва деталей, елементів, що піддаються даному руйнуванню
1 Статичне руйнування	0,05 — 0,15	Зварні з'єднання, фасонні, болти, валики, пальці, чавунні виливки, пов'язі та анкерні болти тощо
2 Зношування		
2.1 Механо-хімічне	0,25 — 0,50	Підшипники ковзання, вали, осі, напрямні, поршневі кільця, втулки та інші деталі
2.2. Абразивне	0,40 — 0,70	Плужні леміші, лапи культиваторів, деталі гусениць тракторів, деталі формувальних машин та інші деталі

Закінчення таблиці В.2

Вид руйнування	Коефіцієнт варіації процесу руйну- вання	Назва деталей, елементів, що піддаються даному руйнуванню
3 Втома		
3.1. Малоциклова	0,20 — 0,40	Корпусні деталі, зубчасті колеса, пружини, бандажі, рейки, просторові конструкції тощо
3.2. Багатоциклова	0,40 — 0,80	Корпусні деталі, підшипники кочення, вали, осі, пружини, шатунни, болти, рейки, бандажі тощо
3.3. Контактна	0,40 — 1,00	Зубчасті передачі, підшипники кочення, рейки, бандажі рухомого складу, поверхні кочення тощо
4 Старіння	0,40 — 1,00	Елементи та деталі з металів, полімери, гумотехнічні вироби, ущільнення, напівпровідники тощо
5 Електричне (електроліз, міграція зарядів, електродифузія)	0,70 — 1,5	Напівпровідникові прилади, інтегральні схеми, конденсатори та інші вироби електронної техніки

В.4 Рекомендації щодо вибору виду закону розподілу випадкової величини наведено в таблиці В.3.

Таблиця В.3 — Рекомендації щодо вибору виду закону розподілу наробітку до відмови (граничного стану)

Тип функції розподілу	Умови застосування
1 Експоненційний розподіл $f(t) = \lambda e^{-\lambda t}$	Для технічних систем та електро- радіоелементів, які не піддаються старінню та зношуванню
2 DM-розподіл (дифузійний монотонний розподіл) $f(t) = \frac{(t + \mu)}{2\sqrt{t}\sqrt{2\pi\mu t}} \exp \left[-\frac{(t + \mu)^2}{2\mu^2} \right]$	Для механічних систем, деталей машин і при- ладів, у яких переважають механізми відмов внаслідок незворотних процесів зношування, втоми та корозії
3 DN-розподіл (дифузійний немонотонний розподіл) $f(t) = \frac{\sqrt{\mu}}{\sqrt{t}\sqrt{2\pi}} \exp \left[-\frac{(t - \mu)^2}{2\mu^2} \right]$	Для електрорадіоелементів, електронних си- стем, а також технічних систем, що містять електрорадіоелементи та механічні елементи, в яких переважають механізми відмов внаслідок процесів старіння, різних електрич- них процесів, а також процесів втоми

Закінчення таблиці В.3

Тип функції розподілу	Умови застосування
4 Логарифмічно нормальний розподіл $f(t) = \frac{1}{\sigma t \sqrt{2\pi}} \exp \left[-\frac{(\ln t - \mu)^2}{2\sigma^2} \right]$	У випадку, коли основним видом руйнування є багатоциклічна втома, зумовлена періодичним процесом навантажування
5 Розподіл Вейбулла $f(t) = \frac{b}{a} \left(\frac{t}{a} \right)^{b-1} \exp \left[-\left(\frac{t}{a} \right)^b \right]$	Для апроксимації розподілів наробітку виробів, що не узгоджуються з пунктами 1—4

Примітка 1. Експоненційний розподіл, як однопараметрична функція є приблизною моделлю опису розподілу наробітку і має суттєві методичні похибки під час прогнозування кількісних показників. Так, за значень реального коефіцієнта варіації наробітку (ресурсу) менших за одиницю використання експоненційного закону за обмежених у часі випробувань $T_n \ll T_{cp}$ викликає значне завищення середніх показників надійності (у 2 і більше разів).

Примітка 2. Використання нормального розподілу припустиме, якщо коефіцієнт варіації наробітку менший за 0,25, що є достатньо рідкісним випадком. Внаслідок цього, а також тому, що DM-розподіл замінює нормальний розподіл і краще апроксимує розподіл таких випадкових величин як границя міцності (опір тимчасовий) та границя текучості, які мають коефіцієнти варіації 0,05 — 0,15, нормальний розподіл не рекомендується використовувати як теоретичну модель розподілу наробітку до відмови (ресурсу).

Примітка 3. Методичні похибки експоненційного та нормального розподілів зумовлені сталістю їх моментів розподілу (починаючи з другого для експоненційного розподілу та обмеженням другого моменту, а також сталістю третього і четвертого — для нормального розподілу). Якщо для двопараметричних функцій розподілу (DM-розподілу, DN-розподілу, логарифмічно нормального, Вейбулла тощо) під час збільшення статистики відмов ($r \rightarrow \infty$) методичні похибки прямують до нуля ($\Delta \xi \rightarrow 0$), то методичні похибки експоненційного і нормального розподілів не мають властивості зменшуватись із збільшенням статистики, що уточнює оцінки параметрів розподілу, за винятком оцінок першого моменту.

Примітка 4. Не рекомендується використовувати експоненційний та нормальний розподіли під час проведення сертифікаційних випробувань на надійність

ДОДАТОК Г
(рекомендований)

**Оцінка показників надійності
за невідомого закону розподілу**

Г.1 Вибирають план випробувань, а також встановлюють значення довірчої імовірності q та відносної похибки ξ згідно з рекомендаціями додатку В.

Г.2 За оцінки середніх показників надійності планування випробувань на надійність не проводять, а приймають максимально можливий обсяг випробувань (максимальні значення N і T).

За оцінки гамма-відсоткових показників надійності число необхідних відмов (граничних станів) r визначають за таблицею Г.1, а за оцінки імовірності безвідмовної роботи число допустимих відмов d визначають за таблицею Г.2. За цими самими таблицями, задаючи значення r і d , можна визначити обсяг вибірки N .

Число відмов r для оцінки коефіцієнта готовності визначають за таблицею Г.3.

Г.3 За результатами випробувань розраховують точкову оцінку та довірчі границі визначуваного показника надійності за формулами таблиць Г.4 та Г.5.

Г.4 Пояснення до таблиці Г.4

Середня тривалість відновлення оцінюють тільки для планів [NUN], [NMГ] і [NMT].

Якщо виконана одна з умов

$$1 - \gamma/100 = F(t_{i-1}) \quad \text{або} \quad 1 - \gamma/100 = \hat{F}(t_i), \quad \text{то} \quad \hat{T}_\gamma = t_{i-1} \quad \text{або} \quad \hat{T}_\gamma = t_i.$$

Якщо виконана одна з умов

$$t = t_{i-1} \quad \text{або} \quad t = t_i, \quad \text{то} \quad P(t) = 1 - \hat{F}(t_{i-1}) \quad \text{або} \quad \hat{P}(t) = 1 - \hat{F}(t_i).$$

Якщо виконана умова $t = t_i = t_{i+1} = \dots = t_k$ ($k \leq r$), то

$$\hat{P}(t) = \frac{1}{k - l + 1} \sum_{l=1}^k \hat{P}(t_l).$$

Г.5 Пояснення до таблиці Г.5

Оцінки $\underline{T}_{\text{ср}}$, $T_{\text{ср}}$ є приблизними.

Оцінки $\underline{P}(t_i)$, $P(t_i)$, \underline{T}_γ , T_γ для плану [NUz] є приблизними.

Для плану [NUz]

$r_i = \{NF(t_i)\}$, де $\{x\}$ — ціла частина x .

$\Delta F(t) = F(t) - F(t_{i-1})$; $t_0 = 0$; $F(t_0) = 0$.

Таблиця Г.1 — Число відмов r та об'єктів випробувань N для плану [NUr] за оцінки гамма-відсоткових показників надійності

$\gamma/100$ або $P(r)$	q	N або r														
		0	1	2	3	4	5	6	∞	10	15	20	25	32	40	50
0,50	0,80	—	—	—	8	10	13	13	20	25	32	40	50	65	80	100
	0,90	—	—	6	8	10	13	15	20	25	32	40	50	65	80	100
	0,95	—	—	8	10	13	15	20	25	32	40	50	65	80	100	125
	0,99	6	10	10	13	15	20	20	25	32	50	65	65	80	100	125
0,80	0,80	8	8	13	20	25	32	40	50	65	80	125	150	150	200	—
	0,90	10	10	15	25	32	40	40	50	65	100	125	150	200	—	—
	0,95	13	13	20	32	40	40	50	65	80	100	125	150	200	—	—
	0,99	20	20	25	32	40	50	50	65	80	125	150	150	200	—	—
0,90	0,80	15	15	32	40	50	65	80	100	125	200	200	200	—	—	—
	0,90	20	20	32	50	65	80	80	100	150	200	200	—	—	—	—
	0,95	20	25	40	50	65	80	100	125	150	200	—	—	—	—	—
	0,99	32	50	80	80	100	125	125	150	200	—	—	—	—	—	—
0,95	0,80	32	32	50	80	100	125	150	150	200	—	—	—	—	—	—
	0,90	50	50	65	100	100	125	150	200	—	—	—	—	—	—	—
	0,95	50	65	80	125	150	200	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	0,99	65	65	100	125	150	150	200	—	—	—	—	—	—	—	—

Таблиця Г.2 — Число об'єктів випробувань N для оцінки імовірності безвідмовної роботи $P(T)$ з довірчою імовірністю q за допустимого числа відмов d

d	q	$P(T)$				
		0,80	0,85	0,90	0,95	0,975
0	0,80	7	10	15	31	64
	0,90	10	14	22	45	91
	0,95	13	18	28	58	118
	0,99	21	28	44	90	182
1	0,80	14	19	29	59	119
	0,90	18	25	38	77	154
	0,95	22	30	46	93	188
	0,99	31	42	64	130	263
2	0,80	21	28	42	85	170
	0,90	25	34	52	105	212
	0,95	30	40	61	124	250
	0,99	39	53	81	165	333
3	0,80	27	36	54	109	220
	0,90	32	43	65	132	266
	0,95	37	50	75	153	308
	0,99	47	64	97	198	399
4	0,80	32	44	66	133	268
	0,90	38	52	78	158	318
	0,95	43	59	89	181	364
	0,99	54	74	112	229	461
5	0,80	38	52	78	157	315
	0,90	44	60	91	184	369
	0,95	50	68	103	208	418
	0,99	62	83	127	258	>500
6	0,80	44	59	89	180	362
	0,90	51	68	103	209	419
	0,95	56	76	116	234	471
	0,99	69	93	142	287	>500
7	0,80	50	67	101	203	408
	0,90	57	76	116	233	469
	0,95	63	85	129	260	>500
	0,99	76	102	156	316	>500
8	0,80	55	74	112	226	454
	0,90	63	84	128	258	>500
	0,95	69	93	141	286	>500
	0,99	82	111	170	344	>500

Закінчення таблиці Г 2

d	q	$P(T)$				
		0,80	0,85	0,90	0,95	0,975
9	0,80	61	82	124	249	499
	0,90	69	92	140	282	> 500
	0,95	75	102	154	311	> 500
	0,99	89	120	183	371	> 500
10	0,80	67	89	135	271	> 500
	0,90	74	100	152	306	> 500
	0,95	81	110	166	336	> 500
	0,99	96	129	197	398	> 500

26 Таблиця Г.3 — Число відмов r за плану [NMг] для оцінки коефіцієнта готовності

ξ	q	$v_h = 0,3$					$v_h = 0,4$					$v_h = 0,6$				
		$v=0,3$	$v=0,4$	$v=0,6$	$v=0,8$	$v=1,0$	$v=0,3$	$v=0,4$	$v=0,6$	$v=0,8$	$v=1,0$	$v=0,3$	$v=0,4$	$v=0,6$	$v=0,8$	$v=1,0$
05	0,80	50	80	125	200	315	80	100	150	250	400	125	150	200	315	400
	0,90	125	200	315	500	800	150	200	315	500	800	315	400	500	650	1000
	0,95	200	315	500	800	1000	250	400	650	1000	1000	500	650	800	1000	1000
	0,99	400	650	1000	1000	1000	500	800	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
10	0,80	15	20	40	65	100	20	25	40	65	100	32	40	50	80	100
	0,90	32	50	80	150	200	40	65	100	150	250	80	100	125	200	250
	0,95	50	80	150	250	400	80	100	150	250	400	125	150	200	315	400
	0,99	100	150	250	400	650	150	200	315	500	800	250	315	400	650	800
15	0,80	6	10	15	32	50	8	10	20	32	50	15	20	25	40	50
	0,90	15	25	40	65	100	20	25	50	80	100	32	40	65	80	125
	0,95	25	40	65	100	150	32	40	80	125	200	50	65	100	150	200
	0,99	50	80	125	200	315	65	80	150	250	400	125	150	200	315	400
20	0,80	4	6	10	20	25	5	6	13	20	32	8	10	15	20	32
	0,90	10	13	25	40	65	13	15	25	40	65	20	25	40	50	80
	0,95	15	20	40	65	100	20	25	40	65	100	32	40	65	80	125
	0,99	32	40	80	125	200	40	50	80	150	200	65	80	125	150	250

Таблиця Г.4

План випробування	Формула для визначення			
	середнього наробітку до відмови (на відмову), середнього ресурсу (терміну служби, терміну зберезуваності, тривалості відновлення)	гамма-відсоткового наробітку, гамма-відсоткового ресурсу (терміну служби, терміну зберезуваності)	імовірності безвідмовної роботи за наробіток	коефіцієнта готовності
[NUN]	$\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N t_i; \quad \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N t_{vi}$	$t_{i-1} + d_1 (t_i - t_{i-1}),$	$1 - \hat{F}(t_{i-1}) -$	$\hat{T}_{cp}/(\hat{T}_{cp} + \hat{T}_b)$
[NUT], [NUT]	$\frac{1}{m} \sum_{i=1}^m t_i + \frac{N-m}{m} t_m$	де $\hat{F}(t_{i-1}) < 1 - \frac{\gamma}{100} < \hat{F}(t_i);$	$- d_2 [\hat{F}(t_i) - \hat{F}(t_{i-1})],$	
[NU2]	$-0,5 \frac{t_i [1 + \hat{F}_1(t_i)]}{\ln [1 - \hat{F}_1(t_i)]},$ де $\hat{F}_1(t_i) = \max \hat{F}(t_i)$ таких, що $0,4 \leq \hat{F}(t_i) \leq 1 - e^{-1}$	$d_1 = \frac{1 - \gamma/100 - \hat{F}(t_{i-1})}{\hat{F}(t_i) - \hat{F}(t_{i-1})}$	де $t_{i-1} < t < t_i;$ $d_2 = \frac{t - t_{i-1}}{t_i - t_{i-1}}$	
[NMT], [NMT]	$\hat{T}_0 = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m t_i; \quad \hat{T}_b = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m t_{vi}$	—	—	$\hat{T}_0/(\hat{T}_0 + \hat{T}_b)$

28 Таблиця Г.5 — Формули для розрахунку інтервальних оцінок показників надійності за невідомого виду закону розподілу

Показник надійності	НДГ рівня q	ВДГ рівня q
Середній наробіток до відмови, середній ресурс (термін служби, термін безрежуваності, тривалість відновлення)	$\hat{T}_{\text{ср}} - u_q \left[\sum_{i=1}^r \frac{\Delta F(t_i)}{r} (t_i - \hat{T}_{\text{ср}})^2 \right]^{1/2}$	$\hat{T}_{\text{ср}} + u_q \left[\sum_{i=1}^r \frac{\Delta F(t_i)}{r} (t_i - \hat{T}_{\text{ср}})^2 \right]^{1/2}$
Гамма-відсоткові показники	$t_{i-1} + d_3(t_i - t_{i-1}); \quad t_0 = 0$ $\hat{F}(t_{i-1}) < 1 - \frac{\gamma}{100} < \hat{F}(t_i);$ $\hat{F}(t_i) = \frac{\chi_q^2 [2(r+1)]}{2N - r + 0,5\chi_q^2 [2(r+1)]}$ $d_3 = \frac{1 - \gamma/100 - \hat{F}(t_{i-1})}{\hat{F}(t_i) - \hat{F}(t_{i-1})}$	$t_{i-1} + d_4(t_i - t_{i-1}); \quad t_0 = 0$ $\underline{F}(t_{i-1}) < 1 - \frac{\gamma}{100} < \underline{F}(t_i);$ $\underline{F}(t_i) = \frac{\chi_{1-q}^2 (2r)}{2N - r + 1 + 0,5\chi_{1-q}^2 (2r)}$ $d_4 = \frac{1 - \gamma/100 - \underline{F}(t_{i-1})}{\underline{F}(t_i) - \underline{F}(t_{i-1})}$
Ймовірність безвідмовної роботи за наробітком	$1 - \bar{F}(t_{i-1}) - d_2 [\bar{F}(t_i) - \bar{F}(t_{i-1})]$ $t_{i-1} < t < t_i; \quad t < t_m$	$1 - \underline{F}(t_{i-1}) - d_2 [\underline{F}(t_i) - \underline{F}(t_{i-1})]$ $t_{i-1} < t < t_i; \quad t < t_m$
Коефіцієнт готовності	$\hat{\tau}_0 \hat{\tau}_B + u_q \left(\frac{\hat{\tau}_0^2 \hat{s}_B^2}{m} + \frac{\hat{\tau}_B^2 \hat{s}^2}{m} + \frac{u_q^2 \hat{s}_B^2 \hat{s}^2}{m^2} \right)^{1/2}$ $\left[1 + \frac{\hat{\tau}_0^2 \hat{\tau}_B + u_q \left(\frac{\hat{\tau}_0^2 \hat{s}_B^2}{m} + \frac{\hat{\tau}_B^2 \hat{s}^2}{m} + \frac{u_q^2 \hat{s}_B^2 \hat{s}^2}{m^2} \right)^{1/2}}{\hat{\tau}_0^2 - u_q^2 \hat{s}^2 / m} \right]$	$\hat{\tau}_0 \hat{\tau}_B - u_q \left(\frac{\hat{\tau}_0^2 \hat{s}_B^2}{m} + \frac{\hat{\tau}_B^2 \hat{s}^2}{m} + \frac{u_q^2 \hat{s}_B^2 \hat{s}^2}{m^2} \right)^{1/2}$ $\left[1 + \frac{\hat{\tau}_0 \hat{\tau}_B - u_q \left(\frac{\hat{\tau}_0^2 \hat{s}_B^2}{m} + \frac{\hat{\tau}_B^2 \hat{s}^2}{m} + \frac{u_q^2 \hat{s}_B^2 \hat{s}^2}{m^2} \right)^{1/2}}{\hat{\tau}_0^2 - u_q^2 \hat{s}^2 / m} \right]$

Якщо виконана одна з умов

$$1 - \gamma/100 = \bar{F}(t_{i-1}), \quad 1 - \gamma/100 = \bar{F}(t_i), \quad 1 - \gamma/100 = \underline{F}(t_{i-1})$$

або $1 - \gamma/100 = \underline{F}(t_i)$, то $\underline{T}_\gamma = t_{i-1}$, $\underline{T}_\gamma = t_i$, $\bar{T}_\gamma = t_{i-1}$
або $\bar{T}_\gamma = t_i$ відповідно.

Якщо виконана одна з умов $t = t_{i-1}$ або $t = t_i$, то

$$\underline{P}(t) = 1 - \bar{F}(t_{i-1}), \quad \bar{P}(t) = 1 - \underline{F}(t_{i-1}), \quad \underline{P}(t) = 1 - \bar{F}(t_i) \quad \text{або}$$

$$\bar{P}(t) = 1 - \underline{F}(t_i) \quad \text{відповідно.}$$

Якщо виконана умова $t = t_i = t_{i+1} = \dots = t_k$, ($k \leq r$), то

$$\underline{P}(t) = \frac{1}{k-i+1} \sum_{l=1}^k \underline{P}(t_l), \quad \bar{P}(t) = \frac{1}{k-i+1} \sum_{l=1}^k \bar{P}(t_l),$$

$$\hat{s}^2 = \frac{1}{m-1} \sum_{i=1}^m (t_i - \hat{T}_0)^2, \quad \hat{s}_s^2 = \frac{1}{m-1} \sum_{i=1}^m (t_{si} - \hat{T}_s)^2.$$

ДОДАТОК Д
(рекомендований)

Оцінка показників надійності за експоненційного розподілу

Д.1 Обґрунтовують можливість використання експоненційного розподілу як теоретичного закону розподілу визначуваної випадкової величини, згідно з рекомендаціями додатка В.

Д.2 Встановлюють сподіване (очікуване) значення показника надійності R_0 , яке потрібно визначити за результатами випробувань об'єктів (спостережень під час дослідної чи підконтрольної експлуатації).

За очікуване значення R_0 беруть розраховані оцінки або скореговані показники надійності об'єктів-аналогів.

Д.3 Вибирають план випробувань, а також встановлюють значення довірчої імовірності q та відносної похибки ξ згідно з рекомендаціями додатка В.

Д.4 Визначають число об'єктів для випробувань за даними таблиці Д.1.

Для довільних значень q , ξ , що не збігаються з табличними, число об'єктів випробувань розраховують за 7.2.2, 7.2.3 цього стандарту з використанням таблиці значень квантилей розподілу χ^2 , наведених у таблиці Д.5.

Д.5 За результатами випробувань в разі достатньої статистики (або під час використання плану {NUN}) проводять перевірку узгодження дослідного розподілу з теоретичним.

Д.6 За результатами випробувань розраховують точкову оцінку та довірчі границі параметра експоненційного розподілу за формулами таблиць Д.2 та Д.3. Розраховують точкову оцінку і довірчі границі визначуваного показника надійності за формулами таблиці Д.4.

Таблиця Д.1 — Число об'єктів випробувань N в разі плану {NUN} (або число відмов r в разі інших планів) для експоненційного розподілу

ξ	Значення r за q			
	0,80	0,90	0,95	0,99
0,05	331	684	1052	2625
0,10	88	217	346	714
0,15	56	114	170	358
0,20	29	59	116	232

Таблиця Д.2 — Формули для розрахунку точкової оцінки параметра експоненційного розподілу

План випробування	Оцінка параметра $\hat{\lambda}$
[NUN]	$\frac{(N-1)}{N}, N > 1$
[NUr]	$\frac{\sum_{i=1}^r t_i}{(r-1)}, r > 1$
[NUT]	$\frac{d}{\sum_{i=1}^d t_i + (N-d)T}, d > 0$
[NUz]	$\frac{rN}{(N-1) \left(\sum_{i=1}^r t_i + \sum_{j=1}^n t_j \right)}$
[NM _r]	$\frac{r}{Nt_r}$
[NMT]	$\frac{d}{NT}$

Таблиця Д.3 — Формули для розрахунку довірчих границь параметра експоненційного розподілу

План випробування	НДГ рівня q	ВДГ рівня q
[NUN]	$\frac{\hat{\lambda}_{X1}^2 - q(2N)}{2(N-1)}, N > 1$	$\frac{\hat{\lambda}_{Xq}^2(2N)}{2(N-1)}, N > 1$
[NUr]	$\frac{\hat{\lambda}_{X1}^2 - q(2r)}{2(r-1)}, r > 1$	$\frac{\hat{\lambda}_{Xq}^2(2r)}{2(r-1)}, r > 1$
[NUT]	$\frac{\hat{\lambda}_{N\hat{X}1}^2 - q(2d)}{d[2N - d + 1 + 0,5\hat{X}1^2 - q(2d)]}, d > 0$	$\frac{\hat{\lambda}_{N\hat{X}q}^2(2d+2)}{d[2N - d + 0,5\hat{X}q^2(2d+2)]}, d > 0$
		$\frac{d > 0}{r\alpha/S; d = 0}$
[NUz]	$\frac{\hat{\lambda}_{X1}^2 - q(2N)}{2N}$	$\frac{\hat{\lambda}_{Xq}^2(2N)}{2N}$

План випробування	НДГ рівня q	ВДГ рівня q
[NMr]	$\frac{\lambda \chi_{1-q}^2(2r)}{2(r-1)}; r > 1$	$\frac{\lambda \chi_q^2(2r)}{2(r-1)}; r > 1$
[NMT], [NRT]	$\frac{\lambda \chi_{1-q}^2(2d)}{2d}; d > 0$	$\frac{\lambda \chi_q^2(2d+2)}{2d}; d > 0$

Примітка 1. Оцінки для плану [NUz] є наближеними.

Примітка 2. Значення $\chi_q^2(2N)$ наведено у таблиці Д.5,

Примітка 3. Значення r_0 визначають за значеннями γ :

γ	0,80	0,90	0,95	0,97	0,99	0,995	0,999
r_0	1,61	2,3	3,0	3,69	4,61	5,3	6,91

Таблиця Д.4 — Формули для розрахунку точкових та інтервальних оцінок показників надійності для експоненційного закону розподілу

Показник надійності	Точкова оцінка	НДГ	ВДГ
Середній наробіток до відмови (на відмову)	$\frac{1}{\lambda}$	$\frac{1}{\lambda}$	$\frac{1}{\lambda}$
Середній ресурс (термін служби, термін збережувальності, тривалість відновлення)	$\frac{1}{\lambda}$	$\frac{1}{\lambda}$	$\frac{1}{\lambda}$
Гамма-відсотковий ресурс (термін служби, термін збережувальності)	$\frac{1}{\lambda} (-\ln \frac{\gamma}{100})$	$\frac{1}{\lambda} (-\ln \frac{\gamma}{100})$	$\frac{1}{\lambda} (-\ln \frac{\gamma}{100})$
Імовірність безвідмовної роботи за наробіток	$e^{-\lambda t}$	$e^{-\lambda t}$	$e^{-\lambda t}$
Інтенсивність відмов	λ	λ	λ

Таблиця Д.5 — Квантили $\chi^2(m)$ розподілу χ^2

m	q												
	0,01	0,05	0,10	0,20	0,30	0,40	0,50	0,60	0,70	0,80	0,90	0,95	0,99
2	0,023	0,102	0,210	0,445	0,711	1,023	1,383	1,836	2,414	3,227	4,602	5,992	9,211
4	0,305	0,711	1,040	1,643	2,195	2,758	3,352	4,039	4,883	5,992	7,773	9,492	13,273
6	0,872	1,635	2,204	3,064	3,826	4,564	5,350	6,205	7,236	8,561	10,645	12,592	16,812
8	1,646	2,733	3,490	4,586	5,523	6,430	7,352	8,352	9,523	11,023	13,362	15,507	20,090
10	2,558	3,940	4,865	6,182	7,275	8,291	9,346	10,479	11,787	13,447	15,987	18,307	23,209
12	3,571	5,226	6,304	7,811	9,029	10,178	11,338	12,580	14,010	15,814	18,549	21,026	26,217
14	4,660	6,571	7,790	9,468	10,821	12,079	13,337	14,690	16,222	18,149	21,064	23,685	29,141
16	5,812	7,962	9,312	11,148	12,617	13,977	15,336	16,773	18,414	20,461	23,542	26,296	32,000
18	7,015	9,390	10,865	12,858	14,440	15,899	17,341	18,870	20,593	22,755	25,989	28,869	34,805
20	8,260	10,851	12,443	14,580	16,260	17,803	19,346	20,947	22,763	25,029	28,412	31,410	37,566
22	9,542	12,338	14,041	16,312	18,106	19,728	21,339	23,026	24,938	27,301	30,813	33,924	40,289
24	10,856	13,848	15,659	18,064	19,939	21,650	23,338	25,107	27,100	29,549	33,196	36,415	42,980
26	12,198	15,379	17,292	19,824	21,739	23,582	25,333	27,174	29,244	31,795	35,563	38,885	45,642
28	13,565	16,928	18,939	21,595	23,646	25,505	27,337	29,251	31,397	34,022	37,916	41,337	48,278
30	14,955	18,493	20,599	23,357	25,510	27,444	29,333	31,311	33,523	36,248	40,256	43,773	50,892
32	16,362	20,072	22,271	25,148	27,367	29,383	31,336	33,383	35,664	38,461	42,585	46,194	53,486
34	17,789	21,664	23,952	26,936	29,244	31,319	33,328	35,436	37,793	40,682	44,903	48,602	56,061
36	19,233	23,269	25,643	28,731	31,122	33,249	35,341	37,503	39,929	42,582	47,212	50,998	58,619
38	20,691	24,884	27,343	30,537	33,000	35,189	37,341	39,568	42,036	45,079	49,513	53,384	61,162
40	22,164	26,509	29,051	32,354	34,873	37,139	39,326	41,631	44,170	47,275	51,805	55,758	63,691
42	23,650	28,144	30,765	34,161	36,755	39,073	41,339	43,677	46,181	49,460	54,090	58,124	66,206
44	25,148	29,787	32,487	35,970	38,645	41,019	43,339	45,735	48,399	51,643	56,369	60,481	68,710
46	26,657	31,439	34,215	37,796	40,535	42,973	45,332	47,791	50,509	53,822	58,641	62,830	71,301
48	28,177	33,098	35,949	39,615	42,416	44,912	47,338	49,846	52,611	55,998	60,907	65,171	73,683
50	29,707	34,764	37,689	41,449	44,318	46,869	49,335	51,886	54,718	58,160	63,167	67,505	76,154
52	31,246	36,427	39,423	43,285	46,205	48,807	51,333	53,936	56,831	60,334	65,422	69,832	78,616
54	31,793	38,116	41,183	45,121	48,100	50,763	53,334	55,997	58,924	62,497	67,673	72,153	81,069
56	34,330	39,801	42,937	46,956	50,005	52,712	55,337	58,044	61,024	64,661	69,919	74,468	83,513
58	35,913	41,492	44,596	48,803	51,904	54,665	57,342	60,089	63,133	66,815	72,169	76,778	85,959

m	q												
	0,01	0,05	0,10	0,20	0,30	0,40	0,50	0,60	0,70	0,80	0,90	0,95	0,99
60	37,485	43,188	46,459	50,647	53,811	56,624	59,333	62,131	65,222	68,972	74,397	79,082	88,379
62	39,063	44,889	48,226	52,487	55,711	58,572	61,342	64,187	67,321	71,120	76,630	81,381	90,802
64	40,649	46,595	49,996	54,336	57,617	60,523	63,336	66,227	69,414	73,273	78,860	83,675	93,217
66	42,240	48,305	51,770	56,195	59,531	62,479	65,331	68,264	71,503	75,418	81,085	85,965	95,626
68	43,838	50,020	53,548	58,047	61,434	64,439	67,328	70,316	73,603	77,571	83,308	88,250	98,028
70	45,442	51,739	55,329	59,891	63,344	66,403	69,342	72,350	75,682	79,716	85,527	90,531	100,430
72	47,051	53,462	57,113	61,761	65,259	68,353	71,341	74,399	77,774	81,853	87,743	92,808	102,820
74	48,666	55,189	58,900	63,621	67,162	70,305	73,341	76,448	79,863	84,000	89,956	95,081	105,200
76	50,286	56,920	60,690	65,470	69,088	72,261	75,341	78,477	81,947	86,140	92,166	97,351	107,580
78	51,910	58,654	62,483	67,345	71,002	74,220	77,343	80,523	84,027	88,274	94,374	99,617	109,960
80	53,540	60,391	64,278	69,209	72,920	76,182	79,326	82,568	86,123	90,400	96,578	101,880	112,330
82	55,174	62,132	66,076	71,074	74,828	78,151	81,334	84,608	88,201	92,535	98,780	104,140	114,700
84	56,813	63,876	67,876	72,941	76,756	80,109	83,339	86,651	90,281	94,669	100,980	106,400	117,060
86	58,456	65,623	69,679	74,814	78,667	82,068	85,333	88,682	92,367	96,797	103,180	108,650	119,410
88	60,103	67,373	71,484	76,683	80,593	84,031	87,339	90,723	94,440	98,930	105,370	110,900	121,770
90	61,754	69,126	73,291	78,558	82,513	85,995	89,335	92,763	96,520	101,060	107,570	113,150	124,120
92	63,409	70,882	75,100	80,438	84,436	87,951	91,332	94,802	98,598	103,180	109,760	115,390	126,460
94	65,068	72,640	76,912	82,313	86,352	89,921	93,329	96,840	100,680	105,310	111,940	117,630	128,800
96	66,730	74,401	78,725	84,182	88,283	91,881	95,338	98,877	102,760	107,420	114,130	119,870	131,140
98	68,396	76,164	80,541	86,067	90,206	93,843	97,336	100,910	104,820	109,550	116,320	122,110	133,480
100*	70,065	77,929	82,358	87,946	92,133	95,807	99,335	102,950	106,900	111,660	118,500	124,340	135,810
110	78,458	86,792	91,471	97,358	101,760	105,630	109,330	113,120	117,270	122,250	129,390	135,480	147,410
120	86,923	95,705	100,620	106,810	111,420	115,470	119,330	123,290	127,610	132,810	140,230	146,570	158,950
130	95,451	104,660	109,810	116,260	121,090	125,310	129,340	133,450	137,940	143,340	151,050	157,610	170,420
140	104,030	113,660	119,030	125,760	130,760	135,140	139,320	143,600	148,260	153,850	161,830	168,610	181,840
150	112,670	122,680	128,280	135,210	140,450	144,990	149,340	153,740	158,580	164,350	172,580	179,580	193,210
200	156,430	168,280	174,840	183,000	189,040	194,320	199,330	204,420	209,980	216,590	226,020	233,990	249,450
300	245,970	260,880	269,070	279,210	286,680	293,180	299,330	305,570	312,330	320,390	331,790	341,400	359,910
400	337,160	354,640	364,210	376,020	384,700	392,220	399,330	406,520	414,320	423,580	436,650	447,630	468,720

m	q												
	0,01	0,05	0,10	0,20	0,30	0,40	0,50	0,60	0,70	0,80	0,90	0,95	0,99
500	429,39	449,15	459,93	473,21	482,95	491,37	499,34	507,38	516,09	526,40	540,93	553,13	576,49
600	522,36	544,18	556,06	570,66	581,35	590,60	599,33	608,14	617,66	628,92	644,80	658,09	683,52
800	709,90	735,36	749,19	766,16	778,55	789,25	799,33	809,50	820,48	833,45	851,67	866,91	895,98
1000	898,91	927,59	943,13	962,17	976,07	988,04	999,32	1010,70	1022,90	1037,40	1057,70	1074,70	1107,00

* Для значень в інтервалі $100 < m < 1000$, які не наведені в таблиці, необхідно робити інтерполяцію. Для значень $m > 1000$ необхідно виконувати таку апроксимацію: $\chi_q^2(m) = m \left(1 - \frac{2}{9m} + u_q \sqrt{\frac{2}{9m}}\right)^3$, де u_q — квантиля нормованого нормального розподілу, що наведено у таблиці Д.8.

ДОДАТОК Ж
(рекомендований)

Оцінка показників надійності за DM-розподілу

Ж.1 Обґрунтовують можливість використання DM-розподілу як теоретичного закону розподілу визначуваної випадкової величини згідно з рекомендаціями додатка В.

Ж.2 Встановлюють очікуване значення показника надійності R_0 , який необхідно визначити за результатами випробувань об'єктів (або спостережень під час експлуатації), а також очікуване значення коефіцієнта варіації розподілу наробітку до відмови (ресурсу) v випробуваних об'єктів згідно з рекомендаціями додатка В.

Ж.3 Вибирають план випробувань, приймають значення довірчої імовірності q та відносної похибки ξ згідно з рекомендаціями додатка В, а також встановлюють (в разі потреби) параметр T , регламентовану імовірність $\gamma/100$, очікуваний коефіцієнт варіації тривалості відновлення v_n , наробіток t за оцінки імовірності безвідмовної роботи, відносну тривалість випробувань $x = T/T_{cp}$ (або $h = r/N$).

Ж.4 На основі встановлених вихідних даних визначають число об'єктів випробувань за даними таблиць Ж.1—Ж.6.

Для довільних значень вихідних даних (q , ξ , v , v_n , T , x , h , $\gamma/100$), що не збігаються з табличними, число об'єктів випробувань розраховують за 7.2.2, 7.2.3 цього стандарту.

Ж.5 За результатами випробувань розраховують точкові оцінки параметрів DM-розподілу.

Ж.5.1 За достатньої статистики ($r > 6$) точкові оцінки параметрів DM-розподілу розраховують за формулами таблиці Ж.7.

Ж.5.2 За поодиноких відмов ($r \leq 6$) параметр форми v DM-розподілу визначають згідно з рекомендаціями додатка В, а точкову оцінку параметра масштабу μ розраховують за формулою

$$\hat{\mu} = \sum_{i=1}^m [t_i(1 + \hat{v}^2 u_{i/N}^2 / 2 - \hat{v} u_{i/N}) \sqrt{1 + \frac{\hat{v}^2 u_{i/N}^2}{4}}] / \sum_{i=1}^m i. \quad (\text{Ж.1})$$

Ж.6 Розраховують довірчі границі параметрів DM-розподілу за формулами таблиці Ж.8.

Ж.7 Розраховують точкову оцінку та довірчі границі показника надійності, що визначається, за формулами таблиці Ж.9.

Таблиця Ж.1 — Число об'єктів випробувань N за плану [NUN] для оцінки середніх показників надійності за дифузійного розподілу

ξ	q	Значення N за v							
		0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
0,05	0,80	26	45	71	102	139	181	230	283
	0,90	59	105	164	237	322	421	533	658
	0,95	99	175	274	395	537	702	868	>1000
	0,99	195	347	542	780	>1000	>1000	>1000	>1000
0,10	0,80	6	11	18	26	35	45	58	71
	0,90	15	26	41	59	81	105	133	165
	0,95	25	44	69	99	135	176	222	275
	0,99	49	87	136	195	266	347	439	543
0,15	0,80	3	5	8	11	16	20	26	32
	0,90	7	12	18	26	36	47	59	73
	0,95	11	20	31	44	60	78	99	122
	0,99	22	39	60	87	119	155	196	242
0,20	0,80	2	3	4	6	9	11	14	18
	0,90	4	7	10	15	20	27	34	41
	0,975	9	16	24	35	48	62	79	97

Таблиця Ж.2 — Число об'єктів випробувань N за плану [NUr] для оцінки середніх показників надійності на основі DM-розподілу

h	ξ	q	Значення N за v							
			0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
0,1	0,1	0,9	144	258	406	587	795	1000	1000	1000
		0,8	63	112	174	252	341	445	561	700
	0,2	0,9	36	64	100	142	196	254	328	401
		0,8	16	28	41	61	83	107	137	170

A	ξ	q	Значення N за q							
			0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
0,2	0,1	0,9	70	121	195	282	390	509	647	803
		0,8	31	55	86	121	161	207	268	335
	0,2	0,9	19	32	50	72	96	125	154	189
		0,8	8	14	21	30	42	54	67	82
0,3	0,1	0,9	48	86	133	192	255	337	429	528
		0,8	19	37	57	82	112	147	186	229
	0,2	0,9	12	21	32	47	65	84	107	132
		0,8	5	9	14	20	27	36	45	56

Таблиця Ж.3 — Число об'єктів випробувань N за плану $\{NUT\}$ для оцінки середніх показників надійності на основі ДМ-розподілу

α	ξ	q	Значення N за q						
			0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	
0,3	0,1	0,9	4735	2142	1383	1127	965	921	
		0,8	1973	962	579	451	398	372	
	0,2	0,9	1132	508	334	263	236	224	
		0,8	481	219	141	97	76	84	
0,5	0,1	0,9	325	309	316	324	363	405	
		0,8	147	136	138	146	162	180	
	0,2	0,9	85	79	81	87	93	105	
		0,8	38	35	36	39	42	47	
0,7	0,1	0,9	121	150	175	210	250	291	
		0,8	53	64	77	92	107	125	
	0,2	0,9	31	38	44	53	63	72	
		0,8	14	16	20	23	28	32	

Таблиця Ж.4 — Число об'єктів випробувань N за плану [NUG] для оцінки гамма-відсоткових показників надійності на основі ДМ-розподілу

$\gamma/100$	ξ	q	Значення N за v					
			0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
0,95	0,1	0,9	752	1067	1452	1904	2425	2982
		0,8	323	469	675	832	1047	1288
	0,2	0,9	189	267	371	480	605	752
		0,8	83	116	160	205	257	327
0,90	0,1	0,9	378	537	720	951	1205	1482
		0,8	165	230	315	407	521	633
	0,2	0,9	96	137	183	241	305	372
		0,8	42	60	82	96	133	162

Таблиця Ж.5 — Число об'єктів випробувань N за плану [NUT] для оцінки імовірності безвідмовної роботи $P(t)$ на основі ДМ-розподілу

ξ	$P_0(t)$	Значення N за q і v					
		$q = 0,9$			$q = 0,8$		
		$v = 0,5$	$v = 0,7$	$v = 1,0$	$v = 0,5$	$v = 0,7$	$v = 1,0$
0,1	0,99	3705	7228	14875	941	1817	3719
	0,98	1847	3625	7403	466	907	1827
	0,97	1242	2418	4940	315	625	1251
	0,96	921	1814	3708	236	461	949
	0,95	741	1437	2953	189	372	755
	0,90	376	733	1502	96	187	376
	0,80	190	367	738	47	94	189
0,2	0,99	1606	3135	6412	404	792	1611
	0,98	803	1572	3204	207	392	807
	0,97	534	1025	2128	137	262	531
	0,96	410	785	1608	103	195	402
	0,95	329	625	1281	82	161	330
	0,90	162	313	652	41	81	165
	0,80	81	162	329	21	41	82

Таблиця Ж.6 — Число відмов r за плану [NMг] для оцінки коефіцієнта готовності на основі DM-розподілу

ξ	q	Значення N за v_γ і v					
		$v_\gamma = 0,5$			$v_\gamma = 1,0$		
		$v = 0,5$	$v = 0,7$	$v = 1,0$	$v = 0,5$	$v = 0,7$	$v = 1,0$
0,1	0,9	79	116	192	192	231	297
	0,8	34	49	82	82	95	130
0,2	0,9	19	29	48	48	56	75
	0,8	8	12	20	20	24	32

Таблиця Ж.7 — Формули для розрахунку точкових оцінок параметрів DM-розподілу

План випробування	Розрахункова формула
[NUN]	<p>Максимально-правдоподібні оцінки</p> $\hat{\mu} = \hat{G} + \hat{Q} - (\hat{Q}^2 - \hat{s}\hat{G} + \hat{\sigma}^2)^{1/2};$ $\hat{v} = (\hat{\mu}/\hat{G} + \hat{s}/\hat{\mu} - 2)^{1/2};$ <p>де $\hat{s} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N t_i$; $\hat{G} = N \left(\sum_{i=1}^N t_i^{-1} \right)^{-1}$; $\hat{Q} = N \left[2 \sum_{i=1}^N (\hat{\mu} + t_i)^{-1} \right]^{-1}$.</p> <p>Моментні оцінки</p> $\hat{\mu} = 4\hat{s}/3 - \frac{1}{3} \sqrt{\hat{s}^2 + 3\hat{\sigma}^2};$ $\hat{v} = \hat{\sigma} \sqrt{2} / \sqrt{\hat{s}(\hat{s}^2 + 3\hat{\sigma}^2)^{1/2} + \hat{s}^2 - \hat{\sigma}^2},$ <p>де $\hat{\sigma} = \left[\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (t_i - \hat{s})^2 \right]^{1/2}$</p>
[NMг], [NMT]	За планів випробувань [NMг] і [NMT] вирази для оцінок параметрів такі самі, як і за плану [NUN] із заміною величини N на r або d у виразах для s , σ , G , Q .
[NУг], [NУт], [NУз]	$\begin{cases} 1 + \hat{v}^2 - \frac{2\hat{\mu}\hat{v}^2}{m} \sum_{i=1}^m (\hat{\mu} - t_i)^{-1} - \frac{1}{\hat{\mu}m} \sum_{i=1}^m t_i - \frac{(N-m)\hat{v}\sqrt{t_m} \exp\left[-\frac{(\hat{\mu} - t_m)^2}{2\hat{v}^2 \hat{\mu} t_m}\right]}{m\sqrt{2\pi\hat{\mu}} \Phi\left(\frac{\hat{\mu} - t_m}{\hat{v}\sqrt{\hat{\mu} t_m}}\right)} = 0 \\ 2 + \hat{v}^2 - \frac{1}{\hat{\mu}m} \sum_{i=1}^m t_i - \frac{\hat{\mu}}{m} \sum_{i=1}^m t_i^{-1} - \frac{(N-m)\hat{\mu} t_m \exp\left[-\frac{(\hat{\mu} - t_m)^2}{2\hat{v}^2 \hat{\mu} t_m}\right]}{m\sqrt{2\pi t_m} \Phi\left(\frac{\hat{\mu} - t_m}{\hat{v}\sqrt{\hat{\mu} t_m}}\right)} = 0 \end{cases}$

Таблиця Ж.8 — Формули для розрахунку довірчих границь параметрів для дифузійних розподілів

План випробування	НДГ рівня q	ВДГ рівня q
[NUN]	$\mu = \hat{\mu} \left[1 + \frac{\hat{v}^2 u_q^2}{2N} - \frac{\hat{v} u_q}{2\sqrt{N}} \left(4 + \frac{\hat{v}^2 u_q^2}{N} \right)^{1/2} \right]$ $\bar{v} = \hat{v} \left\{ 1 + \frac{(1 + 2\hat{v}^2) u_q^2}{4N} - \right.$ $\left. - \frac{u_q}{4N} \sqrt{[8N + (1 + 2\hat{v}^2) u_q^2](1 + 2\hat{v}^2)} \right\}$	$\bar{\mu} = \hat{\mu} \left[1 + \frac{\hat{v}^2 u_q^2}{2N} + \frac{\hat{v} u_q}{2\sqrt{N}} \left(4 + \frac{\hat{v}^2 u_q^2}{N} \right)^{1/2} \right]$ $\bar{v} = \hat{v} \left\{ 1 + \frac{(1 + 2\hat{v}^2) u_q^2}{4N} + \right.$ $\left. + \frac{u_q}{4N} \sqrt{[8N + (1 + 2\hat{v}^2) u_q^2](1 + 2\hat{v}^2)} \right\}$
[NUT] [NUz]	$\mu = \hat{\mu} \left[1 + \frac{\hat{v}^2 u_q^2}{2m} - \frac{\hat{v} u_q}{2\sqrt{m}} \left(4 + \frac{\hat{v}^2 u_q^2}{m} \right)^{1/2} \right]$ $\bar{v} = \hat{v} \left\{ 1 + \frac{(1 + 2\hat{v}^2) u_q^2}{4m} - \right.$ $\left. - \frac{u_q}{4m} \sqrt{[8m + (1 + 2\hat{v}^2) u_q^2](1 + 2\hat{v}^2)} \right\}$	$\bar{\mu} = \hat{\mu} \left[1 + \frac{\hat{v}^2 u_q^2}{2m} + \frac{\hat{v} u_q}{2\sqrt{m}} \left(4 + \frac{\hat{v}^2 u_q^2}{m} \right)^{1/2} \right]$ $\bar{v} = \hat{v} \left\{ 1 + \frac{(1 + 2\hat{v}^2) u_q^2}{4m} + \right.$ $\left. + \frac{u_q}{4m} \sqrt{[8m + (1 + 2\hat{v}^2) u_q^2](1 + 2\hat{v}^2)} \right\}$

Таблиця Ж.9 — Формули для розрахунку оцінок показників надійності для DM-розподілу

Показник надійності	Точкова оцінка	НДГ рівня q	ВДГ рівня q
Середній наробіток до відмови (на відмову), середній ресурс (термін служби, термін збережуваності), середня тривалість відновлення	$\hat{\mu}(1 + \hat{v}^2/2)$	$\underline{\mu}(1 + \underline{v}^2/2)$	$\bar{\mu}(1 + \bar{v}^2/2)$
Гамма-відсотковий наробіток до відмови, гамма-відсотковий ресурс (термін служби, термін збережуваності)	$\hat{\mu} \left(1 + \frac{\hat{v}^2 u_q^2}{2} - \hat{v} u_q \sqrt{1 + \frac{\hat{v}^2 u_q^2}{4}} \right)$	$\underline{\mu} \left(1 + \frac{\underline{v}^2 u_q^2}{2} - \underline{v} u_q \sqrt{1 + \frac{\underline{v}^2 u_q^2}{4}} \right)$	$\bar{\mu} \left(1 + \frac{\bar{v}^2 u_q^2}{2} - \bar{v} u_q \sqrt{1 + \frac{\bar{v}^2 u_q^2}{4}} \right)$
Імовірність безвідмовної роботи за наробіток t	$\Phi \left(\frac{\hat{\mu} - t}{\hat{v} \sqrt{\hat{\mu} t}} \right)$	$\Phi \left(\frac{\underline{\mu} - t}{\underline{v} \sqrt{\underline{\mu} t}} \right)$	$\Phi \left(\frac{\bar{\mu} - t}{\bar{v} \sqrt{\bar{\mu} t}} \right)$
Коефіцієнт готовності	$(1 + \hat{\rho})^{-1}$	$(1 + \underline{\rho})^{-1}$	$(1 + \bar{\rho})^{-1}$

Примітка. $\hat{\rho} = \hat{r}_0 / \hat{r}_0$; $\bar{\rho}(\underline{\rho}) = \hat{\rho} \left\{ 1 + \frac{(\hat{v}^2 + \hat{v}_0^2) u_q}{2m} \pm \frac{u_q}{2} \sqrt{\frac{(\hat{v}^2 + \hat{v}_0^2)}{m} \left[4 + \frac{(\hat{v}^2 + \hat{v}_0^2) u_q^2}{m} \right]} \right\}$

ДОДАТОК К
(рекомендований)

Оцінка показників надійності за DN-розподілу

К.1 Обґрунтовують можливість використання DN-розподілу як теоретичного закону розподілу визначуваної випадкової величини згідно з рекомендаціями додатка В.

К.2 Встановлюють очікуване значення показника надійності R_0 , який необхідно визначити за результатами випробувань об'єктів (або спостережень під час експлуатації), а також очікуване значення коефіцієнта варіації розподілу наробітку до відмови /ресурсу/ v випробуваних об'єктів згідно з рекомендаціями додатка В.

К.3 Вибирають план випробувань, приймають значення довірчої імовірності q та відносної похибки ξ згідно з рекомендаціями додатка В, а також встановлюють (в разі потреби) параметр T , регламентовану імовірність $\gamma/100$, очікуваний коефіцієнт варіації часу відновлення v_0 , наробіток t за оцінки імовірності безвідмовної роботи, відносну тривалість випробувань $x = T_n/T_{cp}$ (або $h = \tau / N$).

К.4 На основі встановлених вихідних даних визначають число об'єктів випробувань за даними таблиці Ж.1 і таблиць К.1—К.6.

Для довільних значень вихідних даних ($q, \xi, v, v_0, T, x, h, \gamma/100$), що не збігаються з табличними, число об'єктів випробувань розраховують за 7.2.2, 7.2.3 цього стандарту

К.5 За результатами випробувань розраховують точкові оцінки параметрів DN-розподілу.

К.5.1 За достатньої статистики ($r > 6$) точкові оцінки параметрів DN-розподілу розраховують за формулами таблиці К.6.

К.5.2 За поодиноких відмов ($r \leq 6$) параметр форми v DN-розподілу, що дорівнює коефіцієнту варіації розподілу наробітку до відмови (на відмову), визначають наближено згідно з рекомендаціями додатка В, а точкову оцінку параметра масштабу μ розраховують за формулою

$$\hat{\mu} = \left[\sum_{i=1}^m i t_i / x(i/N; \hat{v}) \right] / \left(\sum_{i=1}^m i \right), \quad (\text{К.1})$$

де $x(i/N; v)$ визначають з таблиць функції DN-розподілу за значеннями $F = i/N$ і v , або розв'язуючи рівняння

$$\Phi\left(\frac{x-1}{v\sqrt{x}}\right) + e^{2/v^2} \Phi\left(-\frac{x+1}{v\sqrt{x}}\right) = i/N. \quad (\text{К.2})$$

К.6 Розраховують довірчі границі параметрів розподілу за формулами таблиці Ж.8.

К.7 Розраховують точкову оцінку та довірчі границі показника надійності, що визначається, за формулами таблиці К.7.

Таблиця К.1 — Число об'єктів випробувань N за плану [NUr] для оцінки середніх показників надійності на основі DN-розподілу

λ	ξ	q	Значення N за v							
			0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
0,1	0,1	0,9	149	264	413	594	808	1055	1335	1647
		0,8	65	115	178	257	349	455	576	711
	0,2	0,9	38	67	105	150	204	266	337	416
		0,8	17	30	46	65	89	115	146	180
0,2	0,1	0,9	75	133	207	297	404	528	668	824
		0,8	33	58	90	129	175	228	288	356
	0,2	0,9	20	34	53	76	102	134	169	208
		0,8	9	15	23	33	45	58	73	90
0,3	0,1	0,9	50	89	138	198	270	352	445	550
		0,8	20	39	60	86	117	152	193	238
	0,2	0,9	13	23	35	51	69	89	113	139
		0,8	6	10	16	22	30	39	49	61

Таблиця К.2 — Число об'єктів випробувань N за плану [NUT] для оцінки середніх показників надійності на основі DN-розподілу.

λ	ξ	q	Значення N за v					
			0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
0,3	0,1	0,9	4868	2239	1479	1181	1050	994
		0,8	2100	966	638	510	453	429
	0,2	0,9	1227	565	373	298	265	251
		0,8	530	244	161	129	115	109
0,5	0,1	0,9	369	346	354	378	411	452
		0,8	160	150	153	163	178	195
	0,2	0,9	94	88	90	96	104	115
		0,8	41	38	39	42	45	50

Закінчення таблиці К.2

α	ξ	q	Значення N за v					
			0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
0,7	0,1	0,9	134	163	196	233	275	320
		0,8	58	71	85	101	119	139
	0,2	0,9	34	42	50	59	70	81
		0,8	15	18	22	26	31	36

Таблиця К.3 — Число об'єктів випробувань N за плану [NUG] для оцінки гамма-відсоткових показників надійності на основі DN-розподілу

$\gamma/100$	ξ	q	Значення N за v					
			0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
0,95	0,1	0,9	824	1186	1615	2109	2668	3294
		0,8	356	512	697	910	1151	1421
	0,2	0,9	208	299	407	532	675	830
		0,8	90	130	176	230	291	359
0,90	0,1	0,9	413	594	808	1055	1335	1647
		0,8	178	257	349	455	576	711
	0,2	0,9	105	150	204	266	337	416
		0,8	46	65	89	115	146	180

Таблиця К.4 — Число об'єктів випробувань N за плану [NUT] для оцінки імовірності безвідмовної роботи $P(t)$ на основі DN-розподілу

ξ	$P_0(t)$	Значення N за q і v					
		$q = 0,9$			$q = 0,8$		
		$v = 0,5$	$v = 0,7$	$v = 1,0$	$v = 0,5$	$v = 0,7$	$v = 1,0$
0,1	0,99	4117	8069	16466	1037	2032	4147
	0,98	2059	4035	8233	519	1016	2047
	0,97	1373	2690	5489	346	678	1383
	0,96	1030	2018	4117	260	508	1037
	0,95	824	1614	3294	208	407	830
	0,90	412	807	1647	104	204	415
	0,80	206	404	824	52	102	208

ξ	$P_0(\nu)$	Значення N за q і ν					
		$q = 0,9$			$q = 0,8$		
		$\nu = 0,5$	$\nu = 0,7$	$\nu = 1,0$	$\nu = 0,5$	$\nu = 0,7$	$\nu = 1,0$
0,2	0,99	1776	3480	7101	448	877	1789
	0,98	888	1740	3551	224	439	895
	0,97	592	1160	2367	150	293	597
	0,96	444	870	1776	112	220	448
	0,95	356	696	1421	90	176	358
	0,90	178	348	711	45	88	179
	0,80	89	174	356	23	44	90

Таблиця К.5 — Число відмов r за плану [NM r] для оцінки коефіцієнта готовності на основі DN-розподілу

ξ	θ	Значення r за ν і ν_0					
		$\nu_0 = 0,5$			$\nu_0 = 1,0$		
		$\nu = 0,5$	$\nu = 0,7$	$\nu = 1,0$	$\nu = 0,5$	$\nu = 0,7$	$\nu = 1,0$
0,1	0,9	83	122	206	206	246	330
	0,8	36	53	89	89	106	143
0,2	0,9	21	31	52	52	62	83
	0,8	9	14	23	23	27	36

Таблиця К.6 — Формули для розрахунку точкових оцінок параметрів для DN-розподілу

План випробування	Розрахункова формула
[NUN]	Максимально-правдоподібні оцінки $\hat{\mu} = \hat{s}; \hat{\sigma} = (\hat{s}/\hat{\theta} - 1)^{1/2}; \hat{s} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N u_i; \hat{\theta} = N \left(\sum_{i=1}^N u_i^{-1} \right)^{-1}$
	Моментні оцінки $\hat{\mu} = \hat{s}; \hat{\sigma} = \hat{s}/\hat{s}; \hat{\theta} = \left(\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (u_i - \hat{s})^2 \right)^{1/2}$
[NMГ], [NMT]	За планів випробувань [NMГ] і [NMT] вирази для оцінок параметрів такі самі, як і за плану [NUN] із заміною величини N на r або d у виразах \hat{s} , $\hat{\theta}$, \hat{G}
[NУГ], [NУТ], [NУЗ]	$1 - \frac{\sum_{i=1}^m u_i}{\hat{\mu} m} - \frac{2(N-m) \exp\left(\frac{2}{\hat{\sigma}^2}\right) \Phi\left(-\frac{\hat{\mu} + t_m}{\hat{\sigma} \sqrt{\hat{\mu} t_m}}\right)}{m \left[\Phi\left(\frac{\hat{\mu} - t_m}{\hat{\sigma} \sqrt{\hat{\mu} t_m}}\right) - \exp\left(\frac{2}{\hat{\sigma}^2}\right) \Phi\left(-\frac{\hat{\mu} + t_m}{\hat{\sigma} \sqrt{\hat{\mu} t_m}}\right) \right]} = 0$ $\hat{\sigma}^2 + \frac{\sum_{i=1}^m u_i}{\hat{\mu} m} - \frac{\hat{\mu} \sum_{i=1}^m u_i^{-1}}{m} + \frac{2\hat{\sigma}(N-m)\sqrt{\hat{\mu}} \exp\left[-\frac{(\hat{\mu} - t_m)^2}{2\hat{\sigma}^2 \hat{\mu} t_m}\right]}{m \sqrt{2\pi t_m} \left[\Phi\left(\frac{\hat{\mu} - t_m}{\hat{\sigma} \sqrt{\hat{\mu} t_m}}\right) - \exp\left(\frac{2}{\hat{\sigma}^2}\right) \Phi\left(-\frac{\hat{\mu} + t_m}{\hat{\sigma} \sqrt{\hat{\mu} t_m}}\right) \right]} = 0$

Таблиця К.7 — Формули для розрахунку оцінок показників надійності для DN-розподілу

Показник надійності	Точкова оцінка	ННГ рівня q	ВНГ рівня q
Середній наробіток до відмови (на відмову), середній ресурс (термін служби, термін зберезуваності), середня тривалість відновлення	$\hat{\mu}$	$\underline{\mu}$	$\bar{\mu}$
Гамма-відсотковий наробіток до відмови, гамма-відсотковий ресурс (термін служби, термін зберезуваності)	$\hat{\mu}x(1 - \gamma/100; \hat{\nu})$	$\underline{\mu}x(1 - \gamma/100; \bar{\nu})$	$\bar{\mu}x(1 - \gamma/100; \nu)$
Імовірність безвідмовної роботи за наробіток t	$\Phi\left(\frac{\hat{\mu} - t}{\hat{\nu}\sqrt{\hat{\mu}t}}\right) - e^{2/\hat{\nu}^2} \Phi\left(-\frac{\hat{\mu} + t}{\hat{\nu}\sqrt{\hat{\mu}t}}\right)$	$\Phi\left(\frac{\underline{\mu} - t}{\bar{\nu}\sqrt{\underline{\mu}t}}\right) - e^{2/\bar{\nu}^2} \Phi\left(-\frac{\underline{\mu} + t}{\bar{\nu}\sqrt{\underline{\mu}t}}\right)$	$\Phi\left(\frac{\bar{\mu} - t}{\nu\sqrt{\bar{\mu}t}}\right) - e^{2/\nu^2} \Phi\left(-\frac{\bar{\mu} + t}{\nu\sqrt{\bar{\mu}t}}\right)$
Коефіцієнт готовності	$(1 + \hat{\rho})^{-1}$	$(1 + \bar{\rho})^{-1}$	$(1 + \rho)^{-1}$

Примітка. Оцінки $\hat{\rho}$, $\bar{\rho}$, ρ за формулами таблиці Ж.9

ДОДАТОК Л (рекомендований)

Оцінки показників надійності за логарифмічно нормального розподілу

Л.1 Обґрунтовують можливість використання логарифмічно нормального розподілу як теоретичного закону розподілу визначуваної випадкової величини згідно з рекомендаціями додатка В.

Л.2 Встановлюють очікуване значення показника надійності R_0 , який необхідно визначити за результатами випробувань об'єктів (або спостережень під час експлуатації), а також очікуване значення коефіцієнта варіації розподілу наробітку до відмови (ресурсу) v випробуваних об'єктів згідно з рекомендаціями додатка В.

Л.3 Вибирають план випробувань. Ця методика встановлює методи оцінки показників надійності (середнього наробітку до відмови, середнього ресурсу, гамма-відсоткових показників та імовірності безвідмовної роботи) для таких планів: {NUN}, {NUT}, {NUz}.

Приймають значення довірчої імовірності q та відносної похибки ξ згідно з рекомендаціями додатка В, а також встановлюють (в разі потреби) параметр T , регламентовану імовірність $\gamma/100$, наробіток t за оцінки імовірності безвідмовної роботи.

Л.4 На основі встановлених вихідних даних визначають число об'єктів випробувань за даними таблиць Л.1—Л.3.

Для довільних значень вихідних даних (q , ξ , v , $\gamma/100$), що не збігаються з табличними, число об'єктів випробувань розраховують за 7.2.2, 7.2.3 цього стандарту.

Л.5 За результатами випробувань розраховують точкові оцінки та довірчі границі параметрів μ і σ за формулами таблиці Л.4.

Примітка. Квантил та допоміжні функції, необхідні для розрахунку, слід вибирати з даних таблиць Д.5, Л.7—Л.11.

Л.6 Точкові оцінки та довірчі границі розраховують за формулами таблиці Л.5 з використанням даних таблиць Л.7—Л.11.

Таблиця Л.1 — Число об'єктів випробувань N за плану {NUN} для оцінки середнього показника надійності за логарифмічно нормального розподілу

ξ	q	Значення N за v						
		0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
0,05	0,80	40	65	100	125	150	200	250
	0,90	100	150	250	315	400	500	650
	0,95	150	250	400	500	650	800	1000
	0,99	315	500	800	>1000	>1000	>1000	>1000
0,10	0,80	10	20	25	32	40	50	65
	0,90	25	40	65	80	100	125	150
	0,95	40	65	100	125	150	200	250
	0,99	80	125	200	250	315	400	500
0,15	0,80	5	8	10	15	20	25	32
	0,90	13	20	25	40	50	50	65
	0,95	20	32	40	50	80	100	100
	0,99	40	50	80	125	150	200	200
0,20	0,80	3	4	6	8	10	15	20
	0,90	6	10	15	20	25	32	40
	0,95	10	15	25	32	40	50	65
	0,99	20	32	50	65	80	100	125

Таблиця Л.2 — Число об'єктів випробувань N за плану {NUN} для оцінки гамма-відсоткових показників надійності за логарифмічно нормального розподілу ($\gamma\% = 80\%$)

ξ	q	Значення N за v						
		0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
0,05	0,80	85	129	178	231	287	344	402
	0,90	200	300	413	536	665	798	932
	0,95	329	494	681	883	>1000	>1000	>1000
	0,99	658	989	>1000	>1000	>1000	>1000	>1000
0,10	0,80	22	32	45	58	72	86	100
	0,90	50	75	103	134	166	199	233
	0,95	82	123	170	221	274	328	384
	0,99	164	247	341	442	548	658	768

Закінчення таблиці Л.2

ξ	q	Значення N за v						
		0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
0,15	0,80	10	14	20	26	32	38	45
	0,90	22	33	46	60	74	89	104
	0,95	37	55	76	98	122	146	170
	0,99	73	110	151	196	244	292	341
0,20	0,80	5	8	11	14	18	22	25
	0,90	12	19	26	34	42	50	58
	0,95	21	31	43	55	68	82	96
	0,99	41	62	85	110	137	164	192

Таблиця Л.3 — Число об'єктів випробувань N за плану [NUN] для оцінки гамма-відсоткових показників надійності за логарифмічно нормального розподілу ($\gamma\% = 70\%$)

ξ	q	Значення N за v						
		0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
0,05	0,80	123	185	255	331	410	492	575
	0,90	285	429	591	767	951	>1000	>1000
	0,95	470	706	973	>1000	>1000	>1000	>1000
	0,99	941	>1000	>1000	>1000	>1000	>1000	>1000
0,10	0,80	31	46	64	83	103	123	144
	0,90	71	107	148	192	238	285	333
	0,95	117	177	243	316	391	469	548
	0,99	235	354	487	632	784	940	1000
0,15	0,80	14	21	28	37	46	55	64
	0,90	32	48	66	85	106	127	148
	0,95	52	78	107	140	174	209	244
	0,99	105	157	217	281	348	418	488
0,20	0,80	8	12	16	21	26	31	36
	0,90	18	27	37	48	59	71	83
	0,95	29	44	61	79	98	117	137
	0,99	59	88	122	158	196	235	275

Таблиця Л.4 — Формули для розрахунку точкових оцінок і довірчих границь параметрів μ і σ для логарифмічно нормального розподілу

План випробування	Точкова оцінка	НДГ рівня q	ВДГ рівня q
[NUN]	$\hat{\mu} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \ln t_i$ $\hat{\sigma} = \left[\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (\ln t_i - \hat{\mu})^2 \right]^{\frac{1}{2}}$	$\underline{\mu} = \hat{\mu} - t_q(N) \hat{\sigma} / \sqrt{N}$ $\underline{\sigma} = \hat{\sigma} \sqrt{\frac{N-1}{x_q^2(N-1)}}$	$\bar{\mu} = \hat{\mu} + t_q(N) \hat{\sigma} / \sqrt{N}$ $\bar{\sigma} = \hat{\sigma} \sqrt{\frac{N-1}{x_{1-q}^2(N-1)}}$
[NUT]	$\hat{\mu} = K \hat{\sigma} + \ln T$ $\hat{\sigma} = \frac{h \sum_{i=1}^m (\ln T - \ln t_i)}{[(1-h)f_1(K) - hK] m}$ $h = m/N,$ $w = m \frac{\sum_{i=1}^m (\ln t_i - \ln T)^2}{\left[\sum_{i=1}^m (\ln t_i - \ln T) \right]^2}$	$\underline{\mu} = \hat{\mu} - U_q \hat{\sigma} \sqrt{\frac{f_2(K)}{N}}$ $\underline{\sigma} = \hat{\sigma} - U_q \hat{\sigma} \sqrt{\frac{f_3(K)}{N}}$	$\bar{\mu} = \hat{\mu} + u_q \hat{\sigma} \sqrt{\frac{f_2(K)}{N}}$ $\bar{\sigma} = \hat{\sigma} + u_q \hat{\sigma} \sqrt{\frac{f_3(K)}{N}}$

План випробування	Точкова оцінка	НДГ рівня q	ВДГ рівня q
[NUR]	$\hat{\mu} = K \hat{\sigma} + \ln t_r$ $\hat{\sigma} = \frac{h \sum_{i=1}^r (\ln t_r - \ln t_i)}{r[(1-h)f_1(K) - hK]}$ $h = r/N;$ $\omega = r \frac{\sum_{i=1}^r (\ln t_i - \ln t_r)^2}{[\sum_{i=1}^r (\ln t_i - \ln t_r)]^2}$	$\underline{\mu} = \hat{\mu} - u_q \hat{\sigma} \sqrt{\frac{f_2(K)}{N}}$ $\underline{\sigma} = \hat{\sigma} - u_q \hat{\sigma} \sqrt{\frac{f_3(K)}{N}}$	$\bar{\mu} = \hat{\mu} + u_q \hat{\sigma} \sqrt{f_2(K)/N}$ $\bar{\sigma} = \hat{\sigma} + u_q \hat{\sigma} \sqrt{f_3(K)/N}$

Таблиця Л.5 — Формули для розрахунку оцінок показників надійності для логарифмічно нормального розподілу

Показник надійності	Точкова оцінка	НДГ рівня q	ВДГ рівня q
Середній наробіток до відмови, середній ресурс (термін служби, термін збережуваності)	$\exp(\hat{\mu} + \frac{\hat{\sigma}^2}{2})$	$\exp(\underline{\mu} + \frac{\sigma^2}{2})$	$\exp(\bar{\mu} + \frac{\sigma^2}{2})$
Гамма-відсотковий наробіток до відмови, гамма-відсотковий ресурс (термін служби, термін збережуваності)	$\exp(\hat{\mu} + u_{1-\gamma}^{\hat{\sigma}} \frac{\hat{\sigma}}{100})$	$\exp(\underline{\mu} + u_{1-\gamma}^{\sigma} \frac{\sigma}{100})$	$\exp(\bar{\mu} + u_{1-\gamma}^{\sigma} \frac{\sigma}{100})$
Імовірність безвідмовної роботи за наробіток t	$\Phi(\frac{\hat{\mu} - \ln t}{\hat{\sigma}})$	$\Phi(\frac{\underline{\mu} - \ln t}{\sigma})$	$\Phi(\frac{\bar{\mu} - \ln t}{\sigma})$

Таблиця Л.6 — Значення коефіцієнта K для цензурованої вибірки

ω	$h = 0,5$	$h = 0,6$	$h = 0,7$	$h = 0,8$
1,00	-0,178	-0,523	-0,943	-1,537
1,02	-0,168	-0,505	-0,909	-1,463
1,04	-0,158	-0,488	-0,877	-1,398
1,06	-0,149	-0,472	-0,849	-1,340
1,08	-0,140	-0,457	-0,822	-1,289
1,10	-0,132	-0,443	-0,797	-1,242
1,12	-0,124	-0,429	-0,774	-1,200
1,14	-0,116	-0,416	-0,753	-1,162
1,16	-0,108	-0,404	-0,733	-1,127
1,18	-0,099	-0,393	-0,714	-1,094
1,20	-0,094	-0,382	-0,696	-1,064
1,22	-0,087	-0,371	-0,679	-1,036
1,24	-0,081	-0,361	-0,663	-1,010
1,26	-0,075	-0,352	-0,648	-0,986
1,28	-0,063	-0,343	-0,634	-0,963
1,30	-0,063	-0,334	-0,620	-0,941
1,32	-0,058	-0,325	-0,607	-0,921
1,34	-0,052	-0,317	-0,595	-0,902
1,36	-0,047	-0,309	-0,583	-0,884
1,38	-0,042	-0,301	-0,572	-0,866
1,40	-0,037	-0,294	-0,561	-0,850
1,42	-0,032	-0,287	-0,550	-0,834
1,44	-0,027	-0,280	-0,540	-0,819
1,46	-0,023	-0,273	-0,530	-0,805
1,48	-0,019	-0,267	-0,521	-0,792
1,50	-0,014	-0,271	-0,512	-0,779
1,52	-0,010	-0,255	-0,503	-0,766
1,54	-0,006	-0,248	-0,495	-0,754
1,56	-0,002	-0,243	-0,487	-0,742

ω	$h = 0,5$	$h = 0,6$	$h = 0,7$	$h = 0,8$
1,58	-0,002	-0,238	-0,479	-0,731
1,60	-0,006	-0,232	-0,471	-0,721
1,70	-0,023	-0,207	-0,437	-0,637
1,80	-0,039	-0,186	-0,407	-0,631
1,90	-0,053	-0,166	-0,380	-0,596
2,00	-0,066	-0,149	-0,357	-0,565
2,10	-0,077	-0,133	-0,336	-0,538
2,20	-0,088	-0,119	-0,317	-0,513
2,30	-0,098	-0,105	-0,300	-0,491
2,40	-0,107	-0,093	-0,284	-0,471
2,50	-0,116	-0,082	-0,270	-0,453
2,60	-0,124	-0,072	-0,257	-0,436
2,70	-0,131	-0,062	-0,244	-0,421
2,80	-0,138	-0,053	-0,233	-0,406
2,90	-0,145	-0,044	-0,222	-0,393
3,00	-0,151	-0,036	-0,212	-0,318

Таблиця Л.7 — Значення допоміжних функцій $f_1(K)$, $f_2(K)$, $f_3(K)$

K	$f_1(K)$	$f_2(K)$	$f_3(K)$	K	$f_1(K)$	$f_2(K)$	$f_3(K)$
-3,0	3,283	1,000	0,501	-0,5	1,141	1,147	0,833
-2,9	3,190	1,000	0,502	-0,4	1,069	1,189	0,891
-2,8	3,098	1,000	0,502	-0,3	0,998	1,243	0,959
-2,7	3,006	1,000	0,503	-0,2	0,929	1,312	1,039
-2,6	2,914	1,000	0,504	-0,1	0,863	1,401	1,132
-2,5	2,823	1,001	0,505	0,0	0,798	1,517	1,241
-2,4	2,732	1,001	0,507	0,1	0,735	1,667	1,370
-2,3	2,641	1,001	0,509	0,2	0,675	1,863	1,523
-2,2	2,552	1,001	0,512	0,3	0,617	2,118	1,704
-2,1	2,462	1,002	0,515	0,4	0,562	2,453	1,919
-2,0	2,373	1,003	0,519	0,5	0,509	2,893	2,178
-1,9	2,285	1,004	0,524	0,6	0,459	3,473	2,488
-1,8	2,197	1,005	0,530	0,7	0,412	4,241	2,863
-1,7	2,110	1,006	0,537	0,8	0,368	5,261	3,319
-1,6	2,024	1,009	0,546	0,9	0,326	6,623	3,876
-1,5	1,939	1,011	0,556	1,0	0,288	8,448	4,561
-1,4	1,854	1,015	0,568	1,1	0,252	10,90	5,408
-1,3	1,770	1,019	0,583	1,2	0,219	14,22	6,462
-1,2	1,688	1,025	0,600	1,3	0,190	18,73	7,780
-1,1	1,606	1,032	0,620	1,4	0,163	24,89	9,442
-1,0	1,525	1,042	0,643	1,5	0,139	33,34	11,55
-0,9	1,446	1,054	0,671	1,6	0,117	44,99	14,24
-0,8	1,367	1,069	0,702	1,7	0,098	61,13	17,71
-0,7	1,290	1,089	0,740	1,8	0,082	83,64	22,19
-0,6	1,215	1,114	0,783	1,9	0,068	115,2	28,05
-0,5	1,141	1,147	0,833	2,0	0,055	159,7	35,74

2 Таблица Л.8 — Значення функції розподілу $\Phi(u)$ нормованого нормального розподілу

u	0,00	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09
0,0	0,5000	0,5040	0,5080	0,5120	0,5160	0,5199	0,5239	0,5279	0,5319	0,5359
0,1	0,5398	0,5438	0,5478	0,5517	0,5557	0,5596	0,5636	0,5675	0,5714	0,5753
0,2	0,5793	0,5832	0,5871	0,5910	0,5948	0,5987	0,6026	0,6064	0,6103	0,6141
0,3	0,6179	0,6217	0,6255	0,6293	0,6331	0,6368	0,6406	0,6443	0,6480	0,6517
0,4	0,6554	0,6591	0,6628	0,6664	0,6700	0,6736	0,6772	0,6808	0,6844	0,6879
0,5	0,6915	0,6950	0,6985	0,7019	0,7054	0,7088	0,7123	0,7157	0,7190	0,7224
0,6	0,7257	0,7291	0,7324	0,7357	0,7389	0,7422	0,7454	0,7486	0,7517	0,7549
0,7	0,7580	0,7611	0,7642	0,7673	0,7704	0,7734	0,7764	0,7794	0,7823	0,7852
0,8	0,7881	0,7910	0,7939	0,7967	0,7995	0,8023	0,8051	0,8079	0,8106	0,8133
0,9	0,8159	0,8186	0,8212	0,8238	0,8264	0,8289	0,8315	0,8340	0,8365	0,8389
1,0	0,8413	0,8438	0,8461	0,8485	0,8508	0,8531	0,8554	0,8577	0,8599	0,8621
1,1	0,8643	0,8665	0,8686	0,8708	0,8729	0,8749	0,8770	0,8790	0,8810	0,8830
1,2	0,8849	0,8869	0,8888	0,8907	0,8925	0,8944	0,8962	0,8980	0,8997	0,9015
1,3	0,9032	0,9049	0,9066	0,9082	0,9099	0,9115	0,9131	0,9147	0,9162	0,9177
1,4	0,9192	0,9207	0,9222	0,9236	0,9251	0,9265	0,9279	0,9292	0,9306	0,9319
1,5	0,9332	0,9345	0,9357	0,9370	0,9382	0,9394	0,9406	0,9418	0,9429	0,9441
1,6	0,9452	0,9463	0,9474	0,9484	0,9495	0,9505	0,9515	0,9525	0,9535	0,9545
1,7	0,9554	0,9564	0,9573	0,9582	0,9591	0,9599	0,9608	0,9616	0,9625	0,9633
1,8	0,9641	0,9649	0,9656	0,9664	0,9671	0,9678	0,9686	0,9693	0,9699	0,9706
1,9	0,9713	0,9719	0,9726	0,9732	0,9738	0,9744	0,9750	0,9756	0,9761	0,9767
2,0	0,9773	0,9778	0,9783	0,9788	0,9793	0,9798	0,9803	0,9808	0,9812	0,9817
2,1	0,9821	0,9826	0,9830	0,9834	0,9838	0,9842	0,9846	0,9850	0,9854	0,9857
2,2	0,9861	0,9864	0,9868	0,9871	0,9875	0,9878	0,9881	0,9884	0,9887	0,9890
2,3	0,9893	0,9896	0,9898	0,9901	0,9904	0,9906	0,9909	0,9911	0,9913	0,9916
2,4	0,9918	0,9920	0,9922	0,9925	0,9927	0,9929	0,9931	0,9932	0,9934	0,9936
2,5	0,9938	0,9940	0,9941	0,9943	0,9945	0,9946	0,9948	0,9949	0,9951	0,9952

#	0,00	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09
2,6	0,9953	0,9955	0,9956	0,9957	0,9959	0,9960	0,9961	0,9962	0,9963	0,9964
2,7	0,9965	0,9966	0,9967	0,9968	0,9969	0,9970	0,9971	0,9972	0,9973	0,9974
2,8	0,9974	0,9975	0,9976	0,9977	0,9977	0,9978	0,9979	0,9979	0,9980	0,9981
2,9	0,9981	0,9982	0,9983	0,9983	0,9984	0,9985	0,9985	0,9986	0,9986	0,9986
3,0	0,9987	0,9987	0,9987	0,9988	0,9988	0,9989	0,9989	0,9989	0,9990	0,9990

8 Таблица Л.9 — Квантили $t_q(m)$ t -розподілу

m	Значення $t_q(m)$ t -розподілу для односторонньої довірчої імовірності q								
	0,75	0,90	0,95	0,975	0,990	0,995	0,9975	0,999	0,9995
1	1,0000	3,0777	6,3138	12,7062	31,8205	63,6567	127,3213	318,3088	636,6192
2	0,8165	1,8856	2,9200	4,3027	6,9646	9,9248	14,0890	22,3271	31,5991
3	0,7649	1,6377	2,3534	3,1824	4,5407	5,8409	7,4533	10,2145	12,9240
4	0,7407	1,5332	2,1318	2,7764	3,7469	4,6041	5,5976	7,1732	8,6108
5	0,7267	1,4759	2,0150	2,5706	3,3649	4,0321	4,7733	5,8934	6,8688
6	0,7176	1,4398	1,9432	2,4469	3,1427	3,7074	4,3168	5,2076	5,9588
7	0,7111	1,4149	1,8946	2,3646	2,9980	3,4995	4,0293	4,7853	5,4079
8	0,7064	1,3968	1,8595	2,3060	2,8965	3,3554	3,8325	4,5008	5,0413
9	0,7027	1,3830	1,8331	2,2622	2,8214	3,2498	3,6897	4,2968	4,7809
10	0,6998	1,3722	1,8125	2,2281	2,7638	3,1693	3,5814	4,1437	4,5869
11	0,6974	1,3634	1,7959	2,2010	2,7181	3,1058	3,4966	4,0247	4,4370
12	0,6955	1,3562	1,7823	2,1788	2,6810	3,0545	3,4284	3,9296	4,3178
13	0,6938	1,3502	1,7709	2,1604	2,6503	3,0123	3,3725	3,8520	4,2208
14	0,6924	1,3450	1,7613	2,1448	2,6245	2,9768	3,3257	3,7874	4,1405
15	0,6912	1,3406	1,7530	2,1314	2,6025	2,9467	3,2860	3,7328	4,0728
16	0,6901	1,3368	1,7459	2,1199	2,5835	2,9208	3,2520	3,6862	4,0150
17	0,6892	1,3334	1,7396	2,1098	2,5669	2,8982	3,2224	3,6458	3,9651
18	0,6884	1,3304	1,7341	2,1009	2,5524	2,8784	3,1966	3,6105	3,9216
19	0,6876	1,3277	1,7291	2,0930	2,5395	2,8609	3,1737	3,5794	3,8834
20	0,6870	1,3253	1,7247	2,0860	2,5280	2,8453	3,1534	3,5518	3,8493
21	0,6864	1,3232	1,7207	2,0796	2,5176	2,8314	3,1352	3,5272	3,8193
22	0,6858	1,3212	1,7171	2,0739	2,5083	2,8188	3,1188	3,5050	3,7921
23	0,6853	1,3195	1,7139	2,0687	2,4999	2,8073	3,1040	3,4850	3,7676
24	0,6848	1,3178	1,7109	2,0639	2,4922	2,7969	3,0905	3,4668	3,7455
25	0,6844	1,3163	1,7081	2,0595	2,4851	2,7874	3,0782	3,4502	3,7251

m	Значення $t_p(m)$ t-розподілу для односторонньої довірчої імовірності q								
	0,75	0,90	0,95	0,975	0,990	0,995	0,9975	0,999	0,9995
26	0,6840	1,3150	1,7056	2,0555	2,4786	2,7787	3,0669	3,4350	3,7066
27	0,6837	1,3137	1,7033	2,0518	2,4727	2,7707	3,0565	3,4210	3,6896
28	0,6834	1,3125	1,7011	2,0484	2,4671	2,7633	3,0469	3,4082	3,6739
29	0,6830	1,3114	1,6991	2,0452	2,4620	2,7564	3,0380	3,3962	3,6594
30	0,6828	1,3104	1,6973	2,0423	2,4573	2,7500	3,0298	3,3852	3,6460
32	0,6822	1,3086	1,6939	2,0369	2,4487	2,7385	3,0149	3,3653	3,6218
34	0,6818	1,3070	1,6909	2,0322	2,4411	2,7284	3,0020	3,3479	3,6007
36	0,6814	1,3055	1,6883	2,0281	2,4345	2,7195	2,9905	3,3326	3,5821
38	0,6810	1,3042	1,6860	2,0244	2,4286	2,7116	2,9803	3,3190	3,5657
40	0,6807	1,3031	1,6839	2,0211	2,4233	2,7045	2,9712	3,3069	3,5510
42	0,6804	1,3020	1,6820	2,0181	2,4185	2,6981	2,9630	3,2960	3,5377
44	0,6801	1,3011	1,6802	2,0154	2,4141	2,6923	2,9555	3,2861	3,5258
46	0,6799	1,3002	1,6787	2,0129	2,4102	2,6870	2,9488	3,2771	3,5150
48	0,6796	1,2994	1,6772	2,0106	2,4066	2,6822	2,9426	3,2689	3,5051
50	0,6794	1,2987	1,6759	2,0086	2,4033	2,6778	2,9370	3,2614	3,4960
55	0,6790	1,2971	1,6730	2,0040	2,3961	2,6682	2,9247	3,2561	3,4764
60	0,6786	1,2958	1,6706	2,0003	2,3901	2,6603	2,9146	3,2317	3,4602
65	0,6783	1,2947	1,6686	1,9971	2,3851	2,6536	2,9060	3,2204	3,4466
70	0,6780	1,2938	1,6669	1,9944	2,3808	2,6479	2,8987	3,2108	3,4350
80	0,6776	1,2922	1,6641	1,9901	2,3739	2,6387	2,8870	3,1953	3,4163
90	0,6772	1,2910	1,6620	1,9867	2,3685	2,6316	2,8779	3,1833	3,4019
100	0,6770	1,2901	1,6602	1,9840	2,3642	2,6259	2,8707	3,1737	3,3905
120	0,6765	1,2886	1,6577	1,9799	2,3578	2,6174	2,8599	3,1595	3,1735

Таблиця Л.10 — Значення функції $\Gamma(1 + \frac{1}{b})$

b	0,00	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09
0,2	120,0000	80,3577	56,3313	41,0578	30,9418	24,0000	19,0867	15,5138	12,8529	10,8290
0,3	9,2605	8,0244	7,0355	6,2336	5,5754	5,0291	4,5712	4,1838	3,8534	3,5693
0,4	3,3233	3,1091	2,2913	2,7557	2,6091	2,4786	2,3619	2,2572	2,1628	2,0774
0,5	2,0000	1,9295	1,8652	1,8062	1,7522	1,7024	1,6566	1,6142	1,5749	1,5385
0,6	1,5046	1,4730	1,4436	1,4161	1,3904	1,3663	1,3437	1,3224	1,3024	1,2836
0,7	1,2658	1,2491	1,2332	1,2183	1,2041	1,1906	1,1779	1,1658	1,1543	1,1434
0,8	1,1330	1,1231	1,1137	1,1047	1,0961	1,0880	1,0801	1,0727	1,0655	1,0587
0,9	1,0522	1,0459	1,0399	1,0342	1,0287	1,0234	1,0183	1,0135	1,0088	1,0043
1,0	1,0000	0,9959	0,9919	0,9880	0,9843	0,9808	0,9774	0,9741	0,9709	0,9679
1,1	0,9649	0,9621	0,9593	0,9567	0,9542	0,9517	0,9493	0,9470	0,9448	0,9427
1,2	0,9407	0,9387	0,9368	0,9349	0,9331	0,9314	0,9297	0,9281	0,9265	0,9250
1,3	0,9236	0,9222	0,9208	0,9195	0,9182	0,9170	0,9158	0,9147	0,9135	0,9125
1,4	0,9114	0,9104	0,9094	0,9085	0,9076	0,9067	0,9059	0,9050	0,9043	0,9035
1,5	0,9027	0,9020	0,9013	0,9007	0,9000	0,8994	0,8988	0,8982	0,8976	0,8971
1,6	0,8966	0,8961	0,8956	0,8951	0,8947	0,8942	0,8938	0,8934	0,8930	0,8926
1,7	0,8922	0,8919	0,8916	0,8912	0,8909	0,8906	0,8903	0,8901	0,8898	0,8895
1,8	0,8893	0,8891	0,8888	0,8886	0,8884	0,8882	0,8880	0,8878	0,8877	0,8875
1,9	0,8874	0,8872	0,8871	0,8869	0,8863	0,8867	0,8866	0,8865	0,8864	0,8863
2,0	0,8862	0,8861	0,8861	0,8860	0,8859	0,8859	0,8858	0,8858	0,8858	0,8857
2,1	0,8857	0,8857	0,8856	0,8856	0,8856	0,8856	0,8856	0,8856	0,8856	0,8856
2,2	0,8856	0,8856	0,8857	0,8857	0,8857	0,8857	0,8858	0,8858	0,8858	0,8859
2,3	0,8859	0,8860	0,8860	0,8861	0,8861	0,8862	0,8862	0,8863	0,8863	0,8864
2,4	0,8865	0,8866	0,8866	0,8867	0,8868	0,8868	0,8869	0,8870	0,8871	0,8872
2,5	0,8873	0,8874	0,8874	0,8875	0,8876	0,8877	0,8878	0,8879	0,8880	0,8881
2,6	0,8882	0,8883	0,8884	0,8885	0,8886	0,8887	0,8888	0,8890	0,8891	0,8892
2,7	0,8893	0,8894	0,8895	0,8896	0,8897	0,8899	0,8900	0,8901	0,8902	0,8903

b	0,00	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09
2,8	0,8905	0,8906	0,8907	0,8908	0,8909	0,8911	0,8912	0,8913	0,8914	0,8916
2,9	0,8917	0,8918	0,8919	0,8921	0,8922	0,8923	0,8925	0,8926	0,8927	0,8928
3,0	0,8930	0,8931	0,8932	0,8934	0,8935	0,8936	0,8938	0,8939	0,8940	0,8942
3,1	0,8943	0,8944	0,8946	0,8947	0,8948	0,8950	0,8951	0,8952	0,8954	0,8955
3,2	0,8957	0,8958	0,8959	0,8961	0,8962	0,8963	0,8965	0,8966	0,8967	0,8969
3,3	0,8970	0,8972	0,8973	0,8974	0,8976	0,8977	0,8978	0,8980	0,8981	0,8982
3,4	0,8984	0,8985	0,8987	0,8988	0,8989	0,8991	0,8992	0,8993	0,8995	0,8996
3,5	0,8997	0,8999	0,9000	0,9002	0,9003	0,9004	0,9006	0,9007	0,9008	0,9010
3,6	0,9011	0,9012	0,9014	0,9015	0,9016	0,9018	0,9019	0,9021	0,9022	0,9023
3,7	0,9025	0,9026	0,9027	0,9029	0,9030	0,9031	0,9033	0,9034	0,9035	0,9037
3,8	0,9038	0,9039	0,9041	0,9042	0,9043	0,9044	0,9046	0,9047	0,9048	0,9050
3,9	0,9051	0,9052	0,9054	0,9055	0,9056	0,9058	0,9059	0,9060	0,9061	0,9063
4,0	0,9064	0,9065	0,9067	0,9068	0,9069	0,9070	0,9072	0,9073	0,9074	0,9076

Таблиця Л.11 — Густина імовірності нормального розподілу $f_0(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{x^2}{2}}$

x	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0.0	0.3989	0.3989	0.3989	0.3988	0.3966	0.3984	0.3982	0.3980	0.3977	0.3973
0.1	0.3970	0.3965	0.3961	0.3956	0.3951	0.3945	0.3939	0.3932	0.3925	0.3918
0.2	0.3910	0.3902	0.3894	0.3885	0.3876	0.3868	0.3857	0.3847	0.3836	0.3825
0.3	0.3814	0.3802	0.3790	0.3778	0.3765	0.3752	0.3739	0.3726	0.3712	0.3697
0.4	0.3683	0.3668	0.3653	0.3637	0.3621	0.3605	0.3589	0.3572	0.3555	0.3538
0.5	0.3521	0.3503	0.3485	0.3467	0.3448	0.3429	0.3410	0.3391	0.3372	0.3392
0.6	0.3332	0.3312	0.3292	0.3271	0.3251	0.3230	0.3209	0.3187	0.3166	0.3144
0.7	0.3123	0.3101	0.3079	0.3056	0.3034	0.3011	0.2989	0.2966	0.2943	0.2920
0.8	0.2897	0.2874	0.2850	0.2827	0.2803	0.2780	0.2756	0.2732	0.2709	0.2685
0.9	0.2661	0.2637	0.2613	0.2589	0.2565	0.2541	0.2516	0.2492	0.2468	0.2444
1.0	0.2420	0.2396	0.2371	0.2347	0.2323	0.2299	0.2245	0.2251	0.2227	0.2203
1.1	0.2179	0.2155	0.2131	0.2107	0.2083	0.2059	0.2036	0.2012	0.1989	0.1965
1.2	0.1942	0.1919	0.1895	0.1872	0.1849	0.1826	0.1804	0.1781	0.1758	0.1736
1.3	0.1714	0.1691	0.1669	0.1647	0.1626	0.1604	0.1582	0.1561	0.1539	0.1518
1.4	0.1497	0.1476	0.1456	0.1435	0.1415	0.1394	0.1374	0.1354	0.1334	0.1315
1.5	0.1295	0.1276	0.1257	0.1238	0.1219	0.1200	0.1182	0.1163	0.1145	0.1124
1.6	0.1109	0.1092	0.1074	0.1057	0.1040	0.1023	0.1006	0.0989	0.0973	0.0957
1.7	0.0940	0.0925	0.0909	0.0893	0.0878	0.0863	0.0848	0.0833	0.0818	0.0804
1.8	0.0790	0.0775	0.0761	0.0748	0.0734	0.0721	0.0707	0.0694	0.0681	0.0669
1.9	0.0656	0.0644	0.0632	0.0620	0.0608	0.0596	0.0584	0.0573	0.0562	0.0551
2.0	0.0540	0.0529	0.0519	0.0508	0.0498	0.0488	0.0478	0.0468	0.0459	0.0449
2.1	0.0440	0.0431	0.0422	0.0413	0.0404	0.0396	0.0387	0.0379	0.0371	0.0363
2.2	0.0355	0.0347	0.0339	0.0332	0.0325	0.0317	0.0310	0.0303	0.0297	0.0290
2.3	0.0283	0.0277	0.0270	0.0264	0.0258	0.0252	0.0246	0.0241	0.0235	0.0229
2.4	0.0224	0.0219	0.0213	0.0208	0.0203	0.0198	0.0194	0.0189	0.0184	0.0180

x	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
2,5	0,0175	0,0171	0,0167	0,0163	0,0158	0,0154	0,0151	0,0147	0,0143	0,0139
2,6	0,0136	0,0132	0,0125	0,0125	0,0122	0,0119	0,0116	0,0113	0,0110	0,0107
2,7	0,0104	0,0101	0,0099	0,0096	0,0093	0,0091	0,0088	0,0086	0,0084	0,0081
2,8	0,0079	0,0077	0,0075	0,0073	0,0071	0,0069	0,0067	0,0065	0,0063	0,0061
2,9	0,0060	0,0058	0,0056	0,0055	0,0053	0,0051	0,0050	0,0048	0,0047	0,0046
3,0	0,0044	0,0043	0,0042	0,0040	0,0039	0,0038	0,0037	0,0036	0,0035	0,0034
3,1	0,0033	0,0032	0,0031	0,0030	0,0029	0,0028	0,0027	0,0026	0,0025	0,0025
3,2	0,0024	0,0023	0,0022	0,0022	0,0021	0,0020	0,0020	0,0019	0,0018	0,0018
3,3	0,0017	0,0017	0,0016	0,0016	0,0015	0,0015	0,0014	0,0014	0,0013	0,0013
3,4	0,0012	0,0012	0,0012	0,0011	0,0011	0,0010	0,0010	0,0010	0,0009	0,0009
3,5	0,0009	0,0008	0,0008	0,0008	0,0008	0,0007	0,0007	0,0007	0,0007	0,0006
3,6	0,0006	0,0006	0,0006	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005	0,0004
3,7	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003
3,8	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002
3,9	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0001

ДОДАТОК М
(рекомендований)

Оцінка показників надійності за розподілу Вейбулла

М.1. Обґрунтовують можливість використання розподілу Вейбулла як теоретичного закону розподілу визначуваної випадкової величини (наробітку, ресурсу) згідно з рекомендаціями додатка В.

М.2 Встановлюють очікуване значення показника надійності R_0 , який необхідно визначити за результатами випробувань об'єктів (або спостережень під час експлуатації), а також очікуване значення коефіцієнта варіації розподілу наробітку до відмови (ресурсу) v випробуваних об'єктів згідно з рекомендаціями додатка В.

М.3 Вибирають план випробувань. Ця методика встановлює методи оцінки показників надійності для таких планів: [NUN], [NUR], [NUT], [NUz].

Приймають значення довірчої імовірності q та відносної похибки ξ згідно з рекомендаціями додатка В, а також встановлюють (в разі потреби) параметр T , регламентовану імовірність $\gamma/100$, наробіток t за оцінки імовірності безвідмовної роботи.

М.4 На основі встановлених вихідних даних визначають число об'єктів випробувань за даними таблиць М.1—М.3.

Для довільних значень вихідних даних (q , ξ , v , $\gamma/100$), що не збігаються з табличними, число об'єктів випробувань розраховують за 7.2.2, 7.2.3 цього стандарту.

М.5 За результатами випробувань розраховують точкові оцінки \hat{a} і \hat{b} розподілу Вейбулла.

М.5.1 За достатньої статистики ($r > 15$) параметри a , b розраховують за формулами таблиці М.5 методом максимальної правдоподібності.

Оцінки параметрів \hat{a} і \hat{b} одержують методом послідовних наближень розв'язання рівняння відносно \hat{b} у такій послідовності:

а) розраховують коефіцієнт A :

$$A = \frac{1}{l} \sum_{i=1}^l \ln t_i, \quad (\text{М.1})$$

де $l = \begin{cases} N & \text{для плану [NUN]} \\ m & \text{для планів [NUR] і [NUT];} \end{cases}$

б) розраховують початкове наближення \hat{b}_0 :

$$\hat{b}_0 = (l + 1) / [(A - \ln t_1) (0,23l + 3,71)]; \quad (\text{М.2})$$

в) розраховують наступне наближення \hat{b}_k ($k = 1, 2, \dots$):

$$\hat{b}_k = \left(\frac{\sum_{i=1}^l t_i^{b_{k-1}} \ln t_i + \sum_{j=1}^n \tau_j^{b_{k-1}} \ln \tau_j}{\sum_{i=1}^l t_i^{b_{k-1}} + \sum_{j=1}^n \tau_j^{b_{k-1}}} \right)^{-1}, \quad (M.3)$$

де $\tau_j = \begin{cases} t_r & \text{для плану [NUz]} \\ T & \text{для плану [NUT]}; \end{cases}$

г) процес визначення наближень припиняють коли

$$\left| \frac{\hat{b}_k - \hat{b}_{k-1}}{\hat{b}_{k-1}} \right| < \delta, \quad (M.4)$$

де значення δ вибирають із ряду 0,0001; 0,001; 0,01; 0,1;

д) значення \hat{b}_k , що відповідає останній нерівності, беруть за оцінку \hat{b} ;

е) знайдену оцінку \hat{b} підставляють у вираз для параметра \hat{a} .

М.5.2 Для $N \leq 6$ (план [NUz]) та для $N \leq 15$ (плани [NUN], [NUT] і [NUT]) точкові оцінки параметрів розподілу Вейбулла розраховують за формулами таблиці М.4 методом лінійного оцінювання.

М.5.2.1. Коли $N \leq 6$ (план [NUz]) коефіцієнти A_i , C_i , P , L визначають залежно від чергування відмов і цензурувань: "наробітку до відмови та до цензурування виставляють у загальний варіаційний ряд за збільшенням наробітків, кожній відмові присвоюють символ «0», кожне цензурування сумішують з найближчою попередньою у варіаційному ряду відмовою, групі цензурувань (одній чи декільком), суміщених з відмовою, що розглядається, присвоюють символ 1, ..., 5, що дорівнює числу цензурувань: послідовність символів 0 та 1, ..., 5 утворює чергування відмов і цензурувань.

Встановивши чергування відмов та цензурувань, для кожного i за значеннями N і r визначають коефіцієнти A_i , C_i , P , L за даними таблиці М.9.

Визначивши коефіцієнти A_i , C_i , P , L за формулами таблиці М.4, розраховують точкові оцінки параметрів \hat{a} і \hat{b} розподілу Вейбулла.

М.5.2.2 Коли $N \leq 15$ для планів [NUN], [NUT], [NUT] коефіцієнти A_i і C_i визначають за даними таблиці М.10.

Встановивши значення коефіцієнтів A_i і C_i ($i = 1-r$), за формулами таблиці М.4 розраховують точкові оцінки параметрів \hat{a} і \hat{b} розподілу Вейбулла.

М.6 Розраховують точкові оцінки показників надійності:

— середній наробіток відмови (середній ресурс, термін служби, термін збережувості)

$$\hat{T}_{cp} = \hat{a} \Gamma(1 + \frac{1}{\hat{b}}), \quad (M.5)$$

де функцію $\Gamma(\cdot)$ визначають за даними таблиці Л.10;

гамма-відсотковий наробіток до відмови (гамма-відсотковий ресурс, термін служби, термін збережуваності)

$$\hat{T}_\gamma = \hat{a}(-\ln \frac{\gamma}{100})^{1/\hat{b}}; \quad (\text{М.6})$$

— імовірність безвідмовної роботи за наробіток t

$$\hat{P}(t) = \exp[-(t/\hat{a})^{\hat{b}}]. \quad (\text{М.7})$$

М.7 Розраховують довірчі границі оцінок показників надійності.

М.7.1 Довірчі границі оцінок показників надійності за $N < 15$ розраховують за формулами таблиці М.6.

М.7.1.1 Допоміжні функції V_q і V'_q визначають за даними таблиці М.11—М.14.

Для плану [NUz] значення V_q і V'_q знаходять для $r = \{N, F(t_r)\}$, де $\{ \cdot \}$ — ціла частина.

М.7.1.2 Значення $\underline{P}(t)$ знаходять інтерполюванням між табличними значеннями γ_1 і γ_2 .

М.7.1.3 Якщо за час випробувань відмови не зафіксовані, то нижню довірчу границю середнього наробітку до відмови розраховують за формулою

$$\underline{T}_{\text{ср}} = \Gamma(1 + 1/\hat{b}) \left[- \sum_{i=1}^N \tau_i^{\hat{b}} / \ln(1 - q) \right]^{1/\hat{b}}; \quad (\text{М.8})$$

нижню довірчу границю гамма-відсоткового наробітку до відмови розраховують за формулою

$$\underline{T}_\gamma = (-\ln \frac{\gamma}{100})^{1/\hat{b}} \left[- \sum_{i=1}^N \tau_i^{\hat{b}} / \ln(1 - q) \right]^{1/\hat{b}}. \quad (\text{М.9})$$

Параметр форми b розподілу при цьому вважають відомим.

М.7.2 Довірчі границі оцінок показників надійності за $N \geq 15$ розраховують за формулами таблиці М.7.

М.7.2.1 Розраховують значення \hat{V} за формулою

$$\hat{V} = [\Gamma(1 + \frac{2}{\hat{b}}) - \Gamma^2(1 + \frac{1}{\hat{b}})]^{1/2} / \Gamma(1 + \frac{1}{\hat{b}}). \quad (\text{М.10})$$

М.7.2.2 Значення ϵ_n і ϵ_b визначають за графіками, наведеними на рисунках М.1—М.8 для довірчої імовірності $q^* = 0,80; 0,90; 0,95$, яка відповідає двобічному довірчому інтервалу.

На осі абсцис відповідного графіка відкладають значення r/N і проводять перпендикуляр до перетину з кривою, що відповідає обсягу вибірки, що спостерігається. Ординати точки перетину, відлічені за відповідною шкалою V , відповідають значенням ϵ_n (на нижній по-

довині шкали) та ε_2 (на верхній половині шкали).

М.7.2.3 Формули для розрахунку наближених значень дисперсій $D[\hat{T}_r]$ і $D[\hat{P}(t)]$ наведено в таблиці М.8.

Для плану [NUT] $\tau_1 = \tau_2 = \dots = \tau_n = T$; $r = d$.

Для плану [NUR] $\tau_1 = \tau_2 = \dots = \tau_n = t_r$.

Таблиця М.1 — Число об'єктів випробувань N за плану [NUN] для оцінки середнього за розподілу Вейбулла

ξ	q	Значення N за v						
		0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
0,05	0,80	48	65	100	150	200	250	315
	0,90	105	200	250	400	500	550	650
	0,95	170	250	400	500	650	800	1000
	0,99	315	500	800	1000	1000	1000	1000
0,10	0,80	13	25	32	50	55	65	100
	0,90	32	50	65	100	125	150	200
	0,95	50	80	100	150	200	250	400
	0,99	100	150	200	315	400	500	650
0,15	0,80	6	10	15	20	25	32	40
	0,90	15	25	32	40	65	70	80
	0,95	25	40	50	80	100	125	150
	0,99	40	65	100	150	200	250	315
0,20	0,80	5	8	10	15	20	23	25
	0,90	10	15	20	32	40	45	50
	0,95	15	25	32	40	50	80	100
	0,99	25	40	65	80	125	140	150

Таблиця М.2 — число об'єктів випробувань N за плану [NUN] для оцінки гамма-відсоткових показників надійності за розподілу Вейбулла (γ % = 80 %)

ξ	q	Значення N за v						
		0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
0,05	0,80	196	323	493	677	896	>1000	>1000
	0,90	453	749	>1000	>1000	>1000	>1000	>1000
	0,95	746	>1000	>1000	>1000	>1000	>1000	>1000
	0,99	>1000	>1000	>1000	>1000	>1000	>1000	>1000
0,10	0,80	49	81	124	170	224	294	356
	0,90	114	188	286	393	520	682	826
	0,95	187	309	471	647	856	>1000	>1000
	0,99	373	616	940	>1000	>1000	>1000	>1000
0,15	0,80	22	36	55	76	100	131	159
	0,90	51	84	127	175	231	304	367
	0,95	83	137	209	288	381	500	604
	0,99	166	274	418	575	761	998	1000
0,20	0,80	13	21	31	43	56	74	89
	0,90	29	47	72	99	130	171	207
	0,95	47	77	118	162	214	281	343
	0,99	94	154	235	323	428	562	680

Таблиця М.3 — Число об'єктів випробувань N за плану [NUN] для оцінки гамма-відсоткових показників надійності за розподілу Вейбулла (γ % = 90 %)

ξ	q	Значення N за v						
		0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
0,05	0,80	392	646	986	>1000	>1000	>1000	>1000
	0,90	906	>1000	>1000	>1000	>1000	>1000	>1000
	0,95	>1000	>1000	>1000	>1000	>1000	>1000	>1000
	0,99	>1000	>1000	>1000	>1000	>1000	>1000	>1000
0,10	0,80	98	162	248	340	448	588	12
	0,90	228	376	572	786	>1000	>1000	>1000
	0,95	374	618	942	>1000	>1000	>1000	>1000
	0,99	746	>1000	>1000	>1000	>1000	>1000	>1000

Закінчення таблиці М.3

ξ	φ	Значення N за ν						
		0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
0,15	0,80	44	72	110	152	200	262	318
	0,90	102	168	254	350	462	608	734
	0,95	166	274	418	576	762	>1000	>1000
	0,99	332	548	836	>1000	>1000	>1000	1000
0,20	0,80	26	42	62	86	112	148	178
	0,90	58	94	144	198	260	342	414
	0,95	94	154	236	324	418	562	680
	0,99	188	308	470	646	856	1000	1000

Таблиця М.4 — Формули для розрахунку точкових оцінок параметрів для розподілу Вейбулла ($N \leq 15$)

План випробування	Формули для визначення	
	\hat{a}	\hat{b}
[NUN]	$\exp \left[\sum_{i=1}^N A_i \ln t_i \right]$	$\left(\sum_{i=1}^N C_i \ln t_i \right)^{-1}$
[NUr], [NUT]	$\exp \left[\sum_{i=1}^m A_i \ln t_i \right]$	$\left(\sum_{i=1}^m C_i \ln t_i \right)^{-1}$
[NUz]	$\exp \left[\sum_{i=1}^r A_i \ln t_i \right] + \frac{P}{1-L} \sum_{i=1}^r C_i \ln t_i$	$(1-L) \left(\sum_{i=1}^r C_i \ln t_i \right)^{-1}$

Таблиця М.5 — Формули для розрахунку точкових оцінок параметрів для розподілу Вейбулла ($N > 15$)

План випробування	Формула для визначення	
	\hat{a}	\hat{b}
[NUN]	$\left(\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N t_i^{\hat{b}} \right)^{1/\hat{b}}$	$\left(\frac{N}{\hat{b}} + \sum_{i=1}^N \ln t_i \right) \sum_{i=1}^N t_i^{\hat{b}} - N \sum_{i=1}^N t_i^{\hat{b}} \ln t_i = 0$
[NUT] [NUT]	$\left[\frac{\sum_{i=1}^m t_i^{\hat{b}} + (N-m) t_m^{\hat{b}}}{m} \right]^{1/\hat{b}}$	$\left(\frac{m}{\hat{b}} + \sum_{i=1}^m \ln t_i \right) \left[\sum_{i=1}^m t_i^{\hat{b}} + (N-m) t_m^{\hat{b}} \right] -$ $- m \left[\sum_{i=1}^m t_i^{\hat{b}} \ln t_i + (N-m) t_m^{\hat{b}} \ln t_m \right] = 0$
[NUz]	$\left(\frac{\sum_{i=1}^r t_i^{\hat{b}} + \sum_{j=1}^n \tau_j^{\hat{b}}}{r} \right)^{1/\hat{b}}$	$\left(\frac{r}{\hat{b}} + \sum_{i=1}^r \ln t_i \right) \left(\sum_{i=1}^r t_i^{\hat{b}} + \sum_{j=1}^n \tau_j^{\hat{b}} \right) -$ $- r \left(\sum_{i=1}^r t_i^{\hat{b}} \ln t_i + \sum_{j=1}^n \tau_j^{\hat{b}} \ln \tau_j \right) = 0$

Таблиця М.6 — Формули для розрахунку інтервальних оцінок показників надійності для розподілу Вейбулла ($N \leq 15$)

Показник надійності	НДГ рівня q	ВДГ рівня q
Середній наробіток до відмови, середній ресурс (термін служби, термін збережуваності)	$\hat{T}_{\text{ср}} \exp \left(-\frac{V_q}{\delta} \right)$	$\hat{T}_{\text{ср}} \exp \left(-\frac{V_{1-q}}{\delta} \right)$
Гамма-відсотковий наробіток до відмови, гамма-відсотковий ресурс (термін служби, термін збережуваності)	$\exp \left(\ln \hat{a} - \frac{V_q^\gamma}{\delta} \right)$	$\exp \left(\ln \hat{a} - \frac{V_{1-q}^\gamma}{\delta} \right)$
Імовірність безвідмовної роботи за наробіток	$V_q^{\gamma^2} \leq \frac{\ln \hat{a} - \ln q}{\delta} \leq V_{1-q}^{\gamma^2}$	—

Таблиця М.7 — Формули для розрахунку інтервальних оцінок показників надійності для розподілу Вейбулла ($N > 15$)

Показник надійності	НДГ рівня q	ВДГ рівня q
Середній наробіток до відмови, середній ресурс (термін служби, термін збережуваності)	$\hat{T}_{\text{ср}} (1 + \xi_N)$	$\hat{T}_{\text{ср}} (1 + \xi_N)$
Гамма-відсотковий наробіток до відмови, гамма-відсотковий ресурс (термін служби, термін збережуваності)	$\hat{T}_{90} (1 + \xi_N)$ $\frac{T_{90} (1 + \xi_N)}{\hat{T}_\gamma - u_q \sqrt{D[T_\gamma]}}$	$\hat{T}_{90} (1 + \xi_N)$ $\frac{T_{90} (1 + \xi_N)}{\hat{T}_\gamma + u_q \sqrt{D[T_\gamma]}}$
Імовірність безвідмовної роботи за наробіток	$\hat{P}(t) - u_q \sqrt{D[\hat{P}(t)]}$	—

Таблиця М.8 — Формули для обчислення наближених значень дисперсій $D\{T_\gamma\}$ і $D\{P(t)\}$

Величина	Розрахункова формула
$D\{\hat{T}_\gamma\}$	$(-\ln \frac{\gamma}{100})^{2/\hat{b}} \left\{ D(\hat{a}) + \frac{\hat{a}^2}{\hat{b}^4} \left[\ln(-\ln \frac{\gamma}{100}) \right]^2 D(\hat{b}) - \frac{2\hat{a}}{\hat{b}^2} \ln(-\ln \frac{\gamma}{100}) Cov(\hat{a}, \hat{b}) \right\}$
$D\{\hat{P}(t)\}$	$\hat{P}^2(t) \left(\frac{t}{\hat{a}} \right)^{2\hat{b}} \left[\frac{\hat{b}^2}{\hat{a}^2} D(\hat{a}) + \ln^2 \frac{t}{\hat{a}} D(\hat{b}) - 2 \frac{\hat{b}}{\hat{a}} \ln \frac{t}{\hat{a}} Cov(\hat{a}, \hat{b}) \right]$
$D(\hat{a})$	$-L_1 / D$
$D(\hat{b})$	$-L_2 / D$
$Cov(\hat{a}, \hat{b})$	L_3 / D
L_1	$\frac{\hat{b}}{\hat{a}^2} \left[r - \frac{\hat{b}+1}{\hat{a}^{\hat{b}}} \left(\sum_{i=1}^r \hat{t}_i^{\hat{b}} + \sum_{j=1}^n \hat{\tau}_j^{\hat{b}} \right) \right]$
L_2	$-\frac{r}{\hat{b}} - \frac{\hat{a}^{-\hat{b}}}{\hat{b}} \left\{ \ln \hat{a} \left[\ln \left(\sum_{i=1}^r \hat{t}_i^{\hat{b}} + \sum_{j=1}^n \hat{\tau}_j^{\hat{b}} \right) - 2 \left(\sum_{i=1}^r \hat{t}_i^{\hat{b}} \ln \hat{t}_i + \sum_{j=1}^n \hat{\tau}_j^{\hat{b}} \ln \hat{\tau}_j \right) \right] + \right.$ $\left. + \left(\sum_{i=1}^r \hat{t}_i^{\hat{b}} \ln^2 \hat{t}_i + \sum_{j=1}^n \hat{\tau}_j^{\hat{b}} \ln^2 \hat{\tau}_j \right) \right\}$
L_3	$-\frac{r}{\hat{a}} + \frac{\hat{a}^{-(\hat{b}+1)}}{\hat{b}} \left\{ (1 - \hat{b} \ln \hat{a}) \left(\sum_{i=1}^r \hat{t}_i^{\hat{b}} + \sum_{j=1}^n \hat{\tau}_j^{\hat{b}} \right) + \hat{b} \left(\sum_{i=1}^r \hat{t}_i^{\hat{b}} \ln \hat{t}_i + \sum_{j=1}^n \hat{\tau}_j^{\hat{b}} \ln \hat{\tau}_j \right) \right\}$
D	$L_1 L_2 - L_3^2$

Таблиця М.9 — Коефіцієнти для визначення лінійних оцінок параметрів для розподілу Вейбулла ($N \leq 6$)

N	r	Чергування відмова та цензурування	i	A_i	C_i	P	L
1	2	3	4	5	6	7	8
2	2	0	1	0,110731	-0,421383	0,037574	0,415839
		0	2	0,889269	0,421383		
3	3	0	1	0,081063	-0,278686	-0,018421	0,256346
		0	2	0,250001	-0,190239		
		0	3	0,667936	0,468904		
3	2	0	1	-0,168001	-0,452110	0,257509	0,450055
		0,1	2	1,168001	0,452110		
3	2	0,1	1	0,069301	-0,382326	0,142111	0,369957
		0	2	0,930699	0,382326		
4	4	0	1	0,064336	-0,203052	-0,028312	0,183861
		0	2	0,147340	-0,182749		
		0	3	0,261510	-0,070109		
		0	4	0,526813	0,455910		
4	3	0	1	-0,044975	-0,297651	0,084775	0,281729
		0	2	0,088057	-0,234054		
		0,1	3	0,956918	0,531705		
4	2	0	1	-0,346974	-0,465455	0,413508	0,464387
		0,2	2	1,346974	0,465455		
4	3	0	1	-0,012081	-0,264079	0,052960	0,247855
		0,1	2	0,299303	-0,164524		
		0	3	0,712777	0,428603		
4	3	0,1	1	0,074005	-0,266086	0,020593	0,230218
		0	2	0,212711	-0,167706		
		0	3	0,713284	0,433792		
4	2	0,1	1	-0,181349	-0,421383	0,325811	0,415839
		0,1	2	1,181349	0,421383		
4	2	0,2	1	0,045963	-0,357407	0,200074	0,339370
		0	2	0,954037	0,357407		

<i>N</i>	<i>r</i>	Чергування відмов та цензурування	<i>i</i>	A_i	C_i	P	L
1	2	3	4	5	6	7	8
5	5	0	1	0,052975	-0,158131	-0,029135	0,142842
		0	2	0,103531	-0,155707		
		0	3	0,163808	-0,111820		
		0	4	0,246092	-0,005600		
		0	5	0,433593	0,431259		
5	4	0	1	-0,006983	-0,217766	0,030763	0,202418
		0	2	0,059652	-0,199351		
		0	3	0,156664	-0,118927		
		0,1	4	0,790668	0,536044		
5	3	0	1	-0,137958	-0,306502	0,166128	0,294191
		0	2	-0,025510	-0,257087		
		0,2	3	1,163468	0,563650		
5	2	0	1	-0,481434	-0,472962	0,533791	0,472308
		0,3	2	0,481434	-0,472962		
5	4	0	1	0,006272	-0,199827	0,018408	0,184873
		0	2	0,071450	-0,185334		
		0,1	3	0,358861	-0,031785		
		0	4	0,563417	0,416946		
5	4	0	1	0,019987	-0,187558	0,005419	0,172571
		0,1	2	0,177372	-0,175573		
		0	3	0,288100	-0,066223		
		0	4	0,574540	0,429354		
5	3	0	1	-0,112966	-0,286914	0,141366	0,274164
		0,1	2	0,136485	-0,206143		
		0,1	3	0,976501	0,493057		
5	4	0,1	1	0,065888	-0,200080	-0,008524	0,168180
		0	2	0,126234	-0,166466		
		0	3	0,244926	-0,061631		
		0	4	0,562952	0,428178		
5	3	0,1	1	-0,047745	-0,286509	0,111411	0,259402
		0	2	0,065149	-0,212927		
		0,1	3	0,982596	0,499436		
5	2	0,1	1	-0,350815	-0,440553	0,461576	0,437384
		0,2	2	1,350315	0,440553		

Продовження таблиці М.9

<i>N</i>	<i>r</i>	Чергування відмов та цензурування	<i>i</i>	<i>A_i</i>	<i>C_i</i>	<i>P</i>	<i>L</i>
1	2	3	4	5	6	7	8
5	3	0	1	-0,072305	-0,251774	0,101718	0,238717
		0,2	2	0,328610	-0,150289		
		0	3	0,743694	0,402063		
5	3	0,2	1	0,068985	-0,256714	0,044423	0,211617
		0	2	0,187762	-0,152185		
		0	3	0,743253	0,408898		
5	2	0,2	1	-0,190188	-0,399297	0,369056	0,390213
		0,1	2	1,190188	0,399297		
5	3	0,1	1	-0,012089	-0,255785	0,077686	0,227980
		0,1	2	0,271262	-0,148321		
		0	3	0,740827	0,404106		
5	2	0,3	1	0,030761	-0,339552	0,236740	0,316889
		0	2	0,969239	0,339552		
6	6	0	1	0,044826	-0,128810	-0,027715	0,116576
		0	2	0,079377	-0,132102		
		0	3	0,117541	-0,111951		
		0	4	0,163591	-0,064666		
		0	5	0,226486	0,031796		
		0	6	0,368179	0,405753		
6	4	0,1	1	0,008831	-0,197752	0,031981	0,171998
		0	2	0,058664	-0,172042		
		0,1	3	0,345722	-0,026586		
		0	4	0,586783	0,396381		
6	4	0,1	1	0,023519	-0,186303	0,018605	0,160547
		0,1	2	0,160097	-0,162342		
		0	3	0,216754	-0,059748		
		0	4	0,599629	0,408393		
6	3	0,1	1	-0,112093	-0,278666	0,159263	0,256346
		0,1	2	0,119136	-0,190239		
		0,1	3	0,992955	0,468904		
6	4	0	1	-0,036039	-0,195636	0,054110	0,183434
		0	2	0,017906	-0,184670		
		0,2	3	0,426884	-0,011361		
				0,591269	0,391668		

<i>N</i>	<i>r</i>	Числу- вання та цензу- рування	<i>i</i>	<i>A_i</i>	<i>C_i</i>	<i>P</i>	<i>L</i>
1	2	3	4	5	6	7	8
6	4	0	1	-0,009765	-0,175372	0,028875	0,163138
		0,2	2	0,195808	-0,171222		
		0	3	0,204217	-0,062816		
		0	4	0,609641	0,409410		
6	3	0	1	-0,161756	-0,277443	0,183254	0,266813
		0,2	2	0,170932	-0,187928		
		0,1	3	0,990824	0,465371		
6	4	0,2	1	0,066540	-0,197410	0,004657	0,156421
		0	2	0,111241	-0,154334		
		0	3	0,233432	-0,055395		
		0	4	0,588787	0,407139		
6	3	0,2	1	-0,049611	-0,277728	0,128792	0,242259
		0	2	0,049304	-0,197163		
		0,1	3	1,000307	0,474890		
6	2	0,2	1	-0,352206	-0,421383	0,494420	0,415839
		0,2	2	1,352206	0,421383		
6	3	0,1	1	-0,069401	-0,245965	0,118452	0,223278
		0,2	2	0,306555	-0,137608		
		0	3	0,762846	0,383573		
6	3	0,2	1	-0,012161	-0,249133	0,094017	0,213013
		0,1	2	0,251241	-0,136313		
		0	3	0,760920	0,385446		
6	3	0	1	-0,114799	-0,241433	0,137267	0,230648
		0,3	2	0,348115	-0,348115		
		0	3	0,766683	0,382692		
6	3	0,3	1	0,065156	-0,249313	0,060290	0,197481
		0	2	0,170061	-0,140648		
		0	3	0,764783	0,389961		
6	2	0,3	1	-0,195708	-0,382326	0,398546	0,19957
		0,1	2	1,195708	0,382326		
6	2	0,4	1	0,019977	-0,325860	0,261817	0,299366
		0	2	0,980023	0,325860		

Продовження таблиці М.9

<i>N</i>	<i>r</i>	Чергування відмов та цензурування	<i>i</i>	A_i	C_i	P	L
1	2	3	4	5	6	7	8
6	5	0	1	0,007521	-0,169920	0,008880	0,156905
		0	2	0,048328	-0,166319		
		0	3	0,101608	-0,129510		
		0	4	0,172859	-0,054453		
		0,1	5	0,669685	0,520201		
6	4	0	1	-0,063569	-0,225141	0,08035	0,212422
		0	2	-0,006726	-0,209083		
		0	3	0,079882	-0,146386		
		0,2	4	0,990412	0,580610		
6	3	0	1	-0,211474	-0,311847	0,232696	0,301732
		0	2	-0,112994	-0,271381		
		0,3	3	1,324468	0,583229		
6	2	0	1	-0,588298	-0,477782	0,631489	0,477340
		0,4	2	1,588298	0,477782		
6	5	0	1	0,013939	-0,159149	0,029984	0,146562
		0	2	0,054654	-0,156823		
		0	3	0,106415	-0,123795		
		0,1	4	0,362619	0,046088		
		0	5	0,462373	0,393678		
6	5	0	1	0,020733	-0,150942	-0,003302	0,138563
		0	2	0,061138	-0,149874		
		0,1	3	0,221969	-0,098017		
		0	4	0,221097	-0,011326		
		0	5	0,475063	0,410160		
6	4	0	1	-0,053485	-0,215020	0,070668	0,202429
		0	2	0,002117	-0,200832		
		0,1	3	0,244120	-0,078892		
		0,1	4	0,807248	0,494744		
6	5	0	1	0,027683	-0,145994	-0,009823	0,133605
		0,1	2	0,126713	-0,156106		
		0	3	0,140815	-0,103496		
		0	4	0,231656	-0,004763		
		0	5	0,473133	0,410358		

0

<i>N</i>	<i>r</i>	Чергування відмов та цензурування	<i>i</i>	A_i	C_i	P	L
1	2	3	4	5	6	7	8
6	4	0	1	-0,040673	-0,205281	0,304716	0,192644
		0,1	2	0,086730	-0,190784		
		0	3	0,130920	-0,112078		
		0,1	4	0,823023	0,508143		
6	3	0	1	-0,190667	-0,297888	0,211910	0,287517
		0,1	2	0,021498	-0,231059		
		0,2	3	1,169168	0,528947		
6	5	0,1	1	0,056925	-0,158875	-0,017433	0,132694
		0	2	0,091381	-0,144922		
		0	3	0,150681	0,102910		
		0	4	0,239715	-0,002716		
		0	5	0,461928	0,409423		
6	3	0,1	1	-0,137983	-0,296928	0,184692	0,275156
		0	2	-0,039253	-0,238187		
		0,2	3	1,177236	0,535115		
6	4	0,1	1	-0,005788	-0,214536	0,044942	0,188056
		0	2	0,046557	-0,184705		
		0	3	0,143920	-0,108911		
		0,1	4	0,815311	0,508151		
6	2	0,1	1	-0,479380	-0,452110	0,569464	0,450055
		0,3	2	1,479380	0,452110		
6	4	0	1	-0,025177	-0,187606	0,043607	0,175361
		0,1	2	0,099938	-0,178787		
		0,1	3	0,328356	-0,031369		
		0	4	0,596883	0,397762		

Таблиця М.10 — Коефіцієнти A_i , C_i для визначення точкових оцінок параметрів для розподілу Вейбулла ($N \leq 15$)

N	r	A_i	C_i	N	r	A_i	C_i
2	1	0,110731	-0,421383	6	1	-0,063569	-0,225141
	2	0,889269	0,421383		2	-0,006726	-0,209083
3	1	-0,166001	-0,452110	3	3	0,079882	-0,146386
	2	1,166001	0,452110		4	0,990412	0,580610
3	1	0,081063	-0,278666	6	1	0,007521	-0,169920
	2	0,251001	-0,190239		2	0,048328	-0,166319
	3	0,667936	0,468904		3	0,101607	-0,129510
4	1	-0,346974	-0,465455		4	0,172859	-0,054453
	2	1,346974	0,465455	6	5	0,669695	0,520201
4	1	-0,044975	-0,297651		1	0,044826	-0,128810
	2	0,088057	-0,234054		2	0,079377	-0,132102
	3	0,956918	0,531705		3	0,117541	-0,111951
4	1	0,64336	-0,203052		4	0,163591	-0,064666
	2	0,147340	-0,182749		5	0,226486	0,031796
	3	0,261510	-0,070109		6	0,368179	0,405733
	4	0,526813	0,455910	7	1	-0,676894	-0,481140
5	1	-0,481434	-0,472962		2	1,676894	0,481140
	2	1,481434	0,472962	7	1	-0,272195	-0,315309
5	1	-0,137958	-0,306562		2	-0,184061	-0,281139
	2	-0,025510	-0,257087		3	1,456255	0,596507
	3	1,163468	0,563650	7	1	-0,110274	-0,229091
5	1	-0,006983	-0,217766		2	-0,060226	-0,215613
	2	0,059652	-0,199351		3	0,018671	-0,164168
	3	0,156664	-0,118927		4	1,151829	0,609472
	4	0,790668	0,536044	7	1	-0,030368	-0,176203
5	1	0,052975	-0,158131		2	0,004333	-0,172399
	2	0,103531	-0,155707		3	0,052957	-0,141218
	3	0,163808	-0,111820		4	0,117599	-0,982820
	4	0,246092	-0,005600		5	0,855480	0,572640
	5	0,433593	0,431259	7	1	0,013524	-0,138436
6	1	-0,588298	-0,477782		2	0,041588	-0,140342
	2	1,588298	0,477782		3	0,075499	-0,121821
6	1	-0,211474	-0,311847		4	0,117461	-0,082938
	2	-0,112994	-0,271381		5	0,172092	-0,015394
	3	1,324468	0,583229		6	0,579835	0,498931
				7	1	0,38743	-0,108323
					2	0,064086	-0,113479
					3	0,090785	-0,103569

N	r	A _i	C _i	N	r	A _i	C _i
7	4	0,120971	-0,078748	9	1	-0,818444	-0,485517
	5	0,157657	-0,032632		2	1,818444	0,485517
	6	0,207825	0,054727	9	1	-0,368833	-0,319786
	7	0,319934	0,382022		2	-0,295280	-0,293621
8	1	-0,752513	-0,483618		3	1,664113	0,613407
	2	1,752513	0,483615	9	1	-0,184461	-0,235080
8	1	-0,323875	-0,317890		2	-0,143505	-0,273891
	2	-0,243808	-0,288231		3	-0,075815	-0,185970
	3	1,567683	0,806120		4	1,403781	0,644941
8	1	-0,149973	-0,232805	9	1	-0,090726	-0,183061
	2	-0,105015	-0,220324		2	-0,063541	-0,179515
	3	-0,032357	-0,176575		3	-0,021495	-0,155825
	4	1,287245	0,629805		4	0,034159	-0,115133
8	1	-0,062656	-0,180231		5	1,141604	0,633534
	2	-0,032248	-0,176510	9	1	-0,037118	-0,147411
	3	0,012767	-0,149566		2	-0,016377	-0,148150
	4	0,072446	-0,101642		3	0,012499	-0,133219
	5	1,009691	0,607948		4	0,049305	-0,105060
8	1	-0,013509	-0,143834		5	0,095614	-0,062073
	2	0,010292	-0,145006		6	0,896078	0,595913
	3	0,041357	-0,128393	9	1	-0,004220	-0,120988
	4	0,080475	-0,095696		2	0,013386	-0,124245
	5	0,130327	-0,043280		3	0,035068	-0,115091
	6	0,751058	0,556209		4	0,061198	-0,095508
8	1	0,015973	-0,116317		5	0,093013	-0,064162
	2	0,036729	-0,120331		6	0,132740	-0,017187
	3	0,060439	-0,110582		7	0,668315	0,537180
	4	0,088239	-0,088450	9	1	0,016797	-0,100011
	5	0,122062	-0,050995		2	0,032919	-0,104750
	6	0,165529	0,009700		3	0,050582	-0,099608
	7	0,511030	0,476975		4	0,070497	-0,086226
8	1	0,034052	-0,093270		5	0,093635	-0,063541
	2	0,053552	-0,098886		6	0,121560	-0,028346
	3	0,073452	-0,093994		7	0,157175	-0,026525
	4	0,095062	-0,079752		8	0,456836	0,455956
	5	0,119768	-0,053918				
	6	0,149934	-0,010179				
	7	0,191236	0,069325				
	8	0,282943	0,360675				

Продовження таблиці М.10

<i>N</i>	<i>r</i>	<i>A_i</i>	<i>C_i</i>	<i>N</i>	<i>r</i>	<i>A_i</i>	<i>C_i</i>
9	1	0,030338	-0,081777	10	1	0,001179	-0,104082
	2	0,045872	-0,087308		2	0,014869	-0,108163
	3	0,061368	-0,085084		3	0,030998	-0,103119
	4	0,077742	-0,076470		4	0,049734	-0,090835
	5	0,095769	-0,060667		5	0,071745	-0,070902
	6	0,116517	-0,035136		6	0,098114	-0,041560
	7	0,141932	0,006001		7	0,130649	0,000799
	8	0,176764	0,078828		8	-0,602692	0,517864
	9	0,253697	0,341614	10	1	0,016841	-0,087538
10	1	-0,876889	-0,487022		2	0,029807	-0,092405
	2	1,876889	0,487022		3	0,043570	-0,089839
10	1	-0,408672	-0,321265		4	0,058640	-0,081428
	2	-0,340443	-0,297858		5	0,075576	-0,066855
	3	1,749045	0,619124		6	0,095169	-0,044670
10	1	-0,214930	-0,236817		7	0,118707	-0,011816
	2	-0,177223	-0,226688		8	0,148575	0,038159
	3	-0,113820	-0,193159		9	0,413116	0,436394
	4	1,505973	0,656663	10	1	0,027331	0,072734
10	1	-0,115524	-0,185169		2	0,040034	-0,077971
	2	-0,090868	-0,181821		3	0,052496	-0,077242
	3	-0,051341	0,160697		4	0,065408	-0,071876
	4	0,000925	-0,125311		5	0,072963	-0,061652
	5	1,256809	0,652997		6	0,094638	-0,045420
10	1	-0,058017	-0,149985		7	0,112414	-0,020698
	2	-0,039595	-0,150451		8	0,134239	0,017927
	3	-0,012513	-0,136941		9	0,164178	0,085070
	4	0,022314	-0,112224		10	0,230001	0,324597
	5	0,022062	-0,075721	11	1	-0,929310	-0,488243
	6	1,065750	0,625321		2	1,929310	0,488243
10	1	-0,022198	-0,124170	11	1	-0,444245	-0,322452
	2	-0,006909	-0,126894		2	-0,380642	-0,301277
	3	0,013224	-0,118392		3	1,824887	0,623729
	4	0,037994	-0,100924	11	1	-0,242206	-0,238188
	5	0,068153	-0,073988		2	-0,207204	-0,228941
	6	0,105064	-0,035501		3	-0,147490	-0,198888
	7	0,804572	0,579868		4	1,596900	0,666017

<i>N</i>	<i>r</i>	<i>A_i</i>	<i>C_i</i>	<i>N</i>	<i>r</i>	<i>A_i</i>	<i>C_i</i>
11	1	-0,137718	-0,186803	11	1	0,016502	-0,077717
	2	-0,115110	-0,183651		2	0,027205	-0,082449
	3	-0,077762	-0,164597		3	0,038291	-0,081388
	4	-0,028411	-0,0,133278		4	0,050160	-0,075977
	5	1,359000	0,668329		5	0,063170	-0,066222
11	1	-0,076739	-0,151936		6	0,077772	-0,030120
	2	-0,060142	-0,152227		7	0,114811	0,000537
	3	-0,034581	-0,139907		8	0,094625	-0,051429
	4	-0,001490	-0,117886		9	0,140333	0,046381
	5	0,039518	-0,086311		10	0,377130	0,418384
	6	1,133134	0,648081	11	1	0,024850	-0,065444
11	1	-0,038849	-0,126507		2	0,035456	-0,070318
	2	-0,024842	-0,128838		3	0,045727	-0,070456
	3	-0,005964	-0,120951		4	0,056215	-0,067076
	4	0,017632	-0,105219		5	0,067261	-0,060207
	5	0,046354	-0,081602		6	0,079220	-0,049800
	6	0,081182	-0,018929		7	0,092560	-0,033156
	7	0,923987	0,612017		8	0,108034	-0,009427
11	1	-0,012943	-0,106922		9	0,127088	0,026879
	2	-0,001050	-0,110198		10	0,153197	0,089146
	3	0,013809	-0,105662		11	0,210412	0,309357
	4	0,031661	-0,094405	12	1	-0,976872	-0,489254
	5	0,052723	-0,076693		2	1,976872	0,459254
	6	0,077815	-0,051525	12	1	-0,476530	-0,323426
	7	0,108161	-0,016860		2	-0,416886	-0,301093
	8	0,729765	0,562564		3	1,893367	0,627519
11	1	0,004425	-0,091125	12	1	-0,266888	-0,239300
	2	0,015498	-0,095437		2	-0,234180	-0,230796
	3	0,028073	-0,092780		3	-0,177681	-0,202362
	4	0,042178	-0,084833		4	1,687749	0,673657
	5	0,058340	-0,071581	12	1	-0,157792	-0,188109
	6	0,077093	-0,052182		2	-0,136884	-0,185142
	7	0,099349	-0,024880		3	-0,101445	-0,167790
	8	0,126592	0,013606		4	-0,054640	-0,139623
	9	0,548502	0,499201		5	1,450761	0,689734

Продовження таблиці М 10

N	r	A _i	C _i	N	r	A _i	C _i	
12	1	-0,093679	-0,153471	12	1	0,015982	-0,069798	
	2	-0,078561	-0,0,153632		2	0,024997	-0,074285	
	3	-0,054320	-0,142329		3	0,034156	-0,074131	
	4	-0,022769	-0,122474		4	0,043790	-0,070617	
	5	0,016136	-0,094355		5	0,054149	-0,063891	
	6	1,233193	0,666261		6	0,065515	-0,033621	
12	1	-0,052987	-0,128803	12	7	0,078264	-0,039034	
	2	-0,040893	-0,130339		8	0,692958	-0,018718	
	3	-0,023072	-0,123007		9	0,110521	0,009948	
	4	-0,000515	-0,108712		10	0,132666	0,052280	
	5	0,026960	-0,087681		11	0,347003	0,401864	
	6	0,059918	-0,059256		12	1	0,022771	-0,059449
	7	1,030620	0,637307			2	0,031776	-0,063952
12	1	-0,025785	-0,109045	3		0,040408	-0,064601	
	2	-0,015312	-0,112242	4		0,059122	-0,052489	
	3	-0,001353	-0,107627	5		0,058175	-0,057754	
	4	0,015634	-0,097267	6		0,067800	-0,050137	
	5	0,035853	-0,081361	7		0,078281	-0,039010	
	6	0,059835	-0,059315	8		0,090017	-0,023199	
	7	0,088444	-0,029900	9		0,103664	-0,000505	
	8	0,842654	0,586748	10		0,120475	0,033695	
12	1	-0,006944	-0,093659	11		0,143566	0,091751	
	2	0,002669	-0,097540	12		0,193917	0,295648	
	3	0,014239	-0,094893	13	1	-1,020378	-0,490105	
	4	0,027669	-0,087418		2	2,020378	0,490105	
	5	0,043189	-0,075371	13	1	-0,506034	-0,324239	
	6	0,061225	-0,058180		2	-0,449735	-0,306454	
	7	0,082441	-0,034802		3	1,955765	0,630694	
	8	0,107856	-0,003342	13	1	-0,289420	-0,240219	
	9	0,667655	0,545234		2	-0,258687	-0,232349	
12	1	0,006411	-0,080881		3	-0,205024	-0,207450	
	2	0,015598	-0,085171		4	1,753131	0,680018	
	3	0,025675	-0,083952	13	1	-0,176109	-0,189177	
	4	0,036799	-0,078714		2	-0,156637	-0,186381	
	5	0,049211	-0,069510		3	-0,122893	-0,170454	
	6	0,063256	-0,056237		4	-0,078337	-0,144971	
	7	0,079438	-0,037675		5	1,533976	0,690983	
	8	0,098522	-0,012272					
	9	0,121752	0,022956					
	10	0,503338	0,481555					

N	r	A _i	C _i	N	r	A _i	C _i
13	1	-0,109140	-0,154711	13	1	0,007623	-0,072617
	2	-0,092524	-0,154785		2	0,015408	-0,076746
	3	-0,072165	-0,144347		3	0,023732	-0,076418
	4	-0,041997	-0,126268		4	0,032743	-0,072938
	5	-0,004940	-0,101028		5	0,042611	-0,066531
	6	1,323488	0,681140		6	0,053556	-0,057014
13	1	-0,066358	-0,129743	13	7	0,065876	-0,043886
	2	-0,055414	-0,131538		8	0,080005	-0,026244
	3	-0,038503	-0,124701		9	0,096594	-0,002552
	4	-0,16879	-0,111609		10	0,116703	0,029910
	5	0,009416	-0,092649		11	0,465143	0,465037
	6	0,040810	-0,067475	13	1	0,015382	-0,063288
	7	1,126930	0,657714		2	0,023100	-0,067492
13	1	-0,037540	-0,110705		3	0,030881	-0,067892
	2	-0,028206	-0,113563		4	0,038824	-0,065622
	3	-0,015049	-0,109206		5	0,047302	-0,060887
	4	0,001231	-0,099644		6	0,056414	-0,053540
	5	0,020686	-0,085201		7	0,066482	-0,043158
	6	0,043677	-0,065581		8	0,077739	-0,028970
	7	0,070830	-0,039995		9	0,090699	-0,009644
	8	0,944372	-0,623896		10	0,106166	0,017233
13	1	-0,017389	-0,095590		11	0,125627	0,056547
	2	-0,008934	-0,099109		12	0,321416	0,386713
	3	0,001863	-0,096521	13	1	0,021005	-0,054436
	4	0,014684	-0,089554		2	0,028757	-0,058585
	5	0,029657	-0,078690		3	0,036127	-0,059535
	6	0,047027	-0,063068		4	0,045501	-0,058259
	7	0,067346	-0,042307		5	0,051078	-0,054942
	8	0,091328	-0,015928		6	0,059028	-0,049472
	9	0,774437	0,580865		7	0,067533	-0,041505
13	1	-0,002927	-0,083170		8	0,076831	-0,030395
	2	0,005067	-0,087085		9	0,087274	-0,015037
	3	0,014356	-0,057928		10	0,099441	0,006644
	4	0,024891	-0,080789		11	0,114446	0,038943
	5	0,036816	-0,072325		12	0,135068	0,093324
	6	0,050389	-0,060181		13	0,179913	0,283257
	7	0,065995	-0,043768	14	1	-1,060461	-0,490831
	8	0,084201	-0,022048		2	2,060461	490831
	9	0,105863	0,006715	14	1	-0,533158	-0,324929
	10	0,615348	0,528141		2	-0,479874	-0,808462
					3	2,013058	0,633913

Продовження таблиці М.10

N	r	A _i	C _i	N	r	A _i	C _i
14	1	-0,310144	-0,240992	14	1	-0,011580	-0,084931
	2	-0,281132	-0,233670		2	-0,004548	-0,088528
	3	-0,229990	-0,210735		3	0,004100	-0,087207
	4	1,321236	0,685397		4	0,014144	-0,082451
14	1	-0,192947	-0,190068	14	5	0,025647	-0,074573
	2	-0,174709	-0,187427		6	0,038794	-0,063473
	3	-0,142478	-0,172710		7	0,053879	-0,048768
	4	-0,099930	-0,049393		8	0,071335	-0,029776
	5	1,610065	0,699598		9	0,091730	-0,005398
14	1	-0,123352	-0,155736	14	10	0,716445	0,565105
	2	-0,110490	-0,155747		1	-0,000170	-0,074686
	3	-0,088443	-0,146054		2	0,006622	-0,078499
	4	-0,059523	-0,129460		3	0,014283	-0,078064
	5	-0,024111	-0,105556		4	0,022800	-0,074680
	6	1,405919	0,693553		5	0,032273	-0,068624
14	1	-0,070656	-0,130915	14	6	0,042866	-0,059816
	2	-0,068666	-0,152521		7	0,054817	-0,047926
	3	-0,052554	-0,126128		8	0,068463	-0,032355
	4	-0,031776	-0,114051		9	0,084290	-0,012126
	5	-0,006522	-0,096788		10	0,103025	-0,014349
	6	0,023467	0,074184		11	0,570731	0,512429
	7	1,214708	1,674581	14	1	0,008361	-0,065816
14	1	-0,048365	-0,112041		2	0,015058	-0,069728
	2	-0,039964	-0,114637		3	0,022076	-0,069962
	3	-0,027495	-0,110509		4	0,029552	-0,067659
	4	0,011849	-0,101635		5	0,037615	-0,056130
	5	0,006905	-0,088122		6	0,046411	-0,056130
	6	0,029002	-0,070735		7	0,056132	-0,046558
	7	0,054897	-0,048074		8	0,067039	-0,033834
	8	1,036868	0,646052		9	0,079506	-0,017101
14	1	-0,027030	-0,097117		10	0,091096	0,005064
	2	-0,019516	-0,100334		11	0,111723	0,035156
	3	-0,009363	-0,097827		12	0,432431	0,449638
	4	0,002928	-0,091298				
	5	0,017368	-0,081103				
	6	0,034165	-0,067124				
	7	0,053685	-0,048921				
	8	0,076476	-0,025720				
	9	0,371287	0,609445				

N	r	A _i	C _i	N	r	A _i	C _i
14	1	0,014760	-0,057849	15	1	-0,136198	-0,156597
	2	0,021453	-0,061764		2	-0,124518	-0,156563
	3	0,028064	-0,062606		3	-0,103401	-0,147517
	4	0,034842	-0,061074		4	-0,075614	-0,132182
	5	0,041933	-0,057693		5	-0,041680	-0,111215
	6	0,049474	-0,052317		6	1,481712	0,704074
	7	0,057619	-0,044707	15	1	-0,208525	-0,190823
	8	0,066569	-0,034420		2	-0,191357	-0,188323
	9	0,076605	-0,020713		3	-0,160491	-0,174645
	10	0,088151	-0,002338		4	-0,119748	-0,153153
	11	0,101914	-0,022943		5	1,689121	0,706944
	12	0,119200	0,059643	15	1	-0,090036	-0,131891
	13	0,299416	0,372795		2	-0,080850	-0,133342
14	1	0,019487	-0,050186		3	-0,065446	-0,127335
	2	0,026238	-0,054008		4	-0,045441	-0,116138
	3	0,032614	-0,055130		5	-0,021137	-0,100291
	4	0,038947	-0,054419		6	0,007597	-0,079774
	5	0,045399	-0,052075		7	1,295312	0,688771
	6	0,052097	-0,048066	15	1	-0,058390	-0,113143
	7	0,059168	-0,042197		2	-0,050767	-0,115520
	8	0,066767	-0,034099		3	-0,038897	-0,111607
	9	0,075102	-0,023149		4	-0,023825	-0,103332
	10	0,084482	-0,008285		5	-0,005717	-0,091156
	11	0,095428	0,012430		6	0,015565	-0,075053
	12	0,108942	0,043015		7	0,040351	-0,054703
	13	0,127523	0,094166		8	1,121680	0,664514
	14	0,167807	0,272004	15	1	-0,035972	-0,098361
15	1	-1,097617	-0,491458		2	-0,029235	-0,101322
	2	2,097617	0,491458		3	-0,019633	-0,098904
15	1	-0,558336	-0,325521		4	-0,007812	-0,092773
	2	-0,607671	-0,310191		5	0,006156	-0,083327
	3	2,066007	0,635712		6	0,022403	-0,070544
15	1	-0,329324	-0,241651		7	0,041203	-0,054142
	2	-0,301829	-0,234807		8	0,062969	-0,033595
	3	-0,252948	-0,213548		9	0,959920	-0,632957
	4	1,884101	0,690005				

Закінчення таблиці М.10

<i>N</i>	<i>r</i>	A_i	C_i	<i>N</i>	<i>r</i>	A_i	C_i
15	1	-0,019626	-0,086339	15	1	0,008779	-0,060130
	2	-0,013383	-0,089664		2	0,014620	-0,063805
	3	-0,005271	-0,088341		3	0,020637	-0,064394
	4	0,004351	-0,083828		4	0,026961	-0,062900
	5	0,015475	-0,076474		5	0,033693	-0,059574
	6	0,028227	-0,066261		6	0,040939	-0,054417
	7	0,042832	-0,052943		7	0,048828	-0,047269
	8	0,059624	-0,036054		8	0,057528	-0,037821
	9	0,079072	-0,014863		9	0,067265	-0,025565
	10	0,808700	-0,594768		10	0,078368	-0,009694
15	1	-0,007450	-0,076297	15	11	0,091330	0,011113
	2	-0,001467	-0,079835		12	0,106947	0,039155
	3	0,005652	-0,079332		13	0,404106	0,435302
	4	0,013759	-0,076068		1	0,014143	-0,053241
	5	0,022893	-0,070355		2	0,020013	-0,056789
	6	0,033174	-0,062181		3	0,025750	-0,057827
	7	0,044787	-0,051331		4	0,031576	-0,056973
	8	0,057997	-0,037396		5	0,037611	-0,054542
	9	0,073180	-0,19723		6	0,043958	-0,050539
	10	0,090865	0,002701		7	0,050725	-0,044833
15	11	0,666610	0,549817	15	8	0,058045	-0,037157
	1	0,001756	-0,067695		9	0,066092	-0,027072
	2	0,007624	-0,071342		10	0,075114	-0,013872
	3	0,014079	-0,071459		11	0,085490	-0,003612
	4	0,021133	-0,069178		12	0,097344	0,027465
	5	0,028861	-0,064779		13	0,113340	0,061879
	6	0,037374	-0,058256		14	0,280298	0,359950
	7	0,046822	-0,049425		1	0,013170	-0,046538
	8	0,057431	-0,037926		2	0,024108	-0,050064
	9	0,069479	-0,023180		3	0,029685	-0,051279
	10	0,083393	-0,004280		4	0,035191	-0,050957
	11	0,099799	0,020236		5	0,040762	-0,049298
	12	0,532243	0,497284		6	0,046496	-0,046315
				15	7	0,052488	-0,041899
					8	0,058844	-0,035827
					9	0,065696	-0,027731
					10	0,073230	-0,017008
					11	0,081725	-0,002653
					12	0,091651	0,017156
					13	0,103914	0,016191
					14	0,120784	0,094483
					15	0,157255	0,261738

Таблиця М.11

N	r	V _q за ймовірності q								
		0,05	0,10	0,25	0,40	0,50	0,60	0,75	0,90	0,95
3	3	-2,54	-1,49	-0,52	-0,10	0,10	0,31	0,69	1,46	2,12
	4	-3,85	-2,32	-0,84	-0,29	-0,04	0,18	0,50	1,06	1,55
4	4	-1,50	-0,96	-0,37	-0,08	0,09	0,25	0,55	1,07	1,49
	5	-5,22	-3,04	-1,22	-0,50	-0,19	0,06	0,40	0,86	1,20
5	4	-1,94	-1,24	-0,50	-0,16	0,02	0,18	0,45	0,88	1,22
	5	-1,08	-0,73	-0,31	-0,06	0,08	0,22	0,47	0,89	1,20
6	3	-6,12	-3,72	-1,56	-0,69	-0,32	-0,04	0,33	0,75	1,02
	4	-2,39	-1,59	-0,67	-0,25	-0,05	0,12	0,38	0,76	1,03
5	5	-1,36	-0,91	-0,38	-0,11	0,04	0,17	0,40	0,77	1,04
	6	-0,91	-0,64	-0,28	-0,06	0,07	0,19	0,41	0,77	1,04
7	3	-7,39	-4,45	-1,87	-0,89	-0,48	-0,16	0,26	0,68	0,90
	4	-2,95	-1,94	-0,84	-0,36	-0,13	0,05	0,32	0,66	0,89
5	5	-1,59	-1,10	-0,48	-0,17	-0,02	0,12	0,34	0,66	0,89
	6	-1,01	-0,73	-0,32	-0,10	0,03	0,15	0,35	0,67	0,90
7	7	-0,79	-0,56	-0,26	-0,06	0,05	0,17	0,36	0,68	0,90
8	3	-8,15	-5,01	-2,14	-1,04	-0,58	-0,21	0,24	0,67	0,88
	4	-3,30	-2,18	-0,99	-0,43	-0,19	0,02	0,30	0,64	0,83
5	5	-1,86	-1,25	-0,56	-0,22	-0,05	0,10	0,32	0,62	0,82
	6	-1,20	-0,83	-0,36	-0,12	0,01	0,13	0,33	0,63	0,82
7	7	-0,88	-0,61	-0,27	-0,07	0,04	0,15	0,33	0,63	0,82
	8	-0,70	-0,50	-0,22	-0,05	0,06	0,16	0,34	0,63	0,82
9	3	-9,12	-5,64	-2,38	-1,17	-0,66	-0,28	0,20	0,66	0,86
	4	-3,78	-2,47	-1,08	-0,50	-0,24	-0,01	0,28	0,61	0,79
5	5	-2,10	-1,40	-0,63	-0,26	-0,08	0,08	0,30	0,58	0,76
	6	-1,38	-0,94	-0,41	-0,15	-0,01	0,11	0,30	0,57	0,76
7	7	-0,99	-0,70	-0,31	-0,10	0,02	0,13	0,31	0,57	0,76
	8	-0,76	-0,55	-0,25	-0,07	0,04	0,14	0,31	0,58	0,76
9	9	-0,64	-0,47	-0,21	-0,05	0,05	0,15	0,32	0,58	0,76
10	3	-9,98	-6,05	-2,58	-1,29	-0,76	-0,34	0,17	0,66	0,87
	4	-4,17	-2,70	-1,22	-0,58	-0,28	-0,04	0,27	0,60	0,77
5	5	-2,37	-1,56	-0,73	-0,31	-0,12	0,05	0,28	0,56	0,72
	6	-1,51	-1,03	-0,48	-0,19	-0,04	0,09	0,28	0,54	0,71
7	7	-1,08	-0,77	-0,35	-0,12	-0,00	0,11	0,28	0,54	0,70
	8	-0,86	-0,62	-0,27	-0,08	0,02	0,12	0,28	0,53	0,71
9	9	-0,70	-0,50	-0,23	-0,06	0,04	0,13	0,29	0,54	0,71
	10	-0,60	-0,44	-0,20	-0,04	0,04	0,14	0,29	0,54	0,71
11	3	-10,68	-6,42	-2,76	-1,41	-0,85	-0,42	0,13	0,65	0,87
	4	-4,57	-2,93	-1,37	-0,66	-0,36	-0,10	0,24	0,58	0,75
5	5	-2,58	-1,75	-0,81	-0,37	-0,16	0,01	0,26	0,54	0,69
	6	-1,67	-1,16	-0,53	-0,22	-0,07	0,06	0,26	0,52	0,66
7	7	-1,21	-0,85	-0,40	-0,15	-0,02	0,09	0,26	0,50	0,65
	8	-0,92	-0,66	-0,30	-0,11	0,00	0,10	0,26	0,50	0,65
9	9	-0,76	-0,54	-0,25	-0,08	0,02	0,11	0,26	0,50	0,65
	10	-0,63	-0,46	-0,21	-0,06	0,03	0,12	0,27	0,50	0,65
11	11	-0,55	-0,42	-0,19	-0,05	0,03	0,12	0,27	0,50	0,65

Закінчення таблиці М.11

N	r	V _q за імовірності q								
		0,05	0,10	0,25	0,40	0,50	0,60	0,75	0,90	0,95
12	3	-11,32	-6,92	-3,03	-1,58	-0,97	-0,49	0,10	0,64	0,88
	4	-4,81	-3,17	-1,47	-0,74	-0,40	-0,14	0,21	0,58	0,75
	5	-2,72	-1,88	-0,89	-0,42	-0,20	-0,01	0,24	0,53	0,68
	6	-1,83	-1,27	-0,60	-0,26	-0,10	0,05	0,25	0,50	0,64
	7	-1,32	-0,92	-0,42	-0,17	-0,04	0,08	0,25	0,48	0,62
	8	-1,00	-0,72	-0,33	-0,12	-0,01	0,09	0,25	0,48	0,62
	9	-0,80	-0,58	-0,27	-0,09	0,01	0,10	0,25	0,47	0,62
	10	-0,67	-0,48	-0,23	-0,07	0,02	0,11	0,25	0,47	0,62
	11	-0,58	-0,43	-0,20	-0,06	0,03	0,11	0,25	0,47	0,62
	12	-0,53	-0,39	-0,19	-0,05	0,03	0,11	0,25	0,47	0,62
13	3	-11,66	-7,41	-3,21	-1,64	-1,02	-0,54	0,08	0,65	0,88
	4	-5,21	-3,37	-1,60	-0,82	-0,48	-0,19	0,20	0,59	0,76
	5	-2,95	-1,99	-0,96	-0,47	-0,24	-0,04	0,24	0,54	0,68
	6	-1,94	-1,35	-0,66	-0,31	-0,13	0,03	0,25	0,51	0,64
	7	-1,40	-0,98	-0,46	-0,19	-0,06	0,06	0,25	0,47	0,61
	8	-1,06	-0,77	-0,36	-0,14	-0,02	0,08	0,24	0,46	0,59
	9	-0,86	-0,61	-0,29	-0,10	-0,00	0,09	0,24	0,45	0,58
	10	-0,72	-0,52	-0,24	-0,08	0,01	0,10	0,24	0,45	0,58
	11	-0,63	-0,45	-0,21	-0,06	0,02	0,11	0,24	0,45	0,58
	12	-0,56	-0,41	-0,19	-0,05	0,03	0,11	0,25	0,45	0,59
	13	-0,51	-0,38	-0,18	-0,05	0,04	0,11	0,25	0,4	0,59
14	3	-12,49	-7,65	-3,31	-1,71	-1,08	-0,57	0,06	0,65	0,90
	4	-5,38	-3,53	-1,68	-0,87	-0,49	-0,20	0,19	0,59	0,77
	5	-3,13	-2,17	-1,03	-0,51	-0,26	-0,01	0,24	0,54	0,69
	6	-2,10	-1,45	-0,70	-0,32	-0,14	0,02	0,24	0,50	0,63
	7	-1,50	-1,06	-0,50	-0,22	-0,07	0,06	0,24	0,47	0,60
	8	-1,15	-0,81	-0,39	-0,15	-0,04	0,08	0,24	0,45	0,58
	9	-0,93	-0,66	-0,30	-0,11	-0,01	0,09	0,23	0,44	0,56
	10	-0,76	-0,54	-0,26	-0,09	0,00	0,09	0,23	0,43	0,56
	11	-0,65	-0,48	-0,22	-0,07	0,01	0,09	0,23	0,43	0,56
	12	-0,57	-0,42	-0,19	-0,06	0,02	0,10	0,23	0,43	0,56
	13	-0,51	-0,38	-0,18	-0,05	0,02	0,10	0,23	0,43	0,56
	14	-0,47	-0,36	-0,17	-0,05	0,03	0,10	0,23	0,43	0,56
15	3	-13,14	-8,14	-3,63	-1,92	-1,20	-0,65	0,02	0,64	0,89
	4	-5,55	-3,74	-1,78	-0,94	-0,55	-0,23	0,19	0,60	0,78
	5	-3,35	-2,27	-1,10	-0,56	-0,29	-0,07	0,23	0,55	0,70
	6	-2,21	-1,55	-0,75	-0,36	-0,17	-0,00	0,23	0,50	0,64
	7	-1,56	-1,11	-0,55	-0,25	-0,09	0,04	0,23	0,47	0,59
	8	-1,20	-0,86	-0,42	-0,18	-0,05	0,06	0,23	0,45	0,57
	9	-0,96	-0,70	-0,35	-0,13	-0,03	0,07	0,23	0,43	0,56
	10	-0,82	-0,59	-0,28	-0,10	-0,01	0,08	0,23	0,42	0,55
	11	-0,70	-0,51	-0,24	-0,08	0,01	0,09	0,23	0,42	0,54
	12	-0,62	-0,45	-0,21	-0,07	0,01	0,09	0,23	0,41	0,54
	13	-0,55	-0,41	-0,19	-0,06	0,02	0,10	0,23	0,41	0,54
	14	-0,50	-0,37	-0,18	-0,05	0,03	0,10	0,23	0,41	0,54
	15	-0,46	-0,35	-0,17	-0,04	0,03	0,10	0,23	0,42	0,54

Таблиця М.12

N	r	$V_q^{0,90}$ за ймовірності q					
		0,05	0,10	0,25	0,90	0,95	0,98
3	3	1,10	1,43	2,18	8,99	13,16	20,93
	4	1,16	1,49	2,18	9,03	13,07	20,23
4	4	1,16	1,46	2,06	6,47	8,39	11,66
	5	1,18	1,51	2,17	8,78	12,58	20,38
5	4	1,23	1,51	2,09	6,49	8,48	11,73
	5	1,23	1,49	2,02	5,48	6,73	8,66
6	3	1,18	1,53	2,15	8,24	11,74	18,65
	4	1,28	1,55	2,10	6,33	8,18	11,39
6	5	1,29	1,54	2,05	5,42	6,73	8,89
	6	1,27	1,53	2,01	4,86	5,83	7,31
7	3	1,18	1,53	2,13	7,80	11,12	17,54
	4	1,31	1,58	2,10	6,16	7,89	10,90
7	5	1,33	1,57	2,06	5,36	6,68	8,44
	6	1,32	1,56	2,03	4,66	5,82	7,23
7	7	1,32	1,55	2,00	4,46	5,25	6,37
8	3	1,13	1,52	2,11	7,51	10,67	16,36
	4	1,33	1,60	2,10	5,96	7,79	10,76
8	5	1,36	1,60	2,08	5,28	6,50	8,62
	6	1,36	1,59	2,05	4,83	5,83	7,18
8	7	1,36	1,58	2,03	4,49	5,31	6,40
	8	1,36	1,58	2,01	4,21	4,90	5,84
9	3	1,12	1,51	2,00	7,14	10,21	15,61
	4	1,36	1,61	2,10	5,77	7,39	10,26
9	5	1,41	1,63	2,08	5,13	6,34	8,13
	6	1,41	1,62	2,06	4,74	5,67	7,06
9	7	1,41	1,62	2,04	4,48	5,28	6,46
	8	1,40	1,61	2,02	4,26	4,95	5,04
9	9	1,40	1,60	2,00	4,04	4,66	5,50
10	3	0,99	1,46	2,05	6,75	9,36	14,88
	4	1,34	1,62	2,08	5,56	7,17	9,60
10	5	1,42	1,64	2,07	5,00	6,13	8,02
	6	1,43	1,64	2,05	4,67	5,59	6,90
10	7	1,43	1,64	2,04	4,41	5,18	6,29
	8	1,43	1,63	2,02	4,22	4,91	5,83
10	9	1,42	1,63	2,01	4,03	4,63	5,51
	10	1,42	1,62	1,99	3,86	4,41	5,16

Продовження таблиці М.12

N	r	$V_q^{0,90}$ за ймовірності q					
		0,05	0,10	0,25	0,90	0,95	0,98
11	3	0,90	1,42	2,01	6,41	9,11	14,47
	4	1,35	1,61	2,06	5,46	7,04	9,98
	5	1,43	1,64	2,05	4,90	6,07	7,83
	6	1,45	1,64	2,04	4,58	5,52	6,96
	7	1,45	1,64	2,03	4,36	4,16	6,34
	8	1,45	1,64	2,01	4,15	4,87	5,82
	9	1,44	1,64	2,00	4,01	4,63	5,54
	10	1,44	1,64	1,99	3,87	4,44	5,23
	11	1,45	1,64	1,98	3,76	4,26	4,94
12	3	0,75	1,37	1,98	6,00	8,40	12,96
	4	1,34	1,60	2,05	5,17	6,60	9,07
	5	1,44	1,66	2,05	4,72	5,79	7,35
	6	1,46	1,67	2,04	4,41	5,31	6,61
	7	1,47	1,67	2,03	4,21	4,98	6,09
	8	1,47	1,66	2,02	4,06	4,75	5,71
	9	1,46	1,66	2,01	3,94	4,53	5,40
	10	1,47	1,65	2,00	3,87	4,37	5,11
	11	1,46	1,64	1,99	3,72	4,2	4,88
	12	1,47	1,64	1,99	3,62	4,07	4,68
13	3	0,72	1,34	1,99	5,88	8,16	12,45
	4	1,31	1,60	2,06	5,10	6,45	8,82
	5	1,45	1,67	2,07	4,71	5,75	7,32
	6	1,48	1,68	2,07	4,43	5,30	6,49
	7	1,49	1,68	2,06	4,23	4,96	6,02
	8	1,49	1,68	2,04	4,06	4,73	5,63
	9	1,49	1,68	2,03	3,94	4,55	5,32
	10	1,49	1,68	2,03	3,83	4,37	5,11
	11	1,49	1,68	2,02	3,74	4,23	4,90
	12	1,49	1,67	2,01	3,65	4,09	4,73
	13	1,49	1,67	2,01	3,57	3,97	4,51

N	r	$\gamma_q^{0,90}$ за імовірності q					
		0,05	0,10	0,25	0,90	0,95	0,98
14	3	0,57	1,25	1,93	5,56	7,69	11,56
	4	1,29	1,59	2,03	4,93	6,17	8,28
	5	1,46	1,67	2,05	4,58	5,54	6,96
	6	1,51	1,69	2,05	4,33	5,12	6,27
	7	1,52	1,69	2,04	4,15	4,82	5,75
	8	1,52	1,69	2,03	4,03	4,61	5,47
	9	1,52	1,69	2,03	3,90	4,45	5,18
	10	1,51	1,68	2,02	3,78	4,30	4,94
	11	1,51	1,68	2,01	3,71	4,20	4,79
	12	1,51	1,68	2,01	3,64	4,09	4,67
	13	1,51	1,68	2,00	3,55	3,98	4,51
	14	1,51	1,68	2,00	3,46	3,85	4,36
15	3	0,43	1,19	1,91	5,39	7,23	10,78
	4	1,26	1,59	2,03	4,78	5,95	7,94
	5	1,44	1,67	2,06	4,43	5,36	6,85
	6	1,50	1,69	2,06	4,22	4,97	6,19
	7	1,52	1,70	2,06	4,08	4,72	5,77
	8	1,52	1,70	2,05	3,95	4,57	5,40
	9	1,52	1,69	2,04	3,85	4,40	5,16
	10	1,52	1,69	2,04	3,76	4,26	4,95
	11	1,52	1,69	2,03	3,69	4,15	4,76
	12	1,52	1,69	2,02	3,62	4,08	4,62
	13	1,52	1,68	2,01	3,55	3,98	4,51
	14	1,51	1,69	2,01	3,49	3,89	4,39
	15	1,52	1,68	2,01	3,41	3,77	4,23

Таблиця М.13

N	r	$V_q^{0,95}$ за імовірності q					
		0,05	0,10	0,25	0,90	0,95	0,98
3	3	1,64	2,04	2,94	11,85	17,21	27,32
	4	1,73	2,11	2,98	12,17	17,55	27,59
4	4	1,69	2,04	2,78	8,40	10,88	15,06
	5	1,79	2,16	3,00	12,07	17,36	28,30
5	4	1,76	2,10	2,82	8,56	11,14	15,51
	5	1,74	2,06	2,72	7,06	8,68	11,14
6	3	1,83	2,20	2,99	11,53	16,66	26,85
	4	1,83	2,15	2,84	8,47	10,95	15,32
7	5	1,81	2,12	2,76	7,08	8,82	11,58
	6	1,80	2,10	2,70	6,27	7,53	9,39
8	3	1,87	2,22	2,97	11,20	16,07	25,31
	4	1,88	2,19	2,86	8,39	10,80	14,80
9	5	1,86	2,16	2,78	7,12	8,84	11,18
	6	1,84	2,14	2,72	6,33	7,61	9,40
10	7	1,85	2,14	2,68	5,76	6,73	8,19
	8	1,90	2,24	2,96	11,02	15,76	24,57
11	4	1,91	2,22	2,87	8,19	10,74	15,22
	5	1,90	2,20	2,79	7,70	8,78	11,57
12	6	1,89	2,18	2,75	6,35	7,67	9,43
	7	1,89	2,17	2,71	5,83	6,91	8,38
13	8	1,89	2,17	2,69	5,44	6,29	7,50
	9	1,93	2,26	2,95	10,71	15,33	23,80
14	4	1,96	2,25	2,88	8,02	10,40	14,41
	5	1,95	2,23	2,80	6,90	8,59	11,05
15	6	1,95	2,22	2,76	6,27	7,51	9,46
	7	1,94	2,21	2,73	5,86	6,91	8,40
16	8	1,94	2,20	2,70	5,53	6,39	7,73
	9	1,95	2,19	2,68	5,72	6,00	7,09
17	3	1,91	2,26	2,91	10,24	14,50	23,00
	4	1,98	2,27	2,86	7,81	10,12	13,69
18	5	1,97	2,24	2,80	6,87	8,39	11,00
	6	1,97	2,23	2,76	6,24	7,50	9,42
19	7	1,96	2,22	2,73	5,79	6,83	8,29
	8	1,96	2,21	3,71	5,52	6,40	7,61
20	9	1,96	2,21	2,69	5,23	6,01	7,12
	10	1,96	2,21	2,69	4,98	5,67	6,65

0

N	r	$V_q^{0,95}$ за ймовірності q					
		0,05	0,10	0,25	0,90	0,95	0,98
11	3	1,93	2,25	2,88	9,87	14,11	22,60
	4	2,01	2,27	2,83	7,71	10,03	14,44
	5	2,01	2,26	2,78	6,72	8,34	10,93
	6	2,00	2,24	2,74	6,16	7,42	9,39
	7	1,99	2,23	2,72	5,79	6,83	8,42
	8	1,99	2,22	2,70	5,46	6,38	7,65
	9	1,98	2,22	2,68	5,23	6,04	7,23
	10	2,00	2,22	2,67	5,03	5,75	6,73
	11	2,00	2,22	2,66	4,85	5,49	6,35
12	3	1,91	2,26	2,87	9,41	13,40	21,39
	4	2,02	2,28	2,84	7,42	9,56	13,27
	5	2,03	2,28	2,78	6,54	8,08	10,40
	6	2,02	2,27	2,75	5,97	7,22	9,00
	7	2,02	2,26	2,73	5,63	6,66	8,08
	8	2,01	2,25	2,71	5,36	6,27	7,49
	9	2,01	2,24	2,69	5,16	5,95	7,06
	10	2,01	2,23	2,67	4,99	5,67	6,63
	11	2,01	2,24	2,67	4,84	5,47	6,29
	12	2,02	2,24	2,66	4,68	5,26	6,00
13	3	1,92	2,27	2,88	9,23	13,11	20,76
	4	2,05	2,31	2,84	7,38	9,47	13,09
	5	2,06	2,30	2,81	6,57	8,04	10,25
	6	2,05	2,29	2,78	6,03	7,24	8,89
	7	2,05	2,28	2,75	5,65	6,68	8,10
	8	2,04	2,27	2,74	5,40	6,29	7,43
	9	2,04	2,27	2,72	5,17	6,00	6,99
	10	2,04	2,27	2,70	5,01	5,70	6,66
	11	2,04	2,27	2,70	4,87	5,50	6,35
	12	2,04	2,27	2,69	4,73	5,30	6,12
	13	2,05	2,27	2,68	4,61	5,12	5,80

Закінчення таблиці М.13

N	r	$V_q^{0,95}$ за ймовірності q					
		0,05	0,10	0,25	0,50	0,75	0,90
14	3	1,92	2,26	2,84	8,84	12,73	19,14
	4	2,06	2,31	2,82	7,18	9,10	12,45
	5	2,08	2,31	2,79	6,38	7,82	9,93
	6	2,08	2,30	2,76	5,91	7,07	8,71
	7	2,07	2,29	2,73	5,58	6,53	7,78
	8	2,07	2,28	2,72	5,35	6,16	7,30
	9	2,07	2,28	2,71	5,14	5,88	6,92
	10	2,06	2,27	2,70	4,98	5,65	6,49
	11	2,07	2,28	2,69	4,86	5,48	6,26
	12	2,07	2,28	2,68	4,73	5,31	6,06
	13	2,07	2,29	2,68	4,61	5,14	5,80
	14	2,08	2,28	2,66	4,48	4,97	5,60
15	3	1,88	2,24	2,84	8,75	12,22	18,38
	4	2,06	2,31	2,83	7,00	8,90	11,93
	5	2,09	2,32	2,80	6,25	7,64	9,79
	6	2,09	2,31	2,79	5,79	6,91	8,55
	7	2,08	2,30	2,76	5,50	6,41	7,90
	8	2,08	2,29	2,74	5,29	6,10	7,26
	9	2,07	2,29	2,73	5,11	5,81	6,87
	10	2,07	2,28	2,72	4,96	5,61	6,50
	11	2,07	2,28	2,70	4,84	5,43	6,22
	12	2,07	2,28	2,70	4,73	5,31	6,00
	13	2,07	2,28	2,69	4,63	5,17	5,88
	14	2,07	2,28	2,68	4,53	5,02	5,66
	15	2,08	2,28	2,68	4,43	4,88	5,46

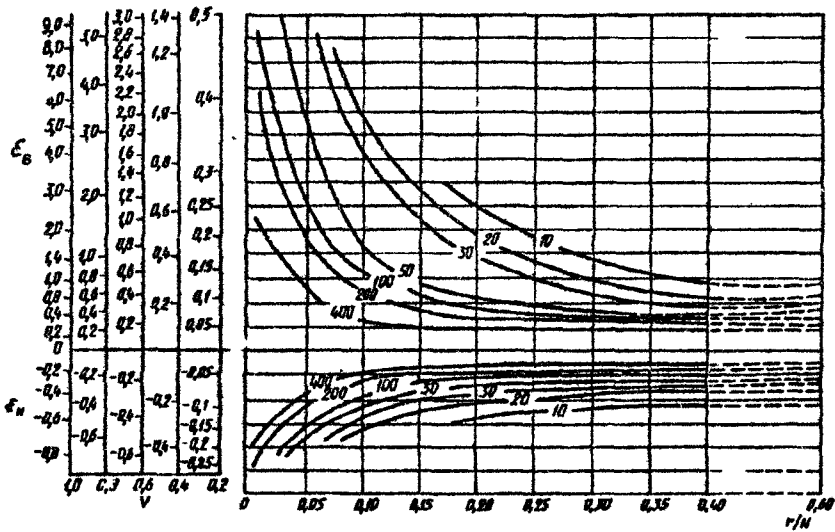
Таблиця М.14

N	r	$V_q^{0,99}$ за імовірності q					
		0,05	0,10	0,25	0,90	0,95	0,98
3	3	2,75	3,32	4,63	18,15	26,71	42,07
	4	2,87	3,44	4,74	19,38	27,97	43,72
4	4	2,82	3,31	4,38	12,79	16,62	23,12
	5	2,95	3,47	4,80	19,73	28,71	46,68
5	4	2,86	3,37	4,44	13,31	17,41	24,31
	5	2,87	3,32	4,28	10,75	13,23	16,87
6	3	3,02	3,55	4,80	19,28	28,02	45,73
	4	2,96	3,45	4,49	13,49	17,54	24,27
7	5	2,94	3,38	4,33	10,96	13,67	17,96
	6	2,94	3,39	4,25	9,49	11,41	14,37
7	3	3,11	3,61	4,81	19,27	27,76	44,93
	4	3,04	3,49	4,52	13,53	17,47	23,96
8	5	3,00	3,44	4,37	11,20	13,91	17,78
	6	3,01	3,41	4,26	9,75	11,74	14,36
9	7	3,02	3,43	4,21	8,75	10,20	12,38
	8	3,12	3,65	4,82	19,24	27,78	44,29
10	4	3,07	3,53	4,54	13,42	17,64	25,03
	5	3,05	3,47	4,39	11,12	13,92	18,42
11	6	3,04	3,45	4,30	9,82	11,87	14,78
	7	3,06	3,47	4,24	8,92	10,52	12,89
12	8	3,08	3,47	4,20	8,27	9,52	11,35
	9	3,20	3,66	4,81	19,00	27,91	43,02
13	4	3,12	3,56	4,56	13,28	17,57	24,34
	5	3,10	3,52	4,40	10,98	13,78	17,99
14	6	3,10	3,52	4,32	9,82	11,78	14,84
	7	3,10	3,61	4,27	9,06	10,66	12,96
15	8	3,12	3,50	4,24	8,44	9,75	11,85
	9	3,17	3,50	4,20	7,90	9,04	10,71
16	3	3,20	3,68	4,77	18,61	27,05	43,21
	4	3,16	3,60	4,53	13,12	17,17	23,48
17	5	3,13	3,54	4,41	11,05	13,70	17,82
	6	3,11	3,51	4,33	9,81	11,86	15,01
18	7	3,12	3,50	4,28	8,99	10,66	13,03
	8	3,15	3,50	4,23	8,49	9,88	11,69
19	9	3,16	3,51	4,21	7,97	9,17	10,82
	10	3,19	3,53	4,18	7,57	8,57	10,03

Продовження таблиці М.14

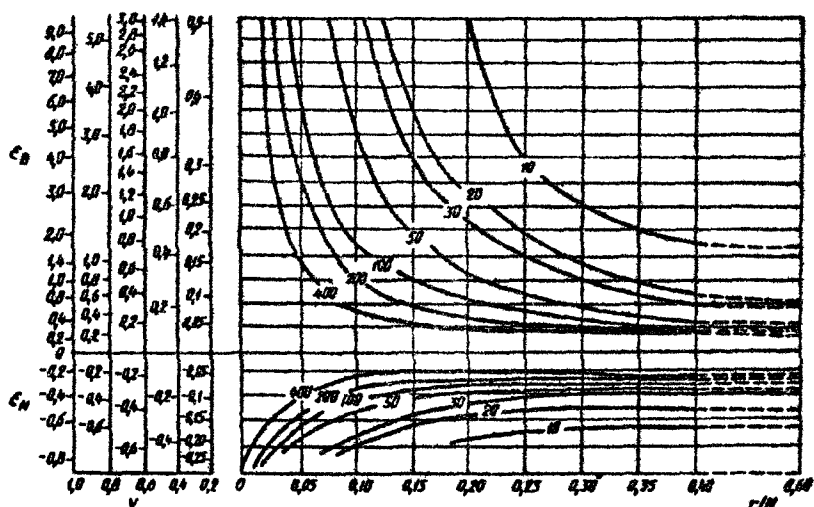
N	r	$V_q^{0,99}$ за ймовірності q					
		0,05	0,10	0,25	0,90	0,95	0,98
11	3	3,22	3,67	4,75	18,19	26,45	43,82
	4	3,16	3,58	4,53	13,02	17,25	24,97
	5	3,15	3,55	4,39	10,99	13,66	18,13
	6	3,14	3,52	4,30	9,79	11,86	15,02
	7	3,16	3,51	4,26	9,03	10,72	13,30
	8	3,16	3,51	4,23	8,43	9,86	11,88
	9	3,17	3,51	4,20	5,02	9,24	11,08
	10	3,20	3,53	4,18	7,67	8,73	10,20
	11	3,24	3,55	4,17	7,36	8,31	9,57
12	3	3,28	3,72	4,77	17,59	25,73	41,44
	4	3,22	3,62	4,52	12,72	16,60	23,41
	5	3,19	3,58	4,59	10,68	13,37	17,35
	6	3,19	3,55	4,31	9,61	11,60	14,59
	7	3,28	3,54	4,27	8,85	10,55	12,65
	8	3,18	3,54	4,24	8,34	9,75	11,64
	9	3,18	3,53	4,21	7,98	9,18	10,90
	10	3,20	3,54	4,18	7,66	8,68	10,17
	11	3,23	3,55	4,17	7,37	8,5	9,53
13	12	3,27	3,57	4,17	7,09	7,96	9,03
	3	3,30	3,74	4,78	17,58	25,37	40,28
	4	3,25	3,66	4,58	12,81	16,56	23,73
	5	3,22	3,60	4,43	10,86	13,47	17,15
	6	3,21	3,57	4,35	9,71	11,72	14,47
	7	3,21	3,57	4,30	8,97	10,61	13,04
	8	3,22	3,57	4,28	8,46	9,88	11,74
	9	3,23	3,56	4,25	8,02	9,27	10,88
	10	3,24	3,57	4,23	7,72	8,80	10,25
	11	3,25	3,58	4,22	7,46	8,42	9,65
	12	3,27	3,60	4,21	7,21	8,03	9,27
	13	3,30	3,61	4,20	6,90	7,75	8,76

N	r	$V_q^{0,99}$ за ймовірності q					
		0,05	0,10	0,25	0,90	0,95	0,98
14	3	3,30	3,75	4,75	17,23	25,09	39,16
	4	3,28	3,68	4,52	12,48	16,19	22,41
	5	3,25	3,62	4,40	10,64	13,22	16,89
	6	3,24	3,58	4,33	9,59	11,55	14,29
	7	3,23	3,58	4,28	8,88	10,47	12,51
	8	3,24	3,58	4,25	8,40	9,71	11,54
	9	3,25	3,58	4,23	8,00	9,17	10,81
	10	3,26	3,58	4,22	7,71	8,72	10,06
	11	3,28	3,60	4,20	7,46	8,42	9,61
	12	3,31	3,61	4,20	7,25	8,11	9,25
	13	3,31	3,62	4,19	7,03	7,82	8,81
	14	3,34	3,63	4,17	6,81	7,49	8,45
15	3	3,34	3,77	4,78	17,15	24,54	38,14
	4	3,29	3,69	4,55	12,41	15,96	21,82
	5	3,28	3,64	4,42	10,56	12,94	16,99
	6	3,26	3,81	4,37	9,45	11,38	14,24
	7	3,25	3,59	4,31	8,81	10,31	12,84
	8	3,25	3,59	4,27	8,36	9,36	11,58
	9	3,26	3,58	4,26	8,00	9,11	10,79
	10	3,27	3,59	4,24	7,71	8,72	10,06
	11	3,26	3,59	4,21	7,48	8,37	9,61
	12	3,29	3,61	4,21	7,29	8,17	9,24
	13	3,30	3,61	4,20	7,09	7,89	8,92
	14	3,32	3,62	4,19	6,92	7,63	8,59
	15	3,35	3,62	4,19	6,70	7,37	8,24



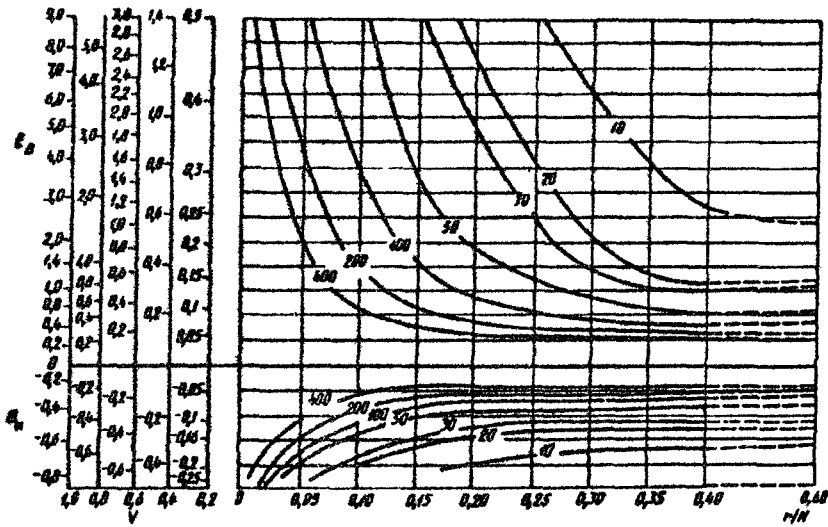
Цифри на кривих відповідають обсягу вибірки

Рисунок М.1 — Оцінювання довірчої границі середнього **заробітку** до відмови для $q^* = 0,80$



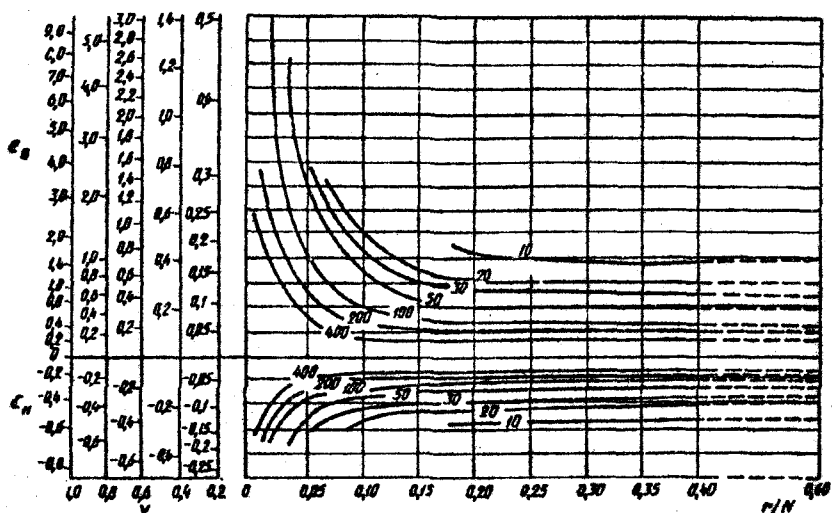
Цифри на кривих відповідають обсягу вибірки

Рисунок М.2 — Оцінювання довірчої границі середнього наробітку до відмови для $q^*=0,90$



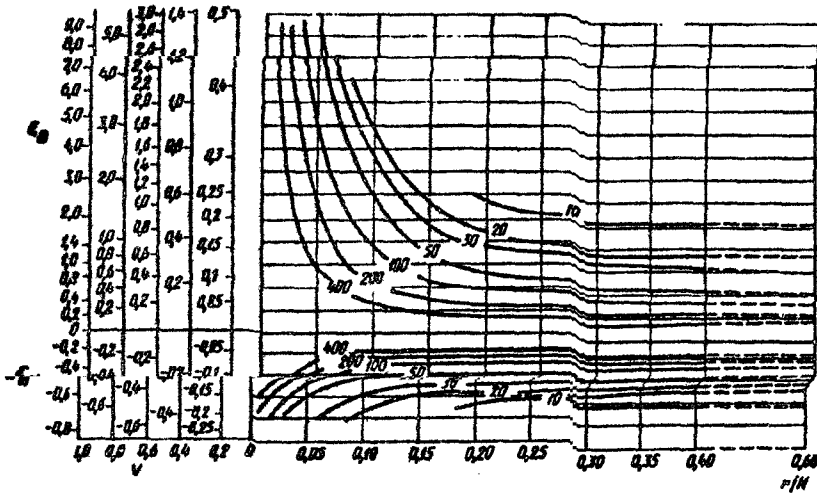
Цифри на кривих відповідають обсягу вибірки

Рисунок М.3 — Оцінювання довірчої границі середнього наробітку до відмови для $q^*=0,95$



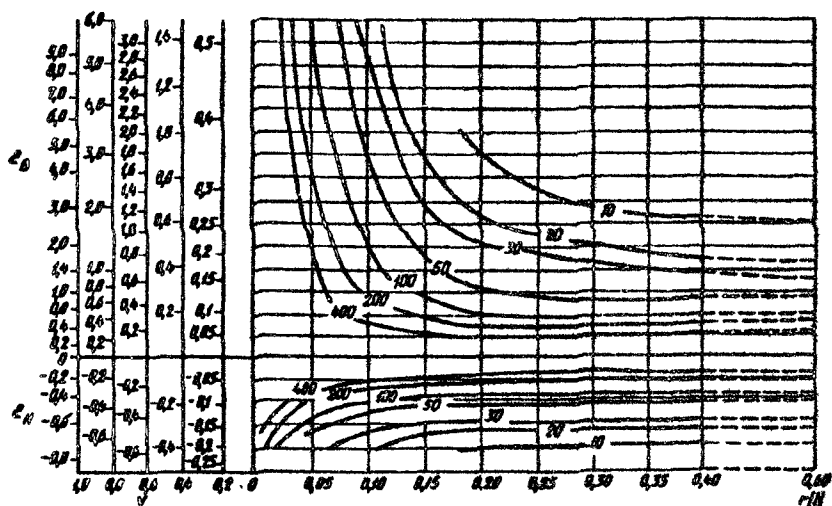
Цифри на кривих відповідають обсягу вибірки

Рисунок М.4 — Оцінювання довірчої границі 80 % наробітку до відмови для $q^* = 0,80$



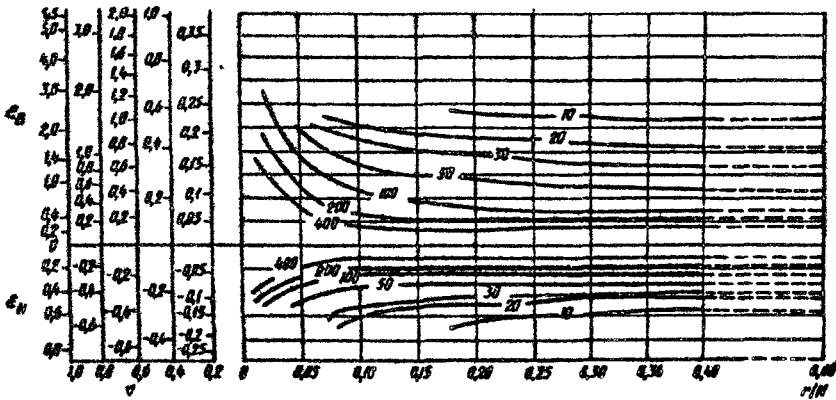
Цифри на кривих відповідають обсягу вибірки

Рисунок М.3 — Оцінювання довірчої границі 80 % наробітку до відмови для $q^* = 0,90$



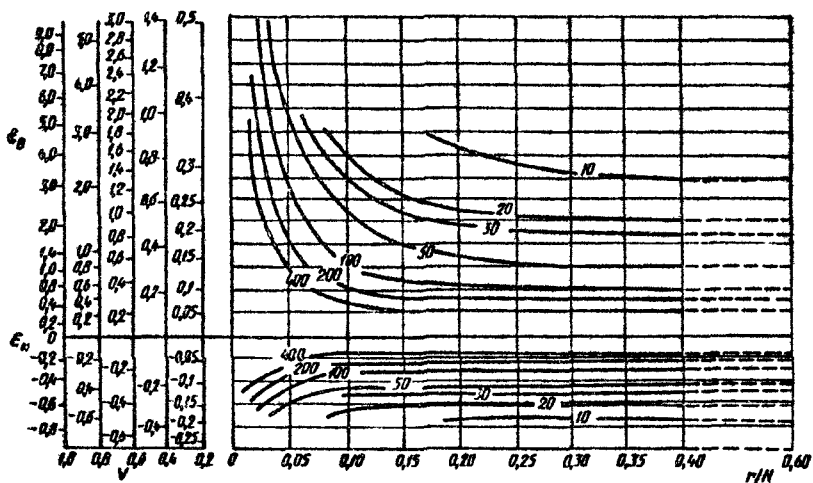
Цифри на кривих відповідають обсягу вибірки

Рисунок М.6 — Оцінювання довірчої границі 80 % наробітку до відмови для $q^* = 0,95$



Цифри на кривих відповідають обсягу вибірки

Рисунок М.7 — Оцінювання довірчої границі 90 % наробітку до відмови для $q^* = 0,80$



Цифри на кривих відповідають обсягу вибірки

Рисунок М.8 — Оцінювання довірчої границі 90 % наробітку до відмови для $q^*=0,90$

ДОДАТОК Н
(рекомендований)

**Оцінка імовірності безвідмовної роботи за
біноміального розподілу**

Н.1 Точкову оцінку імовірності безвідмовної роботи $\hat{P}(T)$ за наробіток (час) T розраховують за формулою

$$\hat{P}(T) = 1 - d/N.$$

Н.2 Інтервальні оцінки імовірності безвідмовної роботи за наробіток T

Н.2.1 Нижню довірчу границю імовірності безвідмовної роботи $\underline{P}(T)$ за наробіток T рівня q розраховують за наближеними формулами

$$\underline{P}(T) = \exp[-\chi^2_{q}(2d+2)/2K_2(N, d+1)], \quad d \leq \frac{N}{2}; \quad (\text{Н.1})$$

$$\underline{P}(T) = 1 - \exp[-\chi^2_{1-q}(2(N-d)+2)/2K_2(N, N-d)], \quad d > \frac{N}{2}. \quad (\text{Н.2})$$

Значення $K_2(N, m)$ визначають за даними таблиці Н.1 або за формулою

$$K_2(N, m) = m / \sum_{i=0}^{m-1} (N-i)^{-1}.$$

Значення $\chi^2_q(m)$ визначають за даними таблиці Д.5 додатку Д.

Н.2.2 Верхню довірчу границю імовірності безвідмовної роботи $\bar{P}(T)$ за наробіток T рівня q розраховують за наближеними формулами

$$\bar{P}(T) = \exp[-\chi^2_{1-q}(2d)/2K_2(N, d)], \quad d \leq \frac{N}{2}; \quad (\text{Н.3})$$

$$\bar{P}(T) = 1 - \exp[-\chi^2_q(2N-2d+2)/2K_2(N, N-d+1)], \quad d > \frac{N}{2}. \quad (\text{Н.4})$$

Таблиця Н.1 — Значення коефіцієнта K_2

N	m																
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	
4	3,428																
5	4,444																
6	5,454	4,864															
7	6,461	5,887															
8	7,466	6,904	6,303														
9	8,470	7,916	7,330														
10	9,473	8,925	8,351	7,744													
11	10,476	9,993	9,367	8,773													
12	11,478	10,939	10,380	9,797	9,185												
13	12,480	11,944	11,390	10,816	10,216												
14	13,481	12,948	12,399	11,831	11,242	10,626											
15	14,482	13,952	13,406	12,844	12,263	11,659											
16	15,483	14,955	14,413	13,856	13,281	12,686	12,068										
17	16,484	15,958	15,419	14,865	14,296	13,709	13,102										
18	17,485	16,960	16,424	15,874	15,310	14,729	14,130	13,510									
19	18,486	17,962	17,428	16,881	16,321	15,747	15,155	14,544									
20	19,487	18,964	18,432	17,888	17,332	16,762	16,177	15,574									
21	20,487	19,966	19,435	18,894	18,341	17,775	17,195	16,600									
22	21,488	20,968	20,438	19,899	19,349	18,787	18,212	17,623									
23	22,488	21,969	21,441	20,904	20,356	19,798	19,227	18,643									
24	23,489	22,970	22,444	21,908	21,363	20,808	20,241	19,662									
25	24,489	23,973	23,446	22,912	22,369	21,817	21,253	20,678									
26	25,490	24,973	24,448	23,916	23,373	22,825	22,264	21,693	21,110	20,515	19,905	19,279					
27	26,490	25,974	25,450	24,919	24,380	23,832	23,274	22,707	22,128	21,537	20,934	20,315					
28	27,490	26,975	26,452	25,922	25,385	24,839	24,284	23,719	23,144	22,558	21,960	21,348	20,722				
29	28,491	27,976	27,454	26,925	26,399	25,845	25,292	24,731	24,159	23,577	22,984	22,378	21,758				
30	29,491	28,977	28,456	27,928	27,393	26,851	26,300	25,741	25,173	24,594	24,005	23,405	22,791	22,164			
31	30,491	29,977	29,457	28,930	28,397	27,856	27,308	26,751	26,185	25,610	25,025	24,429	23,821	23,201			
32	31,492	30,978	30,458	29,933	29,400	28,861	28,314	27,760	27,197	26,625	26,044	25,452	24,849	24,234	23,606		

N	M															
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
33	32,492	31,979	31,460	30,935	30,404	29,866	29,321	28,768	28,208	27,639	27,061	26,473	25,875	25,265	24,643	
34	33,492	32,979	32,461	31,937	31,407	30,870	30,327	29,776	29,218	28,651	28,076	27,492	26,898	26,294	25,677	25,049
35	34,492	33,980	33,462	32,939	32,410	31,874	31,332	30,783	30,227	29,663	29,091	28,510	27,920	27,320	26,709	26,086
36	35,492	34,980	34,463	33,941	33,413	32,878	32,337	31,790	31,236	30,674	30,105	29,527	28,940	28,344	27,738	27,121
37	36,493	35,981	35,464	34,942	34,415	33,882	33,342	32,797	32,244	31,685	31,118	30,543	29,959	29,367	28,765	28,152
38	37,493	36,981	36,465	35,944	35,417	34,885	34,347	33,803	33,252	32,694	32,130	31,557	30,977	30,388	29,790	29,182
39	38,493	37,982	37,466	36,945	36,419	35,888	35,351	34,808	34,259	33,703	33,141	32,571	31,993	31,408	30,813	30,209
40	39,493	38,982	38,467	37,947	37,422	36,891	36,355	35,814	35,266	34,712	34,151	33,584	33,009	32,426	31,835	31,235
41	40,493	39,983	39,468	38,948	38,424	37,894	37,359	36,819	36,272	35,720	35,161	34,596	34,023	33,443	32,855	32,259
42	41,493	40,983	40,469	39,949	39,426	38,897	38,363	37,823	37,278	36,728	36,171	35,607	35,037	34,460	33,875	33,282
43	42,494	41,984	41,469	40,951	40,427	39,899	39,366	38,828	38,284	37,735	37,180	36,618	36,050	35,475	34,893	34,303
44	43,494	42,984	42,470	41,952	41,429	40,902	40,370	39,832	39,290	38,742	38,188	37,628	37,062	36,489	35,910	35,323
45	44,494	43,984	43,471	42,953	42,431	41,904	41,373	40,836	40,295	39,748	39,196	38,638	38,074	37,503	36,926	36,342
46	45,494	44,985	44,471	43,954	43,432	42,906	42,376	41,840	41,300	40,754	40,204	39,647	39,085	38,516	37,941	37,359
47	46,494	45,985	45,472	44,955	44,434	43,908	43,379	42,844	42,305	41,760	41,211	40,656	40,095	39,528	38,956	38,376
48	47,494	46,985	46,473	45,956	45,435	44,910	44,381	43,848	43,309	42,766	42,218	41,664	41,105	40,540	39,969	39,392
49	48,494	47,986	47,473	46,957	46,437	45,912	45,384	44,851	44,314	43,771	43,224	42,672	42,114	41,551	40,982	40,407
50	49,494	48,986	48,474	47,958	47,438	46,914	46,386	45,854	45,318	44,776	44,230	43,679	43,123	42,562	41,995	41,422

ДОДАТОК П
(довідковий)

Приклади визначення оцінок показників надійності

П.1 Вихідні дані

З метою перевірки адекватності методів експериментальної оцінки показників надійності як приклад використовують дані результатів випробувань елементів індикації СМН-9 за максимально допустимого за ТУ електричного навантаження та циклічного режиму. Повний варіаційний ряд $N=504$ наробітків елементів індикації, випробуваних за планом [NUN], наведено в таблиці П.1.

Таблиця П.1 — Значення наробітків елементів індикації в тисячах циклів

6, 9, 11, 13, 13, 14, 14, 15, 18, 19, 19, 21, 24, 25, 25, 27, 28,
28, 30, 33, 33, 34, 34, 34, 34, 35, 36, 36, 36, 36, 37, 39, 39, 42,
44, 45, 45, 45, 47, 47, 47, 49, 49, 52, 53, 54, 54, 58, 60, 60,
61, 61, 62, 62, 63, 63, 65, 65, 66, 66, 66, 67, 68, 69, 69, 69,
70, 71, 72, 72, 72, 74, 74, 74, 75, 76, 77, 77, 77, 77, 78, 78, 78,
78, 78, 80, 80, 80, 80, 81, 81, 82, 83, 83, 84, 84, 84, 85, 86,
86, 87, 88, 90, 91, 92, 92, 92, 94, 95, 97, 98, 98, 99, 99, 99,
99, 99, 100, 101, 102, 102, 104, 104, 104, 105, 106, 108, 109,
109, 110, 111, 111, 112, 112, 112, 113, 113, 113, 114, 114, 114,
115, 117, 117, 118, 119, 120, 120, 120, 121, 122, 122, 123,
124, 124, 125, 126, 127, 128, 128, 129, 129, 130, 131, 132, 132,
132, 132, 133, 133, 133, 134, 134, 134, 135, 136, 136, 136, 136, 136, 138,
139, 139, 139, 141, 141, 142, 143, 144, 144, 144, 145, 145, 145,
145, 145, 146, 147, 147, 149, 150, 151, 151, 151, 152, 152, 152,
153, 153, 154, 154, 155, 156, 157, 158, 158, 160, 162, 162, 163, 163,
164, 165, 166, 167, 167, 168, 168, 168, 169, 169, 169, 170, 170,
172, 172, 174, 176, 176, 176, 177, 178, 178, 179, 179, 180, 180,
181, 182, 182, 183, 183, 186, 187, 187, 189, 190, 191, 191, 191,

Закінчення таблиці П.1

192, 192, 193, 193, 193, 194, 194, 194, 194, 195, 197, 198, 198,
 200, 201, 202, 203, 203, 203, 204, 205, 206, 206, 207, 207, 207,
 208, 208, 208, 208, 208, 209, 211, 211, 211, 212, 212, 213,
 214, 216, 217, 218, 220, 220, 221, 223, 224, 225, 225, 226, 226,
 226, 227, 227, 228, 228, 229, 229, 229, 230, 230, 230, 230,
 232, 232, 233, 233, 233, 233, 235, 236, 236, 240, 240, 240,
 241, 242, 243, 243, 244, 244, 244, 244, 244, 245, 245, 245,
 246, 246, 247, 248, 249, 250, 250, 252, 253, 252, 254, 254,
 255, 255, 256, 256, 259, 261, 264, 264, 269, 269, 269, 269, 270,
 271, 271, 273, 273, 274, 275, 275, 276, 276, 278, 278, 279,
 281, 281, 281, 281, 283, 283, 284, 284, 286, 287, 292, 293,
 296, 298, 298, 299, 299, 300, 303, 306, 307, 307, 308, 310,
 310, 310, 311, 312, 312, 314, 314, 321, 321, 321, 322, 322,
 322, 329, 330, 332, 332, 334, 342, 342, 347, 347, 351, 355,
 357, 359, 364, 364, 364, 365, 366, 367, 367, 370, 374, 377, 379,
 380, 382, 384, 384, 385, 387, 387, 391, 392, 397, 398, 398,
 398, 401, 406, 407, 412, 412, 413, 414, 416, 412, 433, 435,
 435, 446, 462, 470, 471, 474, 479, 480, 480, 485, 488, 488,
 507, 508, 513, 540, 542, 561, 562, 575, 578, 579, 593, 604,
 638, 640, 674, 679, 684, 688, 806, 925, 1013, 1112, 1256

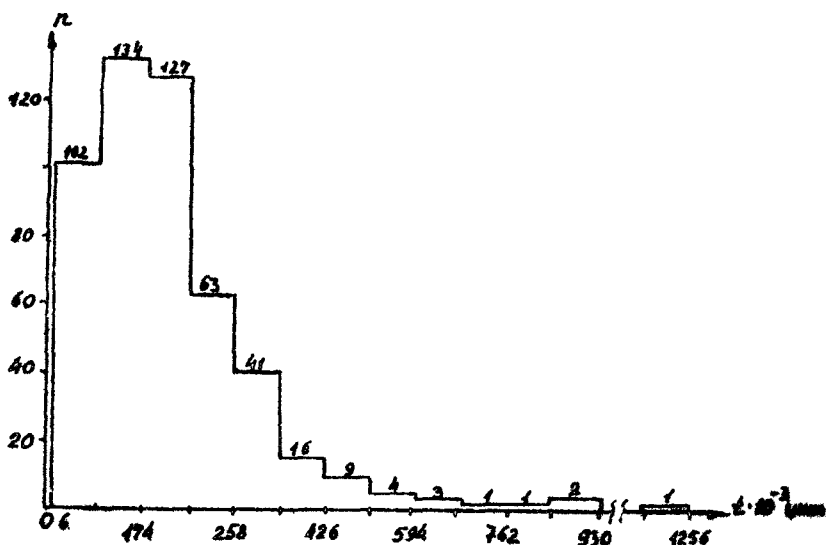


Рисунок П.1 — Гістограма розподілу відмов елементів індикації

Перевірка гіпотез про вид закону розподілу відмов елементів індикації провадилась за допомогою статистичних критеріїв χ^2 -квадрат (χ^2) і Колмогорова (KL). Результати перевірки наведено в таблиці П.2.

Таблиця П.2

Критерій узгодження	Розподіл					Значення критерію для $\alpha = 0,05$
	експоненційний E	логіфімічно нормальний LN	дифузійний DN	дифузійний DM	Вейбулла, W	
χ^2	8,4	2,9	4,3	5,3	1,3	9,5
KL	1,7	1,6	1,5	1,6	2,1	1,52

Аналіз результатів перевірки статистичних гіпотез показує, що перелічені функції розподілу з різним ступенем переваги можуть бути використані як теоретична модель надійності елементів індикації.

Великий обсяг випробувань елементів індикації за планом [NUN] дає змогу з високим ступенем вірогідності визначити точкові оцінки показників надійності непараметричним методом, припускаючи, що одержані оцінки є оцінками генеральної сукупності.

П.2 Визначення точкових оцінок показників надійності елементів індикації непараметричним методом за повною вибіркою та планом випробувань [NUN].

П.2.1 Визначаємо середній наробіток до відмови \tilde{T}_1 , використовуючи формули таблиці Г.4

$$\tilde{T}_1 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N t_i = 212\,000 \text{ циклів.}$$

П.2.2 Визначаємо гамма-відсотковий наробіток до відмови \tilde{T}_γ за $\gamma = 90\%$.

Обчислюємо регламентовану імовірність відмови:

$$1 - \frac{\gamma}{100} = 0,1.$$

Перевіряємо умову: $\tilde{F}(t_{i-1}) < 1 - \frac{\gamma}{100} < \tilde{F}(t_i)$.

Визначаємо $\tilde{F}(t_{i-1})$ і $\tilde{F}(t_i)$:

$$\tilde{F}(t_{i-1}) = \tilde{F}(t_{50}) = \tilde{F}(60\,000) = 0,0992;$$

$$\tilde{F}(t_i) = \tilde{F}(t_{51}) = \tilde{F}(61\,000) = 0,101;$$

$$d_1 = \frac{1 - \gamma/100 - \tilde{F}(t_{i-1})}{\tilde{F}(t_i) - \tilde{F}(t_{i-1})} = \frac{0,1 - 0,0992}{0,101 - 0,0992} = 0,444;$$

$$\begin{aligned} \tilde{T}_\gamma &= t_{i-1} + d_1(t_i - t_{i-1}) = 60\,000 + 0,444(61\,000 - 60\,000) = \\ &= 60\,444 \text{ цикли} \end{aligned}$$

П.2.3 Визначаємо імовірність безвідмовної роботи на наробіток t $\tilde{P}(t)$.

Як приклад беремо $t = 50\,000$ циклів.

Перевіряємо умову $t_{i-1} < t < t_i$

Визначаємо t_{i-1} і t_i

$$t_{i-1} = 49\,000 \text{ циклів, } \tilde{F}(t_{i-1}) \approx 0,085;$$

$$t_i = 52\,000 \text{ циклів, } \tilde{F}(t_i) = 0,087;$$

$$d_2 = \frac{t - t_{i-1}}{t_i - t_{i-1}} = \frac{50\,000 - 49\,000}{52\,000 - 49\,000} = 0,333;$$

$$\begin{aligned}\bar{P}(t) &= 1 - \bar{F}(t_{i-1}) - d_2[\bar{F}(t_i) - \bar{F}(t_{i-1})] = \\ &= 1 - 0,085 - 0,333(0,087 - 0,085) = 0,914.\end{aligned}$$

П.3 Визначення точкових оцінок показників надійності елементів індикації за цензурованою вибіркою та планом випробувань [NUT]

П.3.1 Формування цензурованої вибірки

П.3.1.1 Цензурована (справа) вибірка обсягом $N=15$ формується з повної вибірки з $N=504$ за допомогою таблиць випадкових чисел з рівномірним розподілом. Виписуються зліва направо випадкові числа в інтервалі від 1 до 504: 136, 79, 431, 398, 96, 317, 193, 170, 397, 236, 204, 470, 92, 170, 11. З таблиці Н.1 вибираються значення наробітку з такими порядковими номерами {113, 77, 351, 298, 84, 229, 145, 133, 296, 172, 151, 462, 82, 133, 19} і будується варіаційний ряд {19, 77, 82, 84, 113, 133, 133, 145, 151, 172, 229, 296, 298, 351, 462}.

П.3.1.2 Як приклад приймаємо тривалість випробувань (наробіток до цензурування) $t_n = 130\ 000$ циклів. За час випробувань з $N=15$ виробів відмовили $m=5$ виробів такими наробітками t_i : 19, 77, 82, 84, 113 тисяч циклів.

П.3.2 Визначення точкових показників, надійності елементів індикації непараметричним методом згідно з таблицею Г.4.

П.3.2.1 Обчислюємо оцінку функції розподілу $F(t_i) = i/N$, $i \leq m$

$$\begin{aligned}\bar{F}(t_1) &= \bar{F}(19\ 000) = 1 / 15 = 0,067; \\ \bar{F}(t_2) &= \bar{F}(77\ 000) = 2 / 15 = 0,133; \\ \bar{F}(t_3) &= \bar{F}(82\ 000) = 3 / 15 = 0,2; \\ \bar{F}(t_4) &= \bar{F}(84\ 000) = 4 / 15 = 0,267; \\ \bar{F}(t_5) &= \bar{F}(113\ 000) = 5 / 15 = 0,333.\end{aligned}$$

П.3.2.2 Визначаємо середній наробіток до відмови \hat{T}_1 :

$$\hat{T}_1 = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m t_i + \frac{(N-m)}{m} t_m = \frac{1}{5} \sum_{i=1}^5 t_i + \frac{15-5}{5} \cdot 113\ 000 = 301\ 000 \text{ циклів,}$$

де $t_m = 113\ 000$ циклів.

П.3.2.3 Визначаємо гамма-відсотковий наробіток до відмови \hat{T}_γ за $\gamma = 90\ %$.

Розраховуємо регламентовану імовірність відмови

$$1 - \gamma/100 = 0,1.$$

Перевіряємо умову $\bar{F}(t_{i-1}) < 1 - \frac{\gamma}{100} < \bar{F}(t_i)$.

Визначаємо $\bar{F}(t_{i-1})$ і $\bar{F}(t_i)$:

$$\begin{aligned}\bar{F}(t_{i-1}) &= \bar{F}(t_1) = \bar{F}(19\ 000) = 0,067; \\ \bar{F}(t_i) &= \bar{F}(t_2) = \bar{F}(77\ 000) = 0,133;\end{aligned}$$

$$d = \frac{1 - \gamma/100 - \tilde{F}(t_{i-1})}{\tilde{F}(t_i) - \tilde{F}(t_{i-1})} = \frac{0,1 - 0,067}{0,133 - 0,067} = 0,5;$$

$$\tilde{T}_\gamma = t_{i-1} + d_1(t_i - t_{i-1}) = 19\,000 + 0,5(77\,000 - 19\,000) = 48\,000 \text{ циклів.}$$

П.3.2.4 Визначаємо імовірність безвідмовної роботи за наробіток t $\tilde{P}(t)$.

Як приклад беремо $t = 50\,000$ циклів.

Перевіряємо умову $t_{i-1} < t < t_i$.

Визначаємо t_{i-1} і t_i

$$t_{i-1} = 19\,000 \text{ циклів; } \tilde{F}(t_{i-1}) = 0,067;$$

$$t_i = 77\,000 \text{ циклів, } \tilde{F}(t_i) = 0,133;$$

$$d_2 = \frac{t - t_{i-1}}{t_i - t_{i-1}} = \frac{50\,000 - 19\,000}{77\,000 - 19\,000} = 0,534;$$

$$\tilde{P}(t) = 1 - \tilde{F}(t_{i-1}) - d_2[\tilde{F}(t_i) - \tilde{F}(t_{i-1})] = 1 - 0,067 - 0,534(0,133 - 0,067) = 0,898.$$

П.3.3 Визначення точкових оцінок показників надійності елементів індикації параметричними методами

П.3.3.1 Експоненційний розподіл згідно з таблицями Д.2—Д.4.

П.3.3.1.1 Визначаємо інтенсивність відмов $\hat{\lambda}$

$$\hat{\lambda} = \frac{d}{\sum_{i=1}^d t_i + (N - d)t_n} = \frac{5}{375\,000 + (15 - 5)13\,000} = 2,99 \cdot 10^{-6} \text{ /циклів,}$$

де $d = m = 5$.

3.3.1.2 Визначаємо середній наробіток до відмови \hat{T}_1

$$\hat{T}_1 = \frac{1}{\hat{\lambda}} = 1/2,99 \cdot 10^{-6} = 335\,000 \text{ циклів.}$$

П.3.3.1.3 Визначаємо гамма-відсотковий наробіток до відмови \hat{T}_γ за $\gamma = 90\%$

$$\hat{T}_\gamma = \frac{1}{\hat{\lambda}} \left(-\ln \frac{\gamma}{100} \right) = \frac{1}{2,99 \cdot 10^{-6}} \left(-\ln \frac{90}{100} \right) = 35\,295 \text{ циклів.}$$

П.3.3.1.4 Визначаємо імовірність безвідмовної роботи за наробіток

$$\hat{P}(t).$$

Як приклад беремо $t = 50\,000$ циклів

$$P(t) = \exp(-\hat{\lambda}t) = \exp(-2,99 \cdot 10^{-6} \cdot 50\,000) = 0,861.$$

П.3.3.2 DM-розподіл згідно з таблицею Ж.9.

П.3.3.2.1 Розраховуємо точкові оцінки параметрів $\hat{\mu}$ і $\hat{\nu}$. Апріорну оцінку параметра форми $\nu = 0,75$ визначаємо аналогічно П.3.3.3.1.

Точкову оцінку параметру масштабу $\hat{\mu}$ визначаємо за формулою

$$\hat{\mu} = \left[\sum_{i=1}^m i t_i \left(1 + \frac{\hat{v}^2 u_i^2 / N}{2} - \hat{v} u_i / N \sqrt{1 + \frac{\hat{v}^2 u_i^2 / N}{4}} \right) \right] / \sum_{i=1}^m i = 144\,878 \text{ цик-}$$

лів, де u_i / N визначається за таблицею Л.7.

П.3.3.2.2 Визначаємо середній наробіток до відмови \hat{T}_1

$$\hat{T}_1 = \hat{\mu} (1 + \hat{v}^2 / 2) = 185\,625 \text{ циклів.}$$

П.3.3.2.3 Визначаємо гамма-відсотковий наробіток до відмови \hat{T}_γ , за $\gamma = 90\%$

$$\begin{aligned} \hat{T}_\gamma &= \hat{\mu} \left(1 + \frac{\hat{v}^2 u_\gamma}{2} - \hat{v} u_\gamma \sqrt{1 + \frac{\hat{v}^2 u_\gamma}{4}} \right) = \\ &= 144\,878 \left(1 + \frac{0,75^2 \cdot 1,28^2}{2} - 0,75 \cdot 1,28 \sqrt{1 + \frac{0,75^2 \cdot 1,28^2}{4}} \right) = 57\,372 \end{aligned}$$

цикли, де $u_\gamma = u_\gamma / 100 = 1,28$ визначається за таблицею Л.8.

П.3.3.2.4 Визначаємо імовірність безвідмовної роботи за наробіток t $P(t)$. Як приклад беремо $t = 50\,000$ циклів

$$\hat{P}(t) = \Phi \left(\frac{\hat{\mu} - t}{\hat{v} \sqrt{\hat{\mu} t}} \right) = \Phi \left(\frac{144\,878 - 50\,000}{0,075 \sqrt{144\,878 \cdot 50\,000}} \right) = 0,932,$$

де $\Phi(\cdot)$ визначається за таблицею Л.8.

П.3.3.3 DN-розподіл згідно з таблицею К.7

П.3.3.3.1 Розраховуємо точкові оцінки параметрів $\hat{\mu}$ і \hat{v} .

Обгрунтованою оцінкою параметра форми \hat{v} є коефіцієнт варіації наробітку до відмови v .

Оскільки за приклад взято дуже цензуровану вибірку, то оцінити v за статистикою відмов неможливо. Тому оцінюємо v згідно з таблицею В.2.

В елементах індикації під час циклічної роботи переважають два процеси деградації:

- втомна багатоциклова $v = 0,4 \dots 0,8$;
- електричні процеси $v = 0,7 \dots 1,5$.

Як апіорну оцінку v можна взяти значення коефіцієнта варіації узагальненого процесу деградації таким, що дорівнює 0,75. Отже, $v = v = 0,75$. Точкову оцінку параметра масштабу μ визначаємо за формулою

$$\hat{\mu} = \left[\sum_{i=1}^m i t_i / x_i(i/N, \hat{v}) \right] / \sum_{i=1}^m i = 178\,000 \text{ циклів,}$$

де $x_i(i/N, \hat{v})$ визначається за таблицями функції DN-розподілу за значеннями $F = i/N$ та \hat{v} або розв'язуванням рівняння

$$\Phi\left(\frac{x_i - 1}{\sqrt[3]{x_i}}\right) + e^{2/\sqrt[3]{x_i}} \Phi\left(-\frac{x_i + 1}{\sqrt[3]{x_i}}\right) = t/N$$

($x_1 = 0,30$; $x_2 = 0,37$; $x_3 = 0,45$; $x_4 = 0,51$; $x_5 = 0,58$).

П.3.3.3.2 Визначаємо середній наробіток до відмови T_1

$$T_1 = \hat{\mu} = 178\,000 \text{ циклів.}$$

П.3.3.3.3 Визначаємо гамма-відсотковий наробіток до відмови \hat{T}_γ ,
де $\gamma = 90\%$

$$\hat{T}_\gamma = \hat{\mu} \cdot x \left(1 - \frac{\gamma}{100}, \hat{\nu}\right) = 60\,520 \text{ циклів,}$$

де $x \left(1 - \frac{\gamma}{100}, \hat{\nu}\right) = 0,34$ визначається аналогічно П.3.3.3.1.

П.3.3.3.4 Визначаємо імовірність безвідмовної роботи за наробіток t $P(t)$.

Як приклад беремо $t = 50\,000$

$$\begin{aligned} \hat{P}(t) &= \Phi\left(\frac{\hat{\mu} - t}{\sqrt[3]{\hat{\mu}t}}\right) - e^{2/\sqrt[3]{\hat{\mu}t}} \Phi\left(-\frac{\hat{\mu} + t}{\sqrt[3]{\hat{\mu}t}}\right) = \Phi\left(\frac{178\,000 - 50\,000}{0,75 \sqrt[3]{178\,000 \cdot 50\,000}}\right) - \\ &- e^{2/0,75^2} \Phi\left(-\frac{178\,000 + 50\,000}{0,75 \sqrt[3]{178\,000 \cdot 50\,000}}\right) = 0,941, \end{aligned}$$

де $\Phi(\cdot)$ визначається за таблицею Л.8.

П.3.3.4 Логарифмічно нормальний розподіл згідно з таблицями Л.4, Л.5.

П.3.3.4.1 Розраховуємо точкові оцінки параметрів $\hat{\mu}$ і $\hat{\sigma}$

$$1 - h = \frac{N - m}{N} = \frac{15 - 5}{15} = 0,667; \quad h = 0,333;$$

$$v = m \frac{\sum_{i=1}^m (\lg t_i - \lg t_n)^2}{\left[\sum_{i=1}^m (\lg t_i - \lg t_n)\right]^2} = 1,813;$$

$$z = 0,039; \quad f_1(z) = 0,735;$$

$$\hat{s} = \frac{1 - h}{h f_1(z) - (1 - h)z} \cdot \frac{\sum_{i=1}^m (\lg t_i - \lg t_n)}{m} =$$

$$= \frac{0,667}{0,667 \cdot 0,735 - (1 - 0,667) \cdot 0,039} \cdot \frac{1,512}{5} = 0,211;$$

$$\hat{a} = z\hat{s} + \lg t_n = 0,039 \cdot 0,211 + 5,113 = 5,121.$$

Переходимо до натуральних логарифмів

$$\hat{\sigma} = 2,303\hat{s} = 2,303 \cdot 0,211 = 0,486;$$

$$\hat{\mu} = 2,303\hat{a} = 2,303 \cdot 5,121 = 11,794.$$

П.3.3.4.2 Визначаємо середній наробіток до відмови \hat{T}_1

$$\hat{T}_1 = \exp\left(\hat{\mu} + \frac{\hat{\sigma}^2}{2}\right) = \exp\left(11,794 + \frac{0,486^2}{2}\right) = 149\,044 \text{ цикли.}$$

П.3.3.4.3 Визначаємо гамма-відсотковий наробіток до відмови \hat{T}_γ , за $\gamma = 90\%$

$$\hat{T}_\gamma = \exp\left(\hat{\mu} + u_{1-\gamma/100} \hat{\sigma}\right) = \exp[11,794 + (-1,28) 0,486] = 71\,111 \text{ циклів, де } u_{1-\gamma/100} \text{ визначається за таблицею Л.8 (} u_{0,1} = -1,28\text{).}$$

П.3.3.4.4 Визначаємо імовірність безвідмовної роботи за наробіток t $P(t)$.

Як приклад беремо $t = 50\,000$ циклів

$$\hat{P}(t) = \Phi\left(\frac{\hat{\mu} - \ln t}{\hat{\sigma}}\right) = \Phi\left(\frac{11,794 - 10,82}{0,486}\right) = 0,977,$$

де $\Phi(\cdot)$ визначається за таблицею Л.8.

П.3.3.5 Розподіл Вейбулла згідно з таблицями М.4, М.5

П.3.3.5.1 Розраховуємо точкові оцінки параметрів \hat{a} і \hat{b} . За таблицею М.10 для випадку $N = 15$, $m = 5$ визначаємо коефіцієнти A_i і C_i :

$$A_1 = -0,209; A_2 = -0,191; A_3 = -0,160; A_4 = -0,120;$$

$$A_5 = -1,689;$$

$$C_1 = -0,191; C_2 = -0,188; C_3 = -0,175; C_4 = -0,153;$$

$$C_5 = 0,707;$$

$$\hat{a} = \exp\left(\sum_{i=1}^m A_i \ln t_i\right) = 213\,843;$$

$$\hat{b} = \left(\sum_{i=1}^m C_i \ln t_i\right)^{-1} = 1,946.$$

П.3.3.5.2 Визначаємо середній наробіток до відмови \hat{T}_1

$$\hat{T}_1 = \hat{a} \Gamma\left(1 + \frac{1}{\hat{b}}\right) = 213\,843 \Gamma(1 + 0,514) = 189\,679 \text{ циклів,}$$

де $\Gamma(\cdot)$ визначається за таблицею Л.10.

П.3.3.5.3 Визначаємо гамма-відсотковий наробіток до відмови \hat{T}_γ , за $\gamma = 90\%$

$$\hat{T}_\gamma = \hat{a} \left(-\ln \frac{\gamma}{100}\right)^{1/\hat{b}} = 213\,843 \left(-\ln \frac{90}{100}\right)^{0,514} = 67\,141 \text{ цикл.}$$

П.3.3.5.4 Визначаємо імовірність безвідмовної роботи за наробіток t $\hat{P}(t)$.

Як приклад беремо $t = 50\,000$ циклів

$$\hat{P}(t) = \exp \left[- \left(\frac{t}{\hat{a}} \right)^{\hat{b}} \right] = \exp \left[- \left(\frac{50\,000}{213\,843} \right)^{1,946} \right] = 0,942.$$

П.4 Порівняльна оцінка методів визначення показників надійності елементів індикації за цензурованою вибіркою.

Як критерій оцінки точності запропонованих у стандарті методів використаємо величину відносної похибки

$$\xi = \frac{\tilde{R} - \hat{R}}{\hat{R}},$$

де \tilde{R} — показник надійності, визначений непараметричним методом за повною вибіркою (генеральній сукупності);

\hat{R} — показник надійності, визначений одним із запропонованих у стандарті методів за цензурованою вибіркою і планом випробувань [NUT].

В оцінці T_1 найточнішими є розподіл Вейбулла, DM- і DN-розподіли, в оцінці T_7 — DM- і DN-розподіли і розподіл Вейбулла, в оцінці $P(t)$ — DN-розподіл, непараметричний метод і DM-розподіл.

За всіма трьома показниками найточнішими виявились оцінки на основі DN-розподілу ($\xi = 0,12$), потім DM-розподіл ($\xi = 0,13$) та розподіл Вейбулла ($\xi = 0,18$).

Результати порівняльної оцінки точності методів наведено в таблиці П.3.

Таблиця П.3

Спосіб оцінки	T_1 , цикл	ξ_{T_1}	T_7 , цикл	ξ_{T_7}	$P(t)$	$\xi_{P(t)}$
План [NUN] (повна вибірка)	212 000	—	60 444	—	0,914	—
План [NUT] (цензу- рована вибірка)						
Непараметричний метод	301 000	0,42	48 000	0,206	0,898	0,186
Експоненційний розподіл	335 000	0,58	35 295	0,416	0,861	0,616
DM-розподіл	185 625	0,12	57 372	0,051	0,032	0,210
DN-розподіл	178 000	0,16	60 520	0,001	0,898	0,186
Логарифмічно нор- мальний розподіл	149 044	0,297	71 111	0,176	0,977	0,733
Розподіл Вейбулла	189 679	0,105	67 141	0,111	0,942	0,326

Примітка. Відносна похибка в оцінці $P(t)$ розраховується за формулою

$$\xi_{P(t)} = \frac{|1 - \tilde{P}(t)| - |1 - P(t)|}{1 - P(t)}. \quad (\text{П.1})$$

П.5 Ефективність порівнюваних моделей залежно від точності їхніх оцінок приблизно можна оцінити на основі співвідношення

$$r = \frac{u_q^2 v^2}{\xi^2}.$$

Так, використовуючи одержані результати, можна зробити висновки, що для довірчої імовірності $q = 0,9$ і фіксованої відносної похибки ξ необхідне мінімальне число відмов r за DN-розподілу в

$$\left(\frac{\xi_w}{\xi_{DN}} \right)^2 = \left(\frac{0,18}{0,12} \right)^2 = 2,25 \text{ рази менше, ніж за розподілу Вейбулла.}$$

Ключові слова: визначальні випробування, випробування на надійність, відносна похибка, гамма-відсотковий показник надійності, імовірність безвідмовної роботи, довірна імовірність, обсяг випробувань, план випробувань, планування випробувань, середній показник надійності, точкові та інтервальні оцінки, цензурована вибірка, цензурування
