

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**Запорізький національний технічний університет**

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ**

**до лабораторно-практичних занять з дисципліни**  
**«Надійність технічних систем» на тему**  
**«Характеристики надійності виробів» для студентів**  
**спеціальності 133 Галузеве машинобудування освітня**  
**програма «Підйомно-транспортні, дорожні, будівельні,**  
**меліоративні машини і обладнання»**

**2019**

Методичні вказівки до лабораторно-практичних занять з дисципліни “Надійність технічних систем” на тему «Характеристики надійності виробів» для студентів спеціальності 133 Галузеве машинобудування освітня програма «Підйомно-транспортні, дорожні, будівельні, меліоративні машини і обладнання» /Укл.: М.І. Носенко, Н.О. Задоя – Запоріжжя. ЗНТУ, 2019. – 45 с.

Укладач: М.І. Носенко, доцент, к.т.н.  
Н.О. Задоя, доцент, к.т.н.

Рецензент: Г.П. Волков, доцент, к.т.н.

Відповідальний за випуск:

Л.М. Мартовицький, доцент, к.т.н., зав.каф. ДМ і ПТМ

Затверджено  
на засіданні кафедри  
“Деталі машин і ПТМ”  
Протокол № 4  
Від 23 січня 2019 р.

**Рекомендовано**  
до видання  
НМК М-факультета  
Протокол № 5  
Від 21 лютого 2019 р.

**ЗМІСТ**

<b>ВСТУП</b>	4
1. <b>ЛАБОРАТОРНО-ПРАКТИЧНА РОБОТА № 1</b>	5
<b>ВИЗНАЧЕННЯ КІЛЬКІСНИХ ПОКАЗНИКІВ НАДІЙНОСТІ ВИРОБІВ ЗА СТАТИСТИЧНИМИ ДАНИМИ ПРО ВИНИКНЕННЯ ВІДМОВ</b>	
1.1 Теоретичні положення	5
1.2 ЗАВДАННЯ	10
2. <b>ЛАБОРАТОРНО-ПРАКТИЧНА РОБОТА № 2</b>	16
<b>АНАЛІТИЧНИЙ РОЗРАХУНОК КІЛЬКІСНИХ ПОКАЗНИКІВ НАДІЙНОСТІ ВИРОБІВ ПРИ ВИКОРИСТАННІ ЗАКОНІВ ЙМОВІРНОСТІ РОЗПОДІЛУ ВИПАДКОВИХ ВЕЛИЧИН</b>	
2.1 Теоретичні положення	16
2.2 ЗАВДАННЯ	20
3. <b>КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ</b>	25
4. <b>ЛІТЕРАТУРА</b>	26
<b>ДОДАТКИ</b>	27

## ВСТУП

Неперервне удосконалення і розвиток всіх галузей техніки характеризується широким використанням різноманітних технічних систем у всіх сферах керування і промислового виробництва. Функції, які виконуються сучасними технічними системами, надто складні, а задачі, які вирішуються надзвичайно відповідальні. Тому необхідність визначення, забезпечення і підвищення надійності технічних систем є однією із головних проблем отримання потрібного рівня якості продукції, окремо в галузі машинобудування.

Надійність – це внутрішня властивість системи. Рівень надійності встановлюється на етапі проектування. На наступних етапах виготовлення, складання і проведення випробувань підвищити цей закладений рівень надійності неможливо без внесення змін в основну конструкцію. На етапі проектування визначається структура системи, котра також впливає на рівень надійності і визначає витрати, необхідні для забезпечення цього рівня. Тому важливо, щоб конструктор і технолог мали змогу зробити оцінку надійності і вартості різних проектних рішень перед прийняттям остаточного варіанту розробляємої технічної системи.

В запропонованих лабораторно-практичних роботах містяться основні теоретичні відомості, знання яких необхідні для розуміння основних розглядаємих питань і вирішення поставлених задач по визначенню кількісних показників надійності виробів за статистичними даними про виникнення відмов і при використанні аналітичних законів ймовірності розподілу випадкових величин.

# 1 ЛАБОРАТОРНО-ПРАКТИЧНА РОБОТА № 1

## ВИЗНАЧЕННЯ КІЛЬКІСНИХ ПОКАЗНИКІВ НАДІЙНОСТІ ВИРОБІВ ЗА СТАТИСТИЧНИМИ ДАНИМИ ПРО ВИНИКНЕННЯ ВІДМОВ

### 1.1 Теоретичні положення

Ймовірність безвідмовної роботи  $P_{(t)}$  – ймовірність того, що при визначених умовах експлуатації у межах заданої наробки не відбувається ні однієї відмови

$$P_{(t)} = P_{(T>t)},$$

де  $T$  – час роботи виробу до першої відмови;  
 $t$  – час, протягом якого треба визначити ймовірність безвідмовної роботи (наробки).

За статистичними даними про відмови ймовірність безвідмовної роботи оцінюють виразом

$$P_{(t)} = \frac{N - n_{(t)}}{N},$$

де  $N$  – число випробуємих виробів;

$n_{(t)}$  – число відмовивших виробів за час  $t$ .

Ймовірність відмови  $Q_{(t)}$  – ймовірність того, що при визначених умовах експлуатації в межах заданої наробки (безвідмовної роботи) виникне хоча б одна відмова

$$Q(t) = P_{(T \leq t)}.$$

За статистичними даними про відмови ймовірність відмови оцінюють виразом

$$Q(t) = \frac{n(t)}{N}.$$

Відмова та безвідмовна робота є подіями несумісними і протилежними

$$Q(t) = 1 - P(t) \quad \text{або} \quad P(t) + Q(t) = 1.$$

Частота відмов  $f(t)$  – це щільність розподілу наробки до відмови (щільність ймовірності безвідмовної роботи виробу до першої відмови)

$$f(t) = \frac{dQ}{dt}.$$

Ймовірність відмови і ймовірність безвідмовної роботи у функції щільності при ймовірнісній трактовці

$$Q(t) = \int_0^t f(t) dt,$$

$$P(t) = 1 - Q(t) = \int_0^{\infty} f(t) dt - \int_0^t f(t) dt = \int_t^{\infty} f(t) dt.$$

За статистичними даними про відмови частота відмов – це відношення числа відмовивших виробів у одиницю часу до початкового числа випробуваних виробів при умові, що всі вироби, які відмовили, не відновлюються

$$f(t) = \frac{n(\Delta t)}{N \cdot \Delta t},$$

де  $N$  – число випробуємих виробів;

$n_{(\Delta t)}$  – число відмовивших виробів в інтервалі часу від

$$t - \frac{\Delta t}{2} \text{ до } t + \frac{\Delta t}{2}.$$

Інтенсивність відмови  $\lambda_{(t)}$  – це умовна щільність ймовірності виникнення відмови об'єкту, яку визначають за умови, що до розглядаємого моменту часу відмова не відбувається

$$\lambda_{(t)} = \frac{f_{(t)}}{P_{(t)}}.$$

Зв'язок між інтенсивністю відмови і ймовірністю безвідмовної роботи визначається залежністю

$$P_{(t)} = e^{-\int_0^t \lambda_{(t)} \cdot dt}.$$

За статистичними даними інтенсивність відмов – це відношення числа відмовивших виробів в одиницю часу до середнього числа виробів, які не відмовили в даний відрізок часу

$$\lambda_{(t)} = \frac{n_{(\Delta t)}}{N_{cp} \cdot \Delta t},$$

де  $n_{(\Delta t)}$  – число відмовивших виробів;

$$N_{cp} = \frac{N_i + N_{i+1}}{2} \text{ – середнє число невідмовивших виробів}$$

в інтервалі часу  $\Delta t$ ;

$N_i$  – число виробів, які не відмовили на початку інтервалу  $\Delta t$ ;

$N_{i+1}$  – число виробів, які не відмовили в кінці інтервалу  $\Delta t$ .

Середня наробка до першої відмови  $T_{cp}$  – це математичне сподівання  $M_{(t)}$  часу роботи виробу до відмови (тобто середнє значення випадкової величини).

Розраховується:

– через щільність розподілу часу безвідмовної роботи (через частоту відмов)  $f_{(t)}$

$$M_{(t)} = T_{cp} = \int_0^{\infty} t_{(t)} \cdot dt ;$$

– через ймовірність безвідмовної роботи  $P_{(t)}$

$$T_{cp} = \int_0^{\infty} P_{(t)} dt .$$

За статистичними даними про відмови середня наробка до першої відмови визначається

$$M_{(t)} = T_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^N t_i}{N} ,$$

де  $t_i$  – час безвідмовної роботи  $i$ -го виробу;

$N$  – число випробуємих виробів.

Для визначення  $T_{cp}$  за наведеною формулою необхідно знати моменти відмови всіх випробуємих виробів.

При наявності даних про кількість відмовивших виробів  $n_i$  в кожному  $i$ -му інтервалі часу середню наробку до першої відмови можна визначати із рівняння

$$T_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^m n_i \cdot t_{cp.i}}{N},$$

де  $n_i$  – число відмовивших виробів у кожному  $i$ -му інтервалі часу  $\Delta t$ ;

$N$  – загальне число випробуємих виробів;

$$t_{cp.i} = \frac{t_{i-1} + t_i}{2}; t_{i-1}, t_i - \text{час початку та закінчення } i\text{-го}$$

інтервалу часу випробування  $\Delta t$ ;

$$m = \frac{t_k}{\Delta t} - \text{число } i\text{-х інтервалів часу};$$

$t_k$  – час відмови  $n$ - виробів.

Дисперсія – означає розсіяння та характеризує розкид випадкової величини відносно центру розподілу. Для неперервних випадкових величин дисперсія визначається залежністю

$$DX = \sigma^2 = \int_{-\infty}^{\infty} (x - m)^2 \cdot f_{(x)} dx,$$

де  $m$  – математичне сподівання випадкової величини  $x$  (середнє значення);

$f_{(x)}$  – щільність розподілу випадкової величини до відмови (частота відмов).

За статичними даними дисперсія часу безвідмовної роботи виробу визначається як оцінка середнього значення квадрату різниці між значеннями випадкової величини і її середнім значенням

$$D_{(t)} = \left(\bar{\sigma}\right)^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (t_i - T_{cp})^2}{N - 1}.$$

Середнє квадратичне відхилення, має однакову розмірність з випадкової величиною та визначається

$$\sigma = \sqrt{\overline{(\bar{\sigma})^2}}.$$

## 1.2 ЗАВДАННЯ

### Завдання 1.2.1

При випробуванні використано  $N$  - виробів. За час  $t$  випробувань відмовило  $n_{(t)}$  - виробів. В наступному інтервалі часу  $\Delta t$  відмовило ще  $n_{(\Delta t)}$  - виробів.

#### **Визначити:**

- ймовірність безвідмовної роботи  $P_{(t)}$ ;
- ймовірність відмов  $Q_{(t)}$ ;
- частоту відмов  $f_{(t)}$ ,  $\frac{1}{\text{год.}}$ ;
- інтенсивність відмов виробів  $\lambda_{(t)}$ ,  $\frac{1}{\text{год.}}$ ,

протягом часу  $t$ ;  $t + \Delta t$ ; в інтервалі часу  $t + \frac{\Delta t}{2}$ ;

протягом часу  $\Delta t$ .

Вихідні дані до розрахунку, відповідно варіанту, наведено в таблиці 1.1.

**Рішення:**

$$1. P_{(t)} = \frac{N - n_{(t)}}{N};$$

$$P_{(t+\Delta t)} = \frac{N - n_{(t)} - n_{(\Delta t)}}{N}.$$

Для визначення  $P$  в інтервалі часу  $\left(t + \frac{\Delta t}{2}\right)$  використовують середнє значення числа невідмовивших виробів  $N_{cp}$ :

$$N_{i(t)} = N - n_{(t)}; \quad N_{i+1(t+\Delta t)} = N_{i(t)} - n_{(\Delta t)};$$

$$N_{cp} = N_{cp\left(t+\frac{\Delta t}{2}\right)} = \frac{N_{i(t)} + N_{i+1(t+\Delta t)}}{2}.$$

Число відмовивших виробів в інтервалі часу  $t + \frac{\Delta t}{2}$

$$n_{\left(t+\frac{\Delta t}{2}\right)} = N - N_{cp}.$$

$$P_{\left(t+\frac{\Delta t}{2}\right)} = \frac{N - n_{\left(t+\frac{\Delta t}{2}\right)}}{N};$$

$$P_{(\Delta t)} = \frac{N_{i(t)} - n_{(\Delta t)}}{N_{i(t)}}.$$

$$2. Q_{(t)} = \frac{n_{(t)}}{N}, \quad Q_{(t)} = 1 - P_{(t)};$$

$$Q_{(t+\Delta t)} = \frac{n_{(t)} + n_{(\Delta t)}}{N}, \quad Q_{(t+\Delta t)} = 1 - P_{(t+\Delta t)};$$

$$Q_{\left(t + \frac{\Delta t}{2}\right)} = \frac{n_{(t)} + \frac{n_{(\Delta t)}}{2}}{N},$$

$$Q_{\left(t + \frac{\Delta t}{2}\right)} = 1 - P_{\left(t + \frac{\Delta t}{2}\right)};$$

$$Q_{(\Delta t)} = \frac{n_{(\Delta t)}}{N - n_{(t)}}, \quad Q_{(\Delta t)} = 1 - P_{(\Delta t)};$$

$$3. f_{(t)} = \frac{n_{(t)}}{N \cdot t};$$

$$f_{(t+\Delta t)} = \frac{n_{(t)} + n_{(\Delta t)}}{N \cdot (t + \Delta t)}; \quad f_{\left(t + \frac{\Delta t}{2}\right)} = \frac{n_{(\Delta t)}}{N \cdot \Delta t};$$

$$f_{(\Delta t)} = \frac{n_{(\Delta t)}}{(N - n_{(t)}) \cdot \Delta t}.$$

$$4. \lambda_{(t)} = \frac{n_{(t)}}{(N - n_{(t)}) \cdot t};$$

$$\lambda_{(t+\Delta t)} = \frac{n_{(t)} + n_{(\Delta t)}}{(N - n_{(t)} - n_{(\Delta t)}) \cdot (t + \Delta t)};$$

$$\lambda_{\left(t+\frac{\Delta t}{2}\right)} = \frac{n_{(\Delta t)}}{N_{cp\left(t+\frac{\Delta t}{2}\right)} \cdot \Delta t};$$

$$\lambda_{(\Delta t)} = \frac{n_{(\Delta t)}}{(N - n_{(t)} - n_{(\Delta t)}) \cdot \Delta t}.$$

При ймовірнісному трактуванні:

$$\lambda_{(t)} = \frac{f_{(t)}}{P_{(t)}}; \quad \lambda_{(t+\Delta t)} = \frac{f_{(t+\Delta t)}}{P_{(t+\Delta t)}};$$

$$\lambda_{\left(t+\frac{\Delta t}{2}\right)} = \frac{f_{\left(t+\frac{\Delta t}{2}\right)}}{P_{\left(t+\frac{\Delta t}{2}\right)}}; \quad \lambda_{(\Delta t)} = \frac{f_{(\Delta t)}}{P_{(\Delta t)}}.$$

### Завдання 1.2.2

При випробуванні використано  $N_i$ -виробів. Час безвідмовної роботи  $i$ -го виробу –  $t_i$ , год.

**Визначити:** статистичну оцінку середнього часу безвідмовної роботи виробу (середня наробка до першої відмови).

Вихідні данні до розрахунку, відповідно варіанту, наведено в таблиці 1.2.

**Рішення:**

$$M_{(t)} = T_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^{N_i} t_i}{N}, \text{ год.}$$

### **Завдання 1.2.3**

За період експлуатації виробу зафіксовано  $n_i$  – відмов. Час відновлення  $i$ -го виробу складає  $t_{vi}$ .

**Визначити:** середній час відновлення виробу.

Вихідні данні для розрахунку, відповідно варіанту, наведено в таблиці 1.3.

**Рішення:**

$$M_{(t)} = T_{cp.v} = \frac{\sum_{i=1}^{n_i} t_{vi}}{n}, \text{ хв.}$$

### **Завдання 1.2.4**

При випробуванні використано  $N=45$  виробів. Число відмов  $n_{(\Delta t_i)}$  фіксовано кожні 5 годин роботи (інтервал часу  $\Delta t=5$  год.). Дані про відмову всіх зразків наведено в таблиці 1.4.

**Визначити:** середній час безвідмовної роботи виробів (середня наробка до першої відмови).

**Рішення:**

$$M_{(t)} = T_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^m n(\Delta t_i) \cdot t_{cp.i}}{N}, \text{ год.},$$

де  $n(\Delta t_i)$  – число відмовивших виробів в кожному  $i$ -му інтервалі часу  $\Delta t$ ;

$N$  – загальне число випробуємих виробів;

$$t_{cp.i} = \frac{t_{i-1} + t_i}{2};$$

$t_{i-1}$  – час початку  $i$ -го інтервалу;

$t_i$  – час закінчення  $i$ -го інтервалу;

$m$  – число  $i$ -х інтервалів часу;

$$m = \frac{t_k}{\Delta t}; \quad t_k - \text{час відмов всіх виробів } N = n = 45;$$

$n$  – загальне число відмовивших виробів.

## АНАЛІТИЧНИЙ РОЗРАХУНОК КІЛЬКІСНИХ ПОКАЗНИКІВ НАДІЙНОСТІ ВИРОБІВ ПРИ ВИКОРИСТАННІ ЗАКОНІВ ЙМОВІРНОСТІ РОЗПОДІЛУ ВИПАДКОВИХ ВЕЛИЧИН

### 2.1 Теоретичні положення

Кількісні характеристики надійності виробів визначаються залежностями:

– ймовірність безвідмовної роботи в інтервалі часу від 0 до  $t$

$$P_{(t)} = e^{-\int_0^t f_{(t)} dt} = 1 - \int_0^t f_{(t)} dt;$$

– ймовірність відмов виробів в інтервалі часу від 0 до  $t$

$$Q_{(t)} = 1 - P_{(t)};$$

– частота відмов виробів (щільність ймовірності часу безвідмовної роботи виробів  $t$ )

$$f_{(t)} = \frac{dQ_{(t)}}{dt} = -\frac{dP_{(t)}}{dt};$$

– інтенсивність відмов виробів

$$\lambda_{(t)} = \frac{f_{(t)}}{P_{(t)}};$$

– середній час безвідмовної роботи виробів

$$T_{cp} = \int_0^{\infty} P_{(t)} dt.$$

Для експоненційного закону розподілу часу безвідмовної роботи виробів наведені формули мають вигляд:

$$P_{(t)} = e^{-\lambda t};$$

$$Q_{(t)} = 1 - P_{(t)} = 1 - e^{-\lambda t};$$

$$f_{(t)} = \lambda \cdot P_{(t)} = \lambda \cdot e^{-\lambda t};$$

$$\lambda_{(t)} = \frac{\lambda \cdot e^{-\lambda t}}{e^{-\lambda t}} = \lambda;$$

$$T_{cp} = \frac{1}{\lambda}.$$

Для нормального закону розподілу часу безвідмовної роботи виробів:

$$P_{(t)} = 0.5 - \Phi_{(U)}, \quad U = \frac{t - T_{cp}}{\sigma_t};$$

$$Q_{(t)} = 0.5 + \Phi_{(U)}, \quad \Phi_{(U)} = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \cdot \int_0^U e^{-\frac{U^2}{2}} dU;$$

$$f_{(t)} = \frac{\varphi_{(U)}}{\sigma_t}, \quad \varphi_{(U)} = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{U^2}{2}};$$

$$\lambda_{(t)} = \frac{\varphi_{(U)}}{\sigma_{(t)}} \cdot \frac{1}{0.5 - \Phi_{(U)}},$$

де  $\Phi_{(U)}$  – функція Лапласа, яка має властивості

$$\Phi_{(0)} = 0;$$

$$\Phi_{(-U)} = -\Phi_{(U)};$$

$$\Phi_{(\infty)} = 0.5$$

Значення функції Лапласа  $\Phi_{(U)}$  і функції  $\varphi_{(U)}$  наведено в додатках А та Б відповідно.

Тут  $T_{cp}$  – середнє значення випадкової величини  $t$ ;

$t$  – час безвідмовної роботи виробів;

$\sigma_t = \sqrt{\overline{(\sigma)}^2}$  – середнє квадратичне відхилення часу безвідмовної роботи виробів  $t$ , має однакову розмірність з величиною  $t$ ,

де  $\overline{(\sigma)}_t^2$  – за статистичними даними про відмови – оцінка дисперсії – середнє значення квадрата різниці між значеннями випадкової величини  $t$  і її середнім значенням  $T_{cp}$

$$\overline{(\sigma)}_t^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (t_i - T_{cp})^2}{N - 1}.$$

Для закону розподілу Вейбулла часу безвідмовної роботи виробів:

$$P_{(t)} = e^{-at^k};$$

$$Q_{(t)} = 1 - e^{-at^k};$$

$$f_{(t)} = akt^{k-1} \cdot P_{(t)};$$

$$\lambda_{(t)} = akt^{k-1};$$

$$T_{cp} = \frac{\Gamma\left(\frac{1}{k}+1\right)}{\frac{1}{a^k}},$$

де  $a, k$  – параметри закону розподілу Вейбулла;  
 $\Gamma_{(x)}$  – гама-функція, значення якої наведено в додатку В.

Для закону розподілу Релея часу безвідмовної роботи виробів:

$$P_{(t)} = e^{-\frac{t^2}{2\sigma_t^2}};$$

$$Q_{(t)} = 1 - e^{-\frac{t^2}{2\sigma_t^2}};$$

$$f_{(t)} = \frac{t}{\sigma_t^2} \cdot e^{-\frac{t^2}{2\sigma_t^2}};$$

$$\lambda_{(t)} = \frac{t}{\sigma_t^2};$$

$$T_{cp} = \sigma_t \cdot \sqrt{\frac{\pi}{2}},$$

де  $\sigma_t$  – мода розподілу випадкової величини  $t$ ;

$t$  – час безвідмовної роботи виробів.

Мода випадкової величини  $t$  – це таке значення  $\sigma_t$  випадкової величини, при якому щільність ймовірності часу безвідмовної роботи виробів  $t$  має максимальне значення (максимальна частота відмов  $f_{(t)\max}$ ).

## 2.2 ЗАВДАННЯ

### Завдання 2.2.1

Час роботи виробів до відказу підпорядкований експоненційному закону розподілу з інтенсивністю відмов  $\lambda$ .

Для часу роботи виробів  $t$  визначити кількісні характеристики надійності виробів:

- ймовірність безвідмовної роботи  $P_{(t)}$ ;
- ймовірність відмов  $Q_{(t)}$ ;
- частоту відмов  $f_{(t)}$ ,  $\frac{1}{\text{год}}$ ;
- середній час безвідмовної роботи  $T_{cp}$ , год.

Вихідні дані для розрахунку, відповідно варіанту, наведено в таблиці 2.1.

### **Рішення:**

$$P_{(t)} = e^{-\lambda t} \text{ – (функція } e^{-x} \text{ – додток } \Gamma).$$

$$Q_{(t)} = 1 - e^{-\lambda t};$$

$$f_{(t)} = \lambda_{(t)} \cdot P_{(t)} = \lambda \cdot e^{-\lambda t};$$

$$T_{cp} = \frac{1}{\lambda}.$$

### **Завдання 2.2.2.**

Час роботи виробів до відмов підпорядкований нормальному закону розподілу з середнім часом безвідмовної роботи  $T_{cp}$  і середнім квадратичним відхиленням часу безвідмовної роботи  $\sigma_t$ . Для часу роботи  $t$  визначити кількісні характеристики надійності виробів:

- ймовірність безвідмовної роботи  $P_{(t)}$ ;
- ймовірність відмов  $Q_{(t)}$ ;
- частоту відмов  $f_{(t)}$ ,  $\frac{1}{\text{год}}$ ;
- інтенсивність відмов  $\lambda_{(t)}$ ,  $\frac{1}{\text{год}}$ .

Вихідні дані для розрахунку, відповідно варіанту, наведено в таблиці 2.2.

### **Рішення:**

$$P_{(t)} = 0.5 - \Phi_{(U)} - (\text{функція } \Phi_{(U)} - \text{додаток А}).$$

$$U = \frac{t - T_{cp}}{\sigma_t}.$$

$$Q_{(t)} = 0.5 + \Phi_{(U)}.$$

$$f_{(t)} = \frac{\varphi_{(U)}}{\sigma_t} - (\text{функція } \varphi_{(U)} - \text{додаток Б}).$$

$$\varphi_{(U)} = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{U^2}{2}}.$$

$$\lambda_{(t)} = \frac{f_{(t)}}{P_{(t)}}.$$

### Завдання 2.2.3

Час роботи виробів до відмов підпорядковується закону розподілу Вейбулла з параметрами  $k$  і  $a$ . Для часу роботи  $t$  визначити кількісні характеристики надійності виробів:

- ймовірність безвідмовної роботи  $P_{(t)}$ ;
- ймовірність відмов  $Q_{(t)}$ ;
- частоту відмов  $f_{(t)}$ ,  $\frac{1}{\text{год}}$ ;
- інтенсивність відмов  $\lambda_{(t)}$ ,  $\frac{1}{\text{год}}$ ;
- середній час безвідмовної роботи  $T_{cp}$ , год.

Вихідні дані для розрахунку, відповідно варіанту, наведено в таблиці 2.3.

**Рішення:**

$$P_{(t)} = e^{-at^k}.$$

$$Q_{(t)} = 1 - e^{-at^k}.$$

$$f_{(t)} = akt^{k-1} \cdot P_{(t)}.$$

$$\lambda_{(t)} = \frac{f_{(t)}}{P_{(t)}}.$$

$$\lambda_{(t)} = akt^{k-1}.$$

$$T_{cp} = \frac{\Gamma\left(\frac{1}{k}+1\right)}{\frac{1}{a^k}}.$$

Позначити  $\Gamma(x) = \Gamma\left(\frac{1}{k}+1\right)$  – (функція  $\Gamma(x)$  – додаток Г).

### **Завдання 2.2.4**

Час роботи виробів до відмов підпорядковується закону розподілу Релея з параметром розподілу  $\sigma_t$ . Для часу роботи  $t$  визначити кількісні характеристики надійності виробів:

- ймовірність безвідмовної роботи  $P(t)$ ;
- ймовірність відмов  $Q(t)$ ;
- частоту відмов  $f(t)$ ,  $\frac{1}{\text{год}}$ ;
- інтенсивність відмов  $\lambda(t)$ ,  $\frac{1}{\text{год}}$ ;
- середній час безвідмовної роботи  $T_{cp}$ , год.

Вихідні дані для розрахунку, відповідно варіанту, наведено в таблиці 2.4.

**Рішення:**

$$P(t) = e^{-\frac{t^2}{2\sigma_t^2}}.$$

$$Q(t) = 1 - P(t).$$

$$f(t) = \frac{t \cdot P(t)}{\sigma_t^2}.$$

$$\lambda_{(t)} = \frac{t}{\sigma_t^2}.$$

$$T_{cp} = \sigma_t \cdot \sqrt{\frac{\pi}{2}}.$$

**КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ**

1. Визначення поняття надійності.
2. Основні терміни, які характеризують надійність.
3. Визначення ймовірності безвідмовної роботи виробів за статистичними даними про відмови при випробуваннях.
4. Визначення ймовірності відмов.
5. Визначення частоти відмов.
6. Оцінка середнього часу безвідмовної роботи за статистичними даними про відмови.
7. Чисельні характеристики неперервних випадкових величин (квантиль, мода, медіана).
8. Показники розсіювання випадкових величин.
9. Визначення кількісних характеристик надійності у ймовірнісному вигляді.
10. Визначення закону ймовірності розподілу випадкових величин.
11. Кількісні показники надійності при використанні експоненційного закону розподілу часу безвідмовної роботи.
12. Кількісні показники надійності при використанні нормального закону розподілу часу безвідмовної роботи.
13. Кількісні показники надійності при використанні закону розподілу Вейбула часу безвідмовної роботи.
14. Кількісні показники надійності при використанні закону розподілу Релея часу безвідмовної роботи.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Канарчук В.Є., Полянський С.К., Дмитрієв М.М. Надійність машин: Підручник. – К.: Либідь, 2003. – 424 с.
2. Труханов В.М. Методы обеспечения надежности изделий машиностроения. М.: Маш-е, 1995. – 304 с.
3. Решетов Д.Н., Иванов А.С., Фадеев В.З. Надежность машин. М.: Высшая школа, 1988. – 238 с.
4. Кубарев А.И. Надежность в машиностроении. – М.: Изд-во стандартов, 1989. – 224 с.
5. Надежность изделий машиностроения. Теория и практика. Учебник для вузов/В.М. Труханов. – М.: Машиностроение, 2006. – 336 с.
6. Рыжкин А.А., Слюсарь Б.Н., Шучев К.Г. Основы теории надежности: Уч. Пос. – Ростов н/Д: Издательский центр ДГТУ, 2002.

Таблиця 1.1 – Вихідні дані до завдання 1.2.1.

Параметри	Варіант									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$N$	1000	1200	800	1100	900	1200	800	1000	900	1100
$t$ , год.	3000	2800	3200	2900	3100	3000	3200	2800	2900	3100
$n_{(t)}$	80	90	70	80	90	80	90	90	80	70
$\Delta t$ , год.	1000	1200	800	900	1100	800	1200	1000	900	1100
$n_{(\Delta t)}$	50	60	40	60	50	40	40	60	50	60
Параметри	Варіант									
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
$N$	800	1000	900	1100	1200	800	1000	900	800	1100
$t$ , год.	3200	3000	3100	2800	2900	3200	3000	3100	2900	2800
$n_{(t)}$	70	90	90	80	70	80	80	90	70	80
$\Delta t$ , год.	1000	800	1100	900	1200	800	1200	900	1000	1100
$n_{(\Delta t)}$	40	50	40	60	60	50	40	50	60	50

Таблиця 1.2 – Вихідні дані до завдання 1.2.2

$\left( \frac{\text{Варіант}}{N_i} \right)^*$									
$\frac{1}{6}$	$\frac{2}{8}$	$\frac{3}{10}$	$\frac{4}{7}$	$\frac{5}{9}$	$\frac{6}{6}$	$\frac{7}{8}$	$\frac{8}{10}$	$\frac{9}{7}$	$\frac{10}{9}$
$\frac{11}{9}$	$\frac{12}{7}$	$\frac{13}{10}$	$\frac{14}{8}$	$\frac{15}{6}$	$\frac{16}{9}$	$\frac{17}{7}$	$\frac{18}{10}$	$\frac{19}{8}$	$\frac{20}{6}$
$t_i$ , годин									
280	300	400	320	350	340	380	320	360	300

\*Примітка: чисельник – номер варіанта;

знаменник – кількість випробуванних виробів  $N_i$  за варіантом.

Таблиця 1.3 – Вихідні дані до завдання 1.2.3

$\left( \frac{\text{Варіант}}{n_i} \right)^*$									
$\frac{1}{6}$	$\frac{2}{7}$	$\frac{3}{8}$	$\frac{4}{9}$	$\frac{5}{10}$	$\frac{6}{10}$	$\frac{7}{9}$	$\frac{8}{8}$	$\frac{9}{7}$	$\frac{10}{6}$
$\frac{11}{6}$	$\frac{12}{7}$	$\frac{13}{8}$	$\frac{14}{9}$	$\frac{15}{10}$	$\frac{16}{10}$	$\frac{17}{9}$	$\frac{18}{8}$	$\frac{19}{7}$	$\frac{20}{6}$
$t_{Vi}$ , хвилин									
15	12	18	16	24	20	28	30	34	32

\*Примітка: чисельник – номер варіанта;

знаменник – кількість відмов виробу  $n_i$  за варіантом.

Таблиця 1.4 – Данні про відмови до завдання 1.2.4

$\Delta t_i$ , годин	$n(\Delta t_i)$	$\Delta t_i$ , годин	$n(\Delta t_i)$	$\Delta t_i$ , годин	$n(\Delta t_i)$
0 – 5	1	30 – 35	4	60 – 65	3
5 – 10	5	35 – 40	3	65 – 70	1
10 – 15	8	40 – 45	0	70 – 75	2
15 – 20	2	45 – 50	1	75 – 80	0
20 – 25	5	50 – 55	0	80 – 85	3
25 – 30	6	55 – 60	0	85 – 90	1

Таблиця 2.1 – Вихідні дані до завдання 2.2.1

Параметри	Варіант									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$\lambda_{(t)} \cdot 10^{-5}$ , 1/год.	2.5	2.8	3.0	2.3	2.0	2.5	2.8	3.0	2.3	2.0
$t$ , год.	1000	900	800	1100	1200	800	1100	1200	800	900
Параметри	Варіант									
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
$\lambda_{(t)} \cdot 10^{-5}$ , 1/год.	2.0	2.3	3.0	2.8	2.5	2.0	2.3	3.0	2.8	2.5
$t$ , год.	800	1000	900	1200	800	1100	1200	1100	800	900

Таблиця 2.2 – Вихідні дані до завдання 2.2.2

Параметри	Варіант									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$T_{cp}$ , год.	8000	7000	6000	7000	8000	6000	9000	10000	11000	9000
$\sigma(t)$ , год.	2000	1800	1600	1400	2200	2400	2600	1900	1700	2100
$t$ , год.	10000	9000	8000	9000	1500	11000	12000	13000	14000	15000
Параметри	Варіант									
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
$T_{cp}$ , год.	10000	9000	8000	7000	6000	11000	10000	8000	7000	6000
$\sigma(t)$ , год.	1400	1600	1800	2100	1700	1400	2200	2400	2600	1900
$t$ , год.	15000	12000	15000	13000	7000	1300	13000	12000	10000	8000

Таблиця 2.3 – Вихідні дані до завдання 2.2.3

Параметри	Варіант									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$k$	1.5	1.6	1.7	1.8	1.4	1.3	1.2	1.8	1.7	1.6
$a \cdot 10^{-4}$ , 1/год.	1.0	0.9	0.8	0.7	1.1	1.2	0.9	0.8	0.7	0.6
$t$ , год.	100	120	140	160	80	70	60	110	130	150
Параметри	Варіант									
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
$k$	1.8	1.7	1.6	1.5	1.2	1.3	1.4	1.6	1.7	1.8
$a \cdot 10^{-4}$ , 1/год.	0.8	0.9	1.2	1.1	0.6	0.7	0.8	1.2	1.1	1.0
$t$ , год.	110	130	150	60	80	100	160	140	120	70

Таблиця 2.4 – Вихідні дані до завдання 2.2.4

Параметри	Варіант									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$\sigma_t$ , год.	1000	1100	1200	1300	1400	1500	1600	1700	1800	1900
$t$ , год.	1000	900	800	1100	1200	1000	900	800	1400	1500
Параметри	Варіант									
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
$\sigma_t$ , год.	1500	1600	1700	1800	1900	1400	1300	1200	1100	1000
$t$ , год.	800	1000	1200	1100	900	800	1200	900	1000	800

ДОДАТОК А

Нормована функція Лапласа  $\Phi(U) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \cdot \int_0^U e^{-\frac{u^2}{2}} du$

U	Соті частки U									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	0.0000	040	080	120	160	199	239	279	319	359
0.1	398	438	478	517	557	596	636	675	714	753
0.2	793	832	871	910	948	987	026	064	103	141
0.3	0.1179	217	255	293	331	368	406	443	480	517
0.4	554	591	628	664	700	736	772	808	884	879
0.5	915	950	985	019	054	088	123	157	190	224
0.6	0.2257	291	324	357	389	422	454	486	517	549
0.7	580	611	642	673	703	734	764	794	823	852
0.8	881	910	939	967	995	023	051	078	106	133
0.9	0.3159	186	212	238	264	289	315	340	365	389
1.0	413	437	461	485	508	583	554	577	599	621
1.1	643	665	686	708	729	749	770	790	810	830
1.2	849	869	888	907	925	944	962	980	997	015
1.3	0.4032	049	066	082	099	115	131	147	162	177
1.4	192	207	222	236	251	265	279	292	306	319
1.5	332	345	357	370	382	394	406	418	429	441
1.6	452	463	474	484	495	505	515	525	535	545
1.7	554	564	573	582	591	599	608	616	625	633
1.8	641	649	656	664	671	678	686	693	699	706

1.9	713	719	726	732	738	744	750	756	761	767
2.0	772	778	783	788	793	798	803	808	812	817
2.1	821	826	830	834	838	842	846	850	854	857
2.2	860	864	867	871	874	877	880	883	886	889
	966	474	906	263	545	755	894	962	962	893
2.3	892	895	898	900	903	906	908	911	913	915
2.4	918	920	922	924	926	928	930	932	934	936
	025	237	397	506	564	572	531	493	309	128
2.5	937	939	941	942	944	946	947	949	950	952
	903	634	323	969	574	139	664	151	600	012
2.6	0.4953	954	956	957	958	959	960	962	963	964
	388	729	035	308	547	754	930	074	189	274
2.7	965	966	967	968	969	970	971	971	972	973
	330	358	359	333	280	202	099	972	821	646
2.8	974	975	975	976	977	978	979	979	980	980
	449	229	988	726	443	140	818	476	116	738
2.9	981	981	982	983	983	984	984	985	985	986
	342	929	498	052	589	111	618	110	588	051
3.0	986	986	987	987	988	988	988	989	989	989
	501	938	361	772	171	558	933	297	650	992
3.1	990	990	990	991	991	991	992	992	992	992
	324	646	957	260	553	836	112	378	636	886
3.2	993	993	993	993	994	994	994	994	994	994
	129	363	590	810	230	230	623	623	810	991
3.3	995	995	995	995	996	996	996	996	996	996
	166	335	499	658	959	959	242	242	376	505

3.4	966	996	996	996	997	997	997	997	997	997
	631	752	869	982	091	197	299	398	493	585
3.5	997	997	997	997	997	998	998	998	998	998
	674	759	842	992	999	074	146	215	282	347
3.6	998	998	998	998	998	998	998	998	998	998
	409	469	527	583	637	689	739	787	834	879
3.7	998	998	999	999	999	999	999	999	999	999
	922	964	004	043	080	116	150	184	216	247
3.8	999	999	999	999	999	999	999	999	999	999
	274	305	333	359	385	409	433	456	478	499
3.9	999	999	999	999	999	999	999	999	999	999
	519	539	557	575	593	609	625	641	655	670
4.0	999	999	999	999	999	999	999	999	999	999
	683	696	709	721	733	744	755	765	775	784
4.1	999	999	999	999	999	999	999	999	999	999
	793	802	811	819	826	834	841	848	854	861
4.2	999	999	999	999	999	999	999	999	999	999
	867	872	878	883	888	893	898	902	907	911
4.3	999	999	999	999	999	999	999	999	999	999
	915	918	922	925	929	932	935	938	841	943
4.4	0.4999	999	999	999	999	999	999	999	999	999
	946	948	951	953	955	957	959	961	963	964
4.5	999	999	999	999	999	999	999	999	999	999
	966	968	969	971	972	973	974	976	977	978
5.0	999									
	997									

**Примітка:** В таблиці наведено лише три останніх десяткових знаки із чотирьох: перший із них наведено в графі «0» даної строки або вище даної. Якщо перед останніми трьома десятковими знаками стоїть крапка, то це означає, що перший десятковий знак треба визначати в графі «0» наступної строки. Наприклад, для  $U = 0.53$  отримують  $\Phi_{(0.53)} = 0.2019$  (а не 0.1019).

Для значення  $2.2 \leq U \leq 50$  під основними чотирма десятковими знаками функції  $\Phi_{(U)}$  додаються ще три десяткових знаки. Наприклад, при  $z = 3.51$  знаходимо  $\Phi_{(3.51)} = 0.4997$ , тобто  $\Phi = 0.4997759$ .

**Приклад.** Визначити ймовірність того, що нормально розподілена нормована величина  $U$  має значення в інтервалі від 0 до 3.28.

Маємо  $P_{(0 < z < 3.28)}$ ,  $\Phi_{(3.28)} = 0.4994810$ .

## ДОДАТОК Б

Значення функції  $\varphi(u) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-u^2/2}$

$x$		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0.0	0.	3989	3089	3989	3988	3986	3984	3982	3980	3977	3973
0.1	0.	3970	3965	3961	3956	3951	3945	3939	3932	3925	3918
0.2	0.	3910	3902	3894	3885	3876	3867	3857	3847	3836	3825
0.3	0.	3814	3802	3790	3778	3765	3752	3739	3725	3712	3697
0.4	0.	3683	3668	3653	3637	3621	3605	3589	3572	3555	3538
0.5	0.	3521	3503	3485	3467	3448	3429	3410	3891	3372	3352
0.6	0.	3332	3312	3292	3271	3251	3230	3209	3187	3166	3144
0.7	0.	3123	3101	3079	3056	3034	3011	2989	2966	2943	2920
0.8	0.	2897	2874	2850	2827	2803	2780	2756	2732	2709	2685
0.9	0.	2661	2637	2613	2589	2565	2541	2516	2492	2468	2444
1.0	0.	2420	2396	2371	2347	2323	2299	2275	2251	2227	2203
1.1	0.	2179	2155	2131	2107	3083	2059	2036	2012	1989	1965
1.2	0.	1942	1919	1895	1872	1849	1825	1804	1781	1758	1736
1.3	0.	1714	1691	1669	1647	1626	1604	1582	1551	1539	1518
1.4	0.	1497	1476	1456	1435	1415	1394	1374	1354	1334	1315
1.5	0.	1295	1276	1257	1238	1219	1200	1182	1163	1145	1127
1.6	0.	1109	1092	1074	1057	1040	1023	1006	0989	0973	0957
1.7	0.0	9405	9246	9089	8933	8780	8628	8478	8329	8183	8038
1.8	0.0	7895	7754	7614	7477	7341	7206	7074	6943	6814	6687
1.9	0.0	6562	6438	6316	6195	6077	5959	5844	5730	5618	5508
2.0	0.0	5399	5292	5186	5082	4980	4879	4780	4682	4586	4491
2.1	0.0	4398	4307	4217	4128	4041	3955	3871	3788	3706	3626
2.2	0.0	3547	3470	3394	3319	3246	3174	3103	3034	2965	2898

2.3	0.0	2883	2768	2705	2643	2582	2522	2463	2406	2349	2294
2.4	0.0	2239	2186	2134	2083	2033	1984	1936	1888	1842	1797
2.5	0.0	1758	1709	1667	1625	1585	1545	1506	1468	1431	1394
2.6	0.0	1358	1324	1289	1256	1223	1191	1160	1130	1100	1071
2.7	0.0	1042	1014	0987	0961	0935	0909	0885	0861	0837	0814
2.8	0.00	7915	7696	7483	7274	7071	6873	6679	6491	6307	6127
2.9	0.00	5952	5782	5616	5454	5296	5143	4993	4847	4705	4567
3.0	0.00	4432	4301	4173	4049	3928	3810	3695	3584	3475	3370
3.	0.00	4432	3267	2384	1723	1232	0873	0612	0425	0292	0199
4.	0.0 <sup>3</sup>	1388	0893	0589	0385	0249	0160	0101	0064	0040	0024
5.	0.0 <sup>5</sup>	1487	0897	0536	0317	0186	0108	0062	0035	0020	0011

## ДОДАТОК В

Значення гама-функції

$x$	$\Gamma(x)$	$x$	$\Gamma(x)$	$x$	$\Gamma(x)$	$x$	$\Gamma(x)$
1.00	1.00000	1.25	0.90640	1.50	0.88623	1.75	0.91906
1	0.99433	6	0.90440	1	0.88659	6	0.92137
2	0.98884	7	0.90250	2	0.88704	7	0.92376
3	0.98355	8	0.90072	3	0.88757	8	0.92623
4	0.97844	9	0.89904	4	0.88818	9	0.92877
1.05	0.97350	1.30	0.89747	1.55	0.88887	1.80	0.93138
6	0.96874	1	0.89600	6	0.88964	1	0.93408
7	0.96415	2	0.89464	7	0.89049	2	0.93685
8	0.95973	3	0.89338	8	0.89142	3	0.93369
9	0.95546	4	0.89222	9	0.89243	4	0.94261
1.10	0.95135	1.35	0.89115	1.60	0.89352	1.85	0.94561
1	0.94740	6	0.89018	1	0.89468	6	0.94869
2	0.94359	7	0.88931	2	0.89592	7	0.95184
3	0.93993	8	0.88854	3	0.89724	8	0.95507
4	0.93642	9	0.88785	4	0.89664	9	0.95838
1.15	0.93304	1.40	0.88726	1.65	0.90012	1.90	0.96177
6	0.92980	1	0.88676	6	0.90167	1	0.96523
7	0.92670	2	0.88636	7	0.90330	2	0.96877
8	0.92373	3	0.88604	8	0.90500	3	0.97240
9	0.02089	4	0.88581	9	0.90678	4	0.97610
1.20	0.91817	1.45	0.88566	1.70	0.90864	1.95	0.97988

1	0.91558	6	0.88560	1	0.91057	6	0.98374
2	0.91311	7	0.88503	2	0.91258	7	0.98768
3	0.91075	8	0.88575	3	0.91467	8	0.99171
4	0.90852	9	0.88595	4	0.91683	9	0.99581
						2.00	1.00000

## ДОДАТОК Г

Значення функції  $e^{-x}$

x	x									
	0	0.001	0.002	0.003	0.004	0.005	0.006	0.007	0.008	0.009
0.00	1.0000	0.9990	0.9980	0.9970	0.9960	0.9950	0.9940	0.9930	0.9920	0.9910
0.01	0.9900	0.9891	0.9881	0.9871	0.9861	0.9851	0.9841	0.9831	0.9822	0.9812
0.02	0.9802	0.9792	0.9782	0.9773	0.9763	0.9753	0.9743	0.9734	0.9724	0.9714
0.03	0.9704	0.9695	0.9685	0.9675	0.9666	0.9656	0.9646	0.9637	0.9627	0.9618
0.04	0.9608	0.9598	0.9588	0.9579	0.9570	0.9560	0.9550	0.9541	0.9531	0.9522
0.05	0.9512	0.9502	0.9493	0.9484	0.9474	0.9465	0.9455	0.9446	0.9436	0.9427
0.06	0.9418	0.9408	0.9399	0.9389	0.9380	0.9371	0.9361	0.9352	0.9343	0.9333
0.07	0.9324	0.9315	0.9305	0.9226	0.9287	0.9277	0.9258	0.9259	0.9250	0.9240
0.08	0.9231	0.9222	0.9213	0.9204	0.9194	0.9185	0.9176	0.9167	0.9158	0.9148
0.09	0.9139	0.9130	0.9121	0.9112	0.9103	0.9094	0.9085	0.9076	0.9066	0.9057
	0	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09
0.1	0.9048	0.8958	0.8969	0.8781	0.8694	0.8607	0.8521	0.8437	0.8353	0.8270
0.2	0.8187	0.8106	0.8025	0.7945	0.7866	0.7788	0.7711	0.7634	0.7588	0.7483
0.3	0.7408	0.7334	0.7261	0.7189	0.7118	0.7047	0.6977	0.6907	0.6839	0.6771
0.4	0.6703	0.6637	0.6570	0.6505	0.6440	0.6376	0.6313	0.6250	0.6188	0.6126
0.5	0.6065	0.6005	0.5945	0.5886	0.5825	0.5769	0.5712	0.5655	0.5599	0.5543
0.6	0.5488	0.5434	0.5379	0.5326	0.5273	0.5220	0.5169	0.5117	0.5066	0.5016
0.7	0.4966	0.4916	0.4868	0.4819	0.4771	0.4724	0.4677	0.4630	0.4584	0.4538
0.8	0.4493	0.4449	0.4404	0.4360	0.4317	0.4274	0.4232	0.4190	0.4148	0.4107

	0	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09
0.9	0.4066	0.4025	0.3985	0.3946	0.3906	0.3867	0.3829	0.3791	0.3753	0.3716
1.0	0.3679	0.3642	0.3606	0.3570	0.3535	0.3499	0.3465	0.3430	0.3396	0.3362
1.1	0.3329	0.3296	0.3263	0.3230	0.3198	0.3166	0.3135	0.3104	0.3073	0.3042
1.2	0.3012	0.2982	0.2952	0.2923	0.2894	0.2865	0.2837	0.2808	0.2780	0.2753
1.3	0.2725	0.2698	0.2671	0.2645	0.2618	0.2592	0.2567	0.2541	0.2516	0.2491
1.4	0.2466	0.2441	0.2417	0.2393	0.2369	0.2346	0.2322	0.2299	0.2276	0.2254
1.5	0.2231	0.2209	0.2187	0.2165	0.2144	0.2122	0.2104	0.2080	0.2060	0.2039
1.6	0.2019	0.1999	0.1979	0.1959	0.1940	0.1920	0.1901	0.1882	0.1864	0.1845
1.7	0.1827	0.1809	0.1791	0.1773	0.1755	0.1738	0.1720	0.1703	0.1686	0.1670
1.8	0.1653	0.1637	0.1620	0.1604	0.1588	0.1572	0.1557	0.1541	0.1526	0.1511
1.9	0.1496	0.1481	0.1466	0.1451	0.1437	0.1423	0.1409	0.1395	0.1381	0.1367
2.0	0.1353	0.1340	0.1327	0.1313	0.1300	0.1287	0.1275	0.1262	0.1249	0.1237
2.2	0.1108	0.1097	0.1086	0.1075	0.1065	0.1054	0.1044	0.1033	0.1023	0.1013
2.3	0.1003	0.0993	0.0983	0.0973	0.0963	0.0954	0.0954	0.0935	0.0926	0.0916
2.4	0.907	0.0898	0.0889	0.0880	0.0872	0.0863	0.0854	0.0846	0.0837	0.0829
2.5	0.0821	0.0813	0.0805	0.0797	0.0789	0.0781	0.0773	0.0765	0.0758	0.0750
2.6	0.0743	0.0735	0.0728	0.0721	0.0714	0.0707	0.0699	0.0693	0.0686	0.0679
2.7	0.0672	0.0665	0.0659	0.0652	0.0646	0.0639	0.0633	0.0627	0.0620	0.0614
2.8	0.0608	0.0602	0.0596	0.0590	0.0584	0.0578	0.0573	0.0567	0.0561	0.0556
2.9	0.0550	0.0545	0.0539	0.0534	0.0529	0.0523	0.0518	0.0513	0.0508	0.0503

	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
3	0.0498	0.450	0.0408	0.0368	0.0334	0.0302	0.0273	0.0247	0.0224	0.0200
4	0.0183	0.0166	0.0150	0.0136	0.0123	0.0111	0.0101	0.0091	0.0082	0.0074
5	0.0067	0.0061	0.0055	0.0050	0.0045	0.0041	0.0037	0.0033	0.0030	0.0027
6	0.0025	0.0022	0.0020	0.0018	0.0017	0.0015	0.0014	0.0012	0.0011	0.0010
7	0.0009	0.0008	0.0007	0.0007	0.0006	0.0006	0.0005	0.0005	0.0004	0.0004
8	0.0003	0.0003	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0001