ФАКУЛЬТЕТ АВТОМАТИКИ, ТЕЛЕМЕХАНІКИ ТА ЗВ’ЯЗКУ

Кафедра „Транспортний зв’язок”

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до практичних і лабораторних робіт з дисципліни

“*НАДІЙНІСТЬ СИСТЕМ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ*”

Харків – 2010

Методичні вказівки розглянуто та рекомендовано до друку на засіданні кафедри “Транспортний зв'язок”

24 листопада 2009 р., протокол № 4.

Наведено теоретичні відомості про основні закони розподілу часу між відмовами засобів та систем телекомунікацій. На основі виконання індивідуального завдання, наведеного в методичних вказівках, базується практична та лабораторна робота, сутність якої полягає в дослідженні змін графічних залежностей та основних показників надійності телекомунікаційних пристроїв при різних законах розподілу часу між відмовами.

Призначено для студентів факультету АТЗ усіх форм і термінів навчання.

Укладач

доц. М.О. Колісник

Рецензенти:

професори А.Б. Бойнік,
В.Ф. Кустов

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ДО ПРАКТИЧНИХ І ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ З ДИСЦИПЛІНИ “НАДІЙНІСТЬ СИСТЕМ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ”

Відповідальний за випуск Колісник М.О.

Редактор Буранова Н.В

Підписано до друку 26.01.10 р.
Формат паперу 60x84 1/16 . Папір писальний.
Умовн.-друк.арк. 1,75. Обл.-вид.арк. 2,0.
Замовлення № Тираж 250 Ціна

Видавництво УкрДАЗТу, свідоцтво ДК № 2874 від. 12.06.2007 р.
Друкарня УкрДАЗТу,
61050, Харків - 50, майд. Фейєрбаха, 7

Таблиця 1 – Основні формули для обчислення показників надійності при різних законах розподілу часу між відмовами

Розподіл	$T_{ср}$, год	σ, год	P(t)	f(t), 1/год
Експоненційний Exp(λ)	$\frac{1}{\lambda}$	$\frac{1}{\lambda}$	$e^{-\lambda\cdot t}$	$\lambda\cdot e^{-\lambda\cdot t}$
Рівномірний U(a,b), a≥0	$\frac{a+b}{2}$	$\frac{b-a}{2\sqrt{3}}$	$\frac{1}{b-a},\ a\le t\le b$ $0,\ t<a, t>b$	$1,\ t<a$ $\frac{b-t}{b-a},\ a\le t\le b$ $0,\ t>b$
Гамма Γ(α,β)	α·β	$\sqrt{\alpha}\cdot\beta$	$\frac{t^{\alpha-1}}{\beta^{\alpha}\cdot\Gamma(\alpha)}¿e^{-\left(\frac{t}{\beta}\right)}$	$1-I\left(\alpha;\frac{t}{\beta}\right)$
Усічений нормальний $TN(m_0,\sigma_0)$ $m_0\ge 1.33\cdot\sigma$	$m_0+k\sigma_0$	$\sigma_0\cdot\sqrt{1+k\cdot\frac{m_0}{\sigma_0}-k^2}$ $k=\frac{C}{\sqrt{2\cdot\pi}}\cdot e^{-\left(\frac{m_0^2}{2\cdot\sigma_0^2}\right)}$ $C=\frac{1}{0.5+\Phi_0\left(\frac{m_0}{\sigma_0}\right)}$	$\frac{C}{\sigma_0\cdot\sqrt{2\pi}}\cdot e^{-\left(\frac{(t-m_0)^2}{2\sigma_0^2}\right)}$	$C\cdot\left(0.5-\Phi_0\left(\frac{t-m_0}{\sigma_0}\right)\right)$
Релея	$2\cdot\lambda\cdot¿¿$	$\sqrt{\frac{4-\pi}{4\cdot\lambda}}$	$e^{-\lambda\cdot t^2}$	$2\cdot\lambda\cdot t\cdot e^{-\lambda\cdot t^2}$
Вейбулла W(α,β)	$\beta\cdot\Gamma\left(1+\frac{1}{\alpha}\right)$	$\beta\cdot\left(\sqrt{\Gamma\left(1+\frac{2}{\alpha}\right)-\Gamma^2\left(1+\frac{1}{\alpha}\right)}\right)$	$e^{-\left(\frac{t}{\beta}\right)^{\alpha}}$	$\frac{\alpha\cdot t^{\alpha-1}}{\beta^{\alpha}}¿e^{-\left(\frac{t}{\beta}\right)^{\alpha}}$
Нормальний	m	σ	$\frac{1}{\sigma\cdot\sqrt{2\pi}}\cdot e^{-\frac{(t-m)^2}{2\sigma^2}}$	$\left(0.5-\Phi_0\left(\frac{t-m}{\sigma}\right)\right)$

УКРАЇНСЬКА ДЕРЖАВНА АКАДЕМІЯ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ

ФАКУЛЬТЕТ АВТОМАТИКИ, ТЕЛЕМЕХАНІКИ ТА ЗВ'ЯЗКУ

Кафедра "Транспортний зв'язок"

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ДО ПРАКТИЧНИХ І ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ З ДИСЦИПЛІНИ "НАДІЙНІСТЬ СИСТЕМ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ"

для студентів факультету АТЗ спеціальності "Телекомунікаційні системи та мережі" та спеціальності "Автоматизовані системи технологічного зв'язку на залізничному транспорті" всіх форм навчання

Харків 2010

Методичні вказівки розглянуто та рекомендовано до друку на засіданні кафедри "Транспортний зв'язок" 24 листопада 2009 р., протокол № 4.

Наведено теоретичні відомості про основні закони розподілу часу між відмовами засобів та систем телекомунікацій. На основі виконання індивідуального завдання, наведеного в методичних вказівках, базується практична робота та лабораторна робота, сутність якої полягає в дослідженні змін графічних залежностей та основних показників надійності телекомунікаційних пристроїв при різних законах розподілу часу між відмовами.

Призначено для студентів факультету АТЗ всіх форм і термінів навчання.

Укладач

доц. М.О. Колісник

Рецензенти:

професори А.Б. Бойнік,
В.Ф. Кустов

ВСТУП

Важливою ознакою сучасного етапу розвитку науки і техніки, сфери виробництва та споживання є стрімкий розвиток і впровадження цифрових технологій. Цифрові пристрої є основою комп’ютерної техніки, радіотехнічної апаратури, систем телекомунікацій та ін.

До засобів телекомунікацій ставляться такі вимоги [1]:

1) забезпечення передачі необхідного об’єму інформації, відомостей;
2) заданий час передачі;

3) передача з необхідною якістю.

Для забезпечення таких вимог необхідне надійне функціонування засобів телекомунікацій. Забезпечення високої надійності цифрових систем, у першу чергу безвідмовності, ремонтопридатності та готовності, неможливе без розвинутих засобів контролю і діагностування. Цей висновок справедливий як для систем, що відновлюються автоматично, так і для систем, працездатність яких відновлюється шляхом їх вилучення та ремонту. Для систем постійної готовності, таких як цифрові системи комутації, цифрові системи передачі інформації, найважливішими є: висока достовірність, оперативність та безвідмовність засобів контролю і діагностування. Таким чином, досконалість засобів контролю і діагностування є важливою характеристикою цифрових систем телекомунікацій, значення якої зростає внаслідок ускладнення їх елементної бази, структури та функцій, що виконуються.

У зв'язку з ускладненням телекомунікаційної апаратури виникло завдання забезпечення необхідної надійності. Проблема надійності є комплексною, оскільки вона безпосередньо пов'язана з процесами проектування, досвідченої розробки, виробництва і випробування техніки. Сукупність загальних методів, що дозволяють створювати технічні пристрої з високою надійністю і розраховувати її кількісні показники - основа теорії надійності.

МЕТА РОБОТИ

Закріпити теоретичні знання і набути практичних навичок та вміння в розрахунках і оцінці основних показників надійності засобів зв'язку при їх різних моделях відмов за допомогою персонального комп'ютера.

ЗАВДАННЯ ДО ПРАКТИЧНИХ РОБІТ

1 За списком літератури, конспектом лекцій і даними методичними вказівками вивчити основні теоретичні відомості щодо моделей відмов засобів телекомунікацій.

2 Згідно з індивідуальним завданням зробити розрахунок основних показників надійності (математичного очікування середнього напрацювання на/до відмови та середньоквадратичного відхилення) системи, що складається з 5 елементів і для одного елемента.

3 Для заданого елемента з обраним законом розподілу виконати обчислення параметрів, які залежать від часу: ймовірність безвідмовної роботи P(t) та щільність розподілу часу між відмовами f(t). При цьому вважати, що час t змінюється в інтервалі (0;1500) годин з кроком 150 годин. Результат обчислень подати у вигляді таблиць та графіків залежностей від часу.

4 Виконати розрахунок інтенсивності відмов елемента.

ПРОГРАМА РОБОТИ В ЛАБОРАТОРІЇ

1 Ознайомитися з особливостями роботи в Microsoft Excel.

2 Провести розрахунок показників надійності, значення яких залежать від часу, в Microsoft Excel, отримати таблиці значень.

3 Провести експериментальне дослідження зміни показників ІБР та щільності розподілу часу між відмовами, побудувавши їх графічні залежності від часу.

4 Провести експериментальне дослідження зміни показників ІБР та щільності розподілу часу між відмовами при різних законах розподілу часу між відмовами, побудувавши їх графічні залежності від часу.

5 Провести порівняльну оцінку характеру змінення основних показників надійності при різних законах розподілу часу між відмовами.

6 Оформити звіт про виконану роботу (таблиці із отриманими значеннями і графічні залежності з порівняльними оцінками).

ЗМІСТ ЗВІТУ

1 Назва і мета роботи.

2 Вихідні дані для розрахунків згідно з індивідуальним завданням (таблиця 1).

3 Матеріали експериментальних досліджень з аналізом отриманих результатів за всіма пунктами програми роботи в лабораторії (таблиці із отриманими значеннями і графічні залежності з порівняльними оцінками).

4 Висновки за результатами експериментальних досліджень та порівняльної оцінки змінення значень основних показників надійності при різних законах розподілу часу між відмовами елементів засобів телекомунікацій.

КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ

1 Що розуміють під терміном “модель відмов”? Які існують моделі відмов?

2 Що таке модель надійності?

3 На підставі яких чинників обирається модель відмов?

4 Яка найбільш часто використовувана модель відмов систем телекомунікацій?

5 Назвіть основні задачі надійності.

6 Поясніть, чому для опису часу між потоками відмов засобів телекомунікацій не використовується типовий нормальний закон розподілу часу між відмовами.

7 Наведіть відмітні особливості усіченого закону розподілу, логарифмічно нормального закону розподілу та нормального закону розподілу часу між відмовами.

8 Назвіть закони розподілу часу між відмовами засобів телекомунікацій, що зводяться до більш простих законів розподілу. Поясніть, в яких випадках це можливо і до яких саме законів розподілу часу між відмовами вони зводяться.

ОСНОВНІ ТЕРМІНИ ТА ВИЗНАЧЕННЯ

Надійність є найважливішою характеристикою будь-якого технічного об'єкта, від якого залежить доцільність його використання за призначенням. При розробленні і впровадженні нової апаратури зв'язку на залізничному транспорті звичайно визначають показники її надійності. Основним завданням надійності є розроблення кількісних методів оцінки надійності і визначення найбільш раціональних методів забезпечення необхідного рівня надійності створюваних і систем, що вводяться в експлуатацію.

Надійність - властивість об'єкту зберігати в часі у встановлених межах значення всіх параметрів, що характеризують здатність виконати необхідні функції в заданих режимах і умовах застосування, технічного обслуговування (ТО), ремонту і транспортування [1].

Надійність об'єкта оцінюється не тільки під час безпосередньої експлуатації, але і під час зберігання, транспортування і ремонтів. Тому надійність є складною властивістю і полягає у поєднанні таких складових: безвідмовності, довговічності, ремонтопридатності та збережуваності.

Об'єкт - система, споруда, машина, підсистема, апаратура, пристрій, елемент або їх частина, що розглядається за надійністю як самостійна одиниця. Об'єкт може бути ремонтним, неремонтним, відновлюваним, невідновним.

Невідновний об'єкт - об'єкт не ремонтується і більше не використовується за призначенням. Працює до першої відмови (відновлення технічно неможливе або економічно невигідне).

Відновлюваний об'єкт - для повернення в працездатний стан виконується ремонт об'єкта, який потім використовується за призначенням. Методи розрахунку надійності об'єкта залежать в основному від виду відмови (раптові і поступові) і типу об'єкта (відновлювані і невідновні).

З точки зору надійності об'єкт може перебувати в одному з двох станів - справному або несправному. ***Справний*** - стан, при якому об'єкт відповідає всім вимогам нормативно - технічної і (або) конструкторської документації. У ***несправному*** стані об'єкт не відповідає хоча б одній з цих вимог. Несправний об'єкт може бути в працездатному стані, непрацездатному і граничному.

Працездатний стан - значення всіх параметрів об'єкта, що характеризують його здатність виконувати задані функції, відповідні вимогам нормативно-технічної і (або) конструкторської документації.

Непрацездатний стан - хоча б один такий параметр не задовольняє вимоги нормативно-технічної і (або) конструкторської документації.

Граничний стан - стан об'єкта, при якому його подальше застосування за призначенням неприпустиме або недоцільне, або відновлення його справного чи працездатного стану неможливе або недоцільне. Граничний стан настає при фізичному або моральному старінні, різкому зниженні ефективності експлуатації, отже, потрібен капітальний ремонт або списання.

Дефект - подія, що полягає в порушенні справності об'єкта.

Пошкодження - подія, коли об'єкт переходить у несправний, але працездатний стан.

Відмова – стан, коли об'єкт переходить у непрацездатний або граничний стан.

Зворотний процес - відновлення працездатності. Якщо об'єкт перебуває в непрацездатному стані, відновлення полягає в ремонті об’єкта. Якщо об'єкт перебуває в граничному стані, потрібен капітальний ремонт, що полягає в заміні всіх основних деталей об'єкта і відновленні його ресурсу.

Безвідмовність - властивість об'єкта безперервно зберігати працездатний стан протягом деякого часу.

Довговічність - властивість об'єкта зберігати працездатний стан до настання граничного стану, при встановленій системі ТО і ремонту.

Безвідмовність не допускає відмови, але допускає пошкодження. Довговічність допускає відмови, які мають усуватися. Довговічність не допускає граничного стану і визначає, таким чином, термін служби об'єкта.

Ремонтопридатність - властивість об'єкту, що полягає в пристосованості до попередження і виявлення причин виникнення відмов, пошкоджень і підтримці та відновленні працездатного стану в результаті проведення ТО і ремонтів. Ця властивість полегшує обслуговування технічного об'єкта при його експлуатації і дозволяє швидко виявити блок, що відмовив, і замінити його на справний.

У процесі розроблення, експлуатації і старіння апаратури зв'язку потік відмов апаратної частини може підкорятися різним законам розподілу часу між відмовами. Тому, з метою точнішого визначення основних кількісних показників надійності засобів зв'язку, необхідно розглянути різні моделі відмов.

ОСНОВНІ ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ ЩОДО РОЗПОДІЛІВ ЧАСУ МІЖ ВІДМОВАМИ

Елементи розподілу відмов. Моделі відмов.

Процеси, що протікають у технічних та інформаційних системах і пов'язані з відмовами техніки, є складними випадковими процесами.

Випадкова величина - величина, значення якої може випадковим чином змінютися від досліду до досліду, залежно від ряду чинників, дії яких на досліджувану величину не можна передбачити.

Повний набір значень, які приймає випадкова величина, називається ***генеральною сукупністю***. Набір випадково відібраних з генеральної сукупності об'єктів називають **вибірковою сукупністю** або **вибіркою**. Об'ємом сукупності називають число об'єктів у ній. При великих об'ємах генеральної сукупності для забезпечення теоретичних побудов об'єм генеральної сукупності приймається рівним нескінченності.

При дослідженні систем масового обслуговування (СМО), якими є цифрові системи телекомунікацій, широко застосовуються різні безперервні і дискретні розподіли. Перші з них описують безперервні випадкові величини, можливі значення яких безперервно заповнюють деякий проміжок. Дискретні розподіли відповідають дискретним випадковим величинам, можливими значеннями яких є окремі ізольовані числа, які ця величина приймає з певною імовірністю.

Прикладами випадкових безперервних величин, з якими доводиться мати справу в процесі дослідження СМО, можуть служити інтервали між моментами надходження вимог у систему, час обслуговування вимоги і т. д. Прикладами дискретних випадкових величин можуть бути число вимог, що прибувають в систему за деякий фіксований проміжок часу, довжина черги, число відмов у системі і т. д.

Випадкова величина характеризується повністю, якщо вказана імовірність, з якою вона приймає те або інше значення генеральної сукупності. Імовірність може бути описана за допомогою ***інтегральної функції розподілу F(x)*** або ***диференціальної функції щільності розподілу f(x).*** Розподіл нормальної – одне з центральних понять теорії нормальної і математичної статистики. Визначення розподілу нормальної рівносильне завданню нормальної всіх випадкових величин, що описує деяку випадкову подію. Розподіл нормальної деякої випадкової величини, можливі значення якої x_1, x_2, . xn утворюють вибірку, задається вказівкою цих значень і відповідної їм нормальної p_1, p_2,. pn (pn повинні бути позитивні і в сумі давати одиницю).

Функція (інтегральна) розподілу F(x) випадкової величини X – імовірність того, що значення випадкової величини X не перевищить змінної величини x {F(x) = P[X ≤ x]}.

Модель відмов – математична модель у вигляді функції розподілу відмов або імовірності появи відмов у заданий момент часу t (функція розподілу напрацювання в цілому).

Модель надійності – математична модель, що встановлює зв'язок між показниками надійності об'єкта, характеристикою надійності елементів, його структури і параметрами процесу функції об'єкта.

Щільність розподілу нормальної випадкової величини X – це функція f(x) – перша похідна від функції розподілу F(x):

$f(x) = F'(x)$.

Функція розподілу невідновних об'єктів (імовірність виникнення відмов) – це імовірність того, що відмова відбудеться після включення через час, що не перевищує заданої величини t, тобто $T \le t$, як імовірність подій, протилежних

$$T > t = F(t) = 1 - R(t),\ t \ge 0.$$

Функція F(t) монотонно зростає від 0 до 1 (передбачається, що у момент включення пристрій працездатний).

Статистичне визначення F(t):

$$F(t) = \frac{n(t)}{N_0}.$$

Функція F(t) представляє **інтегральну функцію розподілу** випадкової величини t. Якщо функція F(t) диференційована, то безвідмовність можна характеризувати також щільністю імовірності моменту першої відмови, яка рівна:

$$f(t) = \frac{dF(t)}{dt} = -\frac{dP(t)}{dt}.$$

Статичне визначення f(t):

$$f(t) = \frac{n(\Delta t)}{N_0 \cdot \Delta t},$$

де $n(\Delta t)$ – число зразків, що відмовили, в інтервалі $(t;\ t+\Delta t)$;

Δt – інтервал часу.

Використовуючи наведені співвідношення, можна записати :

$$F(t) = \int_0^t f(t)dt;$$

$$P(t) = \int_{t}^{\infty} f(t)dt.$$

Вимоги до моделей відмов

Вичерпною характеристикою будь-якої випадкової величини є ймовірність розподілу цієї величини або функції розподілу. Встановлення аналітичного виразу F(x) випадкової величини дозволяє визначити необхідні показники надійності. При цьому вибір тієї або іншої теоретичної моделі відмов обумовлює визначення точності отримання кількості показників надійності.

Вибір моделі відмов, тобто визначення аналітичного виразу функції розподілу, проводять на основі аналізу:

- статистичних даних повного напрацювання (ресурсу або збережуваності);
- фізичних процесів деградації, що призводить до відмови (граничного стану).

Функція розподілу, використовується як модель відмов і повинна дозволяти розв’язувати такі основні задачі надійності:

1) розрахунок показників безвідмовності невідновних (резервованих і нерезервованих), відновлюваних (резервованих і нерезервованих) систем;
2) розрахунок довговічності (терміну служби) системи;
3) розрахунок норм запасних частин;
4) планування визначальних і контрольних випробувань на надійність;
5) обробка і отримання оцінок (точкових й інтервальних) показників надійності за наслідками випробувань або спо-

стережень при експлуатації.

Теорема. Імовірність того, що безперервна випадкова величина T прийме значення, що належить інтервалу (a,b), дорівнює певному інтегралу від щільності розподілу, взятому в межах від a до b:

$$P(a \le T < b) = \int_a^b f(t)dt.$$

Середнє значення випадкової величини називається ***математичним очікуванням***:

$$m_t = \int_{-\infty}^{\infty} t \cdot f(t)dt.$$

Дисперсія - це математичне очікування квадрата відхилення величини x від центру її розподілу m_x:

$$D_t = \int_{-\infty}^{\infty} (t - m_t)^2 f(t)dt.;$$

$\sigma_t = \sqrt{D_t}$ - середнє квадратичне відхилення (стандартне відхилення);

$f(t) = \frac{1}{\sigma \cdot \sqrt{2\pi}} \exp(-\frac{(t-m)^2}{2\sigma^2})$ - щільність нормального розподілу.

Розглянемо особливості законів розподілу часу між відмовами, які можуть використовуватись для опису функціонування цифрових пристроїв та систем телекомунікацій.

1 Експоненціальний розподіл

Належить до строго ймовірнісних моделей відмов. Експоненціальний розподіл однопараметричний. Цей розподіл широко використовується в теорії масового обслуговування.

Характеристики:

щільність імовірності безвідмовної роботи:

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

модель відмов (функція розподілу повного напрацювання):

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

модель надійності (імовірність безвідмовної роботи - ІБР):

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

математичне очікування:

$$T_{ср} = MT_0 = \frac{1}{\lambda};$$

дисперсія:

$$DT_0 = \frac{1}{\lambda^2},\ \lambda \neq 0.$$

Властивість ІБР:

$$P(\tau, t) = \frac{e^{-\lambda(\tau+t)}}{e^{-\lambda\tau}} = e^{-\lambda t}$$

не залежить від того, скільки часу виріб пропрацював до даного інтервалу часу ($\tau, \tau + t$).

Середнє залишкове (майбутнє) повне напрацювання до відмови:

$$T_{ср}(\tau) = \int_{\tau}^{\infty} e^{-\lambda\tau}\, {dt}/{e^{-\lambda\tau}} = 1/\lambda$$

також не залежить від того, скільки часу виріб пропрацював раніше.

Таким чином, необхідно критично підходити до застосування цієї моделі відмов, оскільки однопараметричність накладає на неї ряд істотних обмежень (оскільки враховується час проведення профілактики), робить її грубо наближеною і до дуже великих похибок як при розрахунку надійності, так і експериментальній оцінці.

Максимальна правдоподібна оцінка параметра інтенсивності відмов λ:

$$\lambda = \frac{N}{\sum_{i=1}^{N} t_i}.$$

2 Логарифмічно-нормальний розподіл

Випадкова величина має логарифмічно-нормальний (логнормальний) розподіл, якщо логарифм цієї величини має нормальний розподіл і визначається на позитивній півосі.

Переваги: достатньо прості вирази характеристик унаслідок зведення його до широко табульованої функції Лапласа (нормований нормальний розподіл); хороша здатність вирівнювання сильно розсіяних статистичних даних. У деяких випадках час простою цифрової апаратури зв’язку підкорюється логарифмічно нормальному закону розподілу.

Щільність імовірност:

$$f(t) = \frac{1}{t\sigma\sqrt{2\pi}} \cdot \exp\left(-\frac{(\ln t - C)^2}{2\sigma^2}\right);$$

модель відмов (функція розподілу напрацювань до відмови):

$$F(t) = 0.5 + \Phi\left(\frac{\ln t - C}{\sigma}\right);$$

модель надійності (імовірність безвідмовної роботи):

$$P(t) = \Phi\left(\frac{C - \ln t}{\sigma}\right);$$

математичне очікування:

$$T_{cp} = \exp\left(C + \frac{\sigma^2}{2}\right);$$

дисперсія:

$$DT_0 = \frac{\exp(2C - \sigma^2)}{\exp(\sigma^2)}.$$

3 Гамма-розподіл

Даний розподіл широке використовується в теорії надійності. Має спеціальну функцію табуляції:

$$F\ (t) = I\ (k^{\lambda t}) = 1 - \sum_{i=0}^{k-1} \frac{(\lambda t)^i}{i!} e^{-\lambda t};$$

$$f\ (t) = \frac{\lambda^k \cdot t^{k-1}}{\Gamma(k)} \cdot e^{-\lambda t};$$

$$T_{ср} = \frac{k}{\lambda};$$

$$DT_0 = \frac{k}{T_0},$$

де I (k, λt) – неповна гамма-функція (не виражається через елементарні функції) при k = 0;

Г(k) – гамма-функція або факторіальна функція. При цілому k Г(k) = (k -1).

Частота відмов залежить від двох параметрів: параметра форми k і параметра масштабування λ. При цілих k гамма-розподіл перетворюється на розподіл Ерланга, для якого використовуються приведені формули. При k = 1 розподіл Ерланга стає експоненціальним розподілом.

При k < 1: λ - спадна функція часу, що змінюється при збільшенні часу від ∞ до 0.

При k > 1: λ - зростає від 0 до ∞.

При k = 1: λ - не залежить від часу.

Отже, гамма-розподіл можна використовувати для апроксимації реальних розподілів часу P(t) на всіх трьох ділянках життєвого циклу виробів: напрацювання (k<1), нормальної експлуатації (k = 1) і старіння (k>1).

4 Розподіл Вейбулла

Є третім граничним розподілом у теорії екстремальних розподілів і відповідає ситуації руйнування найслабкішої ланки (елемента) з деякої сукупності (системи, що складається з групи елементів), а також достатньо гнучкою функцією, здатною добре вирівнювати різноманітну статистику відмов і може бути моделлю в основі механічних об'єктів. Використовується для розподілу терміну служби елементів цифрової апаратури.

Цей розподіл двопараметричний з параметрами форми m і масштабу λ.

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

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

$$T_{cp} = \frac{\Gamma\left(1+\frac{1}{m}\right)}{\lambda};$$

$$DT_0 = \frac{1}{\lambda^2}\left(\Gamma\left(1+\frac{2}{m}\right) - \Gamma^2\left(1+\frac{1}{m}\right)\right).$$

При m = 1 гамма-розподіл зводиться до експоненціального розподілу, при m = 2 – до розподілу Релея і може використовуватися для апроксимації розподілів на ділянках напрацювання (m<1), нормальної експлуатації (m = 1) і старіння (m >1).

Приклад на використання розподілу Вейбулла

Схема розглядається як сукупність великого числа елементів, у кожному з яких спостерігається гамма-розподіл напрацювання до відмови. При переході від елемента до елемента мають місце коливання в невеликих межах параметра форми, тоді розподіл потоку відмов пристрою, створеного з цих елементів, розглядається як один структурний елемент, матиме розподіл, близький до розподілу Вейбулла.

5 Рівномірний розподіл

При моделюванні випадкових величин особливе місце має безперервний розподіл, що називається **рівномірним**. При рівномірному розподілі область допустимих значень випадкової величини знаходиться в інтервалі [a, b].

$$F(t) = \frac{(t-a)}{(b-a)};$$

$$f(t) = \begin{cases} \dfrac{1}{b-a}, & a \le t \le b; \\ 0, \quad t < a, & t > b; \end{cases}$$

$$T_{сер} = \frac{a+b}{2};$$

$$DT_0 = \frac{(b-a)^2}{12}.$$

Функція розподілу дорівнює 0 при t < a, і 1 при t > a. Лінійне зростання імовірності відмови може використовуватися для апроксимації реальних розподілів або наближеної оцінки розподілів на основі центральної граничної теореми.

Більшість способів моделювання випадкових величин засновано на використанні псевдовипадкових рівномірно розподілених в інтервалі (0,1) послідовностей чисел. При цьому в основу покладена відома в математичній статистиці теорема: якщо випадкова величина T має щільність розподілу f (t), то розподіл випадкової величини Y = F(t) є рівномірним в інтервалі (0, 1).

Таким чином, задаючи функцію розподілу F (t), можна вибирати випадкове значення Y з рівномірного розподілу в інтервалі (0,1) і визначати значення аргументу, для якого F(t) = Y. Отримана таким чином випадкова величина T буде мати задану функцію розподілу F(t).

Моделювання дискретних випадкових величин з відомим розподілом ймовірностей у загальному випадку здійснюється в такий спосіб. Припустимо, що задані чисельні значення ймовірностей p1, p2, ..., pn для незалежних подій A1, A2, ..., An, що складають повну групу. Відповідно до цього інтервал (0,1) розбивається на n відрізків так, щоб довжина і–го відрізка дорівнювала ймовірності pі. Здійснюючи вибірку випадкових чисел ξі з рівномірного розподілу в інтервалі (0,1), будемо визначати, на який відрізок потрапляє число ξ_i. Потрапляння числа на і-й відрізок фіксується як факт звершення події A1.

Інший спосіб моделювання дискретних величин полягає у формуванні інтервалів між моментами настання сусідніх подій. При цьому завдання зводиться до вже описаного вище випадку моделювання неперервної випадкової величини.

6 Нормальний розподіл

Нормальним розподілом описується сукупність об'єктів, в якій крайні значення деякої ознаки — найменше і найбільше — з'являються рідко; чим ближче значення ознаки до математичного очікування, тим частіше воно зустрічається. Наприклад, розподіл студентів за їх вагою наближається до нормального розподілу. Цей розподіл має дуже широке коло додатків у статистиці, включаючи перевірку гіпотез.

Діаграма нормального розподілу симетрична щодо точки $T_{ср}$ (математичного очікування). Медіана нормального розподілу дорівнює теж $T_{ср}$. При цьому в а функція f(t) досягає свого максимуму, який дорівнює $\frac{1}{\sigma \cdot \sqrt{2\pi}}$.

7 Усічений нормальний розподіл

На відміну від нормального розподілу, який визначений на всій осі, зокрема при негативних значеннях варіанта, усічений нормальний розподіл визначається на позитивній півосі і може використовуватися для опису розподілу напрацювання до відмови.

$$F(t) = \frac{\Phi\left(\dfrac{t-C}{\sigma}\right)}{A};$$

$$f(t) = \frac{1}{A\sigma \cdot \sqrt{2\pi}} \cdot \exp\left(-\frac{(t-C)^2}{2\sigma^2}\right);$$

$$A = 0.5 + \Phi\left(\frac{t-C}{\sigma}\right);$$

$$\Phi(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^t e^{-\frac{y^2}{2}} dy;$$

$$T_{cp} = \frac{C + \sigma \cdot \exp(-\dfrac{C^2}{2\sigma^2})}{A \cdot \sqrt{2\pi}},$$

де Φ(t) – інтеграл Лапласа.

Функція усіченого нормального розподілу може використовуватися для апроксимації реальних розподілів на ділянці старіння. При 3c>σ воно стає дуже близьким до нормального розподілу (А = 1), оскільки А ~1.

Механізм виникнення нормального розподілу в технічних виробах, як і механізм виникнення розподілу гамми пояснюється за допомогою моделі пошкоджень, що накопичуються.

Визначення правильного закону розподілу часу між відмовами суттєво впливає не точність оцінки основних показників надійності засобів телекомунікацій. Формули для визначення основних показників при різних законах розподілу часу між відмовами засобів телекомунікацій наведені в таблиці 1.

В таблиці 1 прийняті позначення:

a і **b** – параметри розподілу, параметр форми і параметр масштабу відповідно;

m – математичне очікування середнього напрацювання до/на відмови;

σ - середньоквадратичне відхилення. Ці параметри визначаються за результатами випробувань;

1) $\Phi_0(t) = \left(\frac{1}{\sqrt{2\pi}}\right) \cdot \int_0^t e^{-\frac{x^2}{2}}\ dx$ - функція Лапласа; (1)

2) $\Gamma(\propto) = \int_0^{\infty} x^{\propto - 1} \cdot e^{-x} dx$ – гамма-функція; (2)

3) $I(\alpha; t) = \frac{1}{\Gamma(\alpha)} \cdot \int_0^t x^{\alpha - 1} \cdot e^{-x} dx$ - неповна гамма-функція. (3)

Розв'яжемо задачу на використання різних законів розподілу часу між відмовами.

Задача

Нерезервована система складається з 5 елементів, що мають різні закони розподілу часу функціонування до відмови. Види законів розподілу та їх параметри наведені в таблиці 2.

Таблиця 2 – Закони розподілу часу до відмови

Номер елемента	1	2	3	4	5
Закон розподілу часу до відмови	W(2;1500)	Г(5;300)	$R(7\cdot10^{-8})$	Exp(0,003)	TN(1800;900)

В таблиці 2 і в подальшому прийняті такі позначення законів розподілу:

W – Вейбулла;
Г – гамма;
R – Релея;
Exp – експоненціальний;

TN – усічений нормальний;
N – нормальний.

В дужках вказані параметри розподілів.

Визначити показники надійності кожного з елементів системи та всієї системи в цілому: імовірність безвідмовної роботи; середній час безвідмовної роботи; інтенсивність відмови; щільність розподілу часу безвідмовної роботи. Для показників, значення яких залежить від часу, отримати розв'язок у вигляді таблиць і графіків.

Розв'язання

Згідно з даними, наведеними в таблиці 2, обчислюємо початкові моменти розподілів: математичні очікування і середні квадратичні відхилення. Для цього використовуємо формули зв'язку моментів з параметрами розподілів, що наведені в таблиці 1.

Найпростішим способом обчислення значень цих функцій є звернення до системи Microsoft Excel. Електронні таблиці – дуже поширена технологія для професійної роботи з даними. В чарунках таблиці можуть бути записані дані різноманітних типів: текст, дати, числа, формули, функції та ін. Головна перевага електронної таблиці – можливість миттєвого автоматичного перерахування всіх даних, зв'язаних формульними залежностями, при зміненні значення будь-якого з компонентів таблиці. Програма Excel дозволяє розв'язувати задачі аналізу та синтезу надійності телекомунікаційних систем, а саме:

- виконувати табличні обчислення (в тому числі як звичайний калькулятор);
- обчислювати значення і досліджувати функції, будувати графіки функцій;
- розв'язувати рівняння, системи рівнянь, працювати з

матрицями, комплексними числами та ін.;

- здійснювати математичне моделювання, виконувати чисельні експерименти;
- проводити статистичний аналіз даних і наочно їх зображувати у вигляді графіків і діаграм;
- виконувати оптимізацію, здійснювати прогнозування і підтримку прийняття рішень;
- виконувати обмін даними з іншими програмами, вставляти текст, рисунки, таблиці, підготовлені в інших додатках;
- використовувати більше 400 вбудованих функцій: математичних, статистичних, фінансових, логічних, інженерних, інформаційних, функцій дати і часу, функцій управління базами даних і списками;
- реалізовувати інструментальну підтримку технологій мережі Internet, користуватися засобами створення HTML-документів і виконувати їх публікації в локальних і глобальних мережах.

Оцінка надійності телекомунікаційних систем при неекспоненціальних законах розподілу часто потребує використання табличних функцій, таких як функція Лапласа, гамма-функція і неповна гамма-функція. В Excel існують такі стандартні функції розподілу ймовірностей з позначеннями:

БИНОМРАСП – біноміальний розподіл;
ВЕЙБУЛЛ – розподіл Вейбулла;
ГАММАРАСП – гамма-розподіл;
ЛОГНОРМРАСП – логарифмічно-нормальний розподіл;
НОРМРАСП – нормальний розподіл;
ПУАССОН – розподіл Пуассона;
ЭКСПРАСП – експоненціальний розподіл.

В Excel функцію Лапласа можливо знайти за формулою (1) за такою технологією:

В чарунку В1 заноситься аргумент (значення t), а в чарунку В2 – функція:

$$B2 = НОРМРАСП(B1; 0; 1; 1) – 0,5.$$

Результатом є значення функції Лапласа. На рисунку 1 показано, яким чином здійснюється обчислення функції Лапласа.

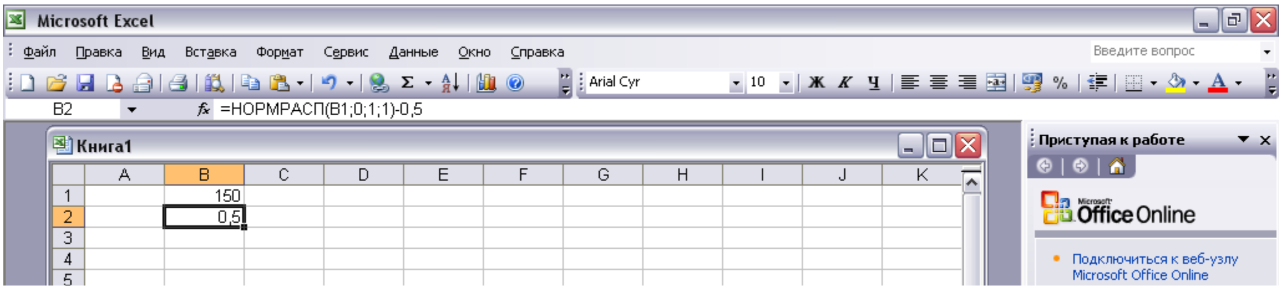

Рисунок 1

Гамма-функція обчислюється за формулою (2). В чарунку A1 заноситься аргумент (значення α), а в чарунку A2 – функція:

$$A2 = EXP(ГАММАНЛОГ(A1)).$$

На рисунку 2 показано, яким чином здійснюється обчислення гамма-функції.

Результатом є гамма-функція. Неповна гамма-функція обчислюється за формулою (3). В чарунку A1 заноситься перший аргумент (значення α), в чарунку A2 - другий аргумент (значення t), в чарунку A3 – функція:

$$A3 = ГАММАРАСП(A2; A1; 1; 1).$$

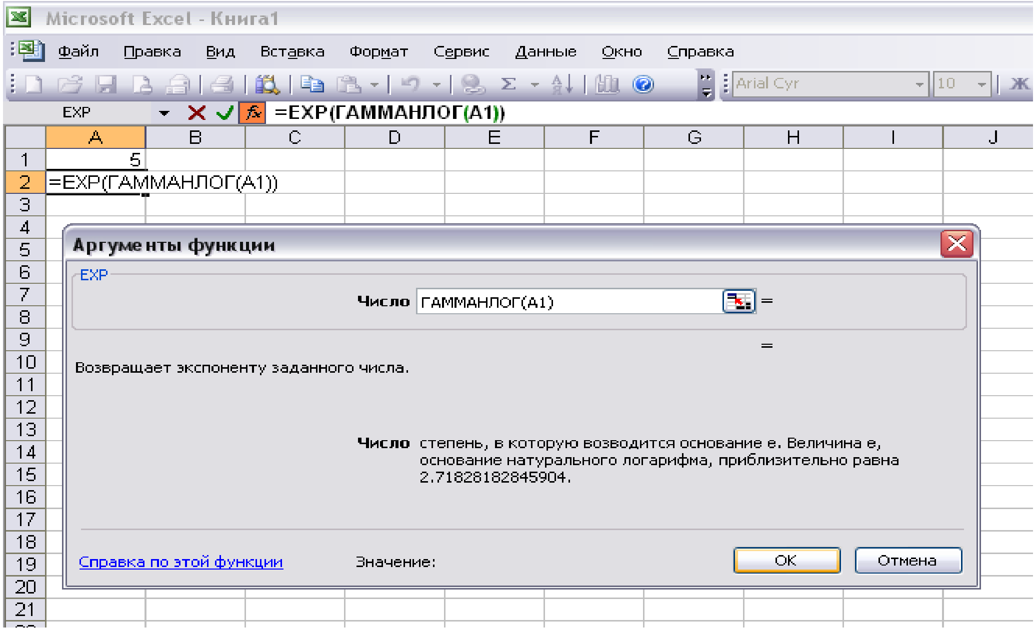

Рисунок 2

Результатом є значення неповної гамма-функції. На рисунку 3 показано, яким чином здійснюється обчислення неповної гамма-функції.

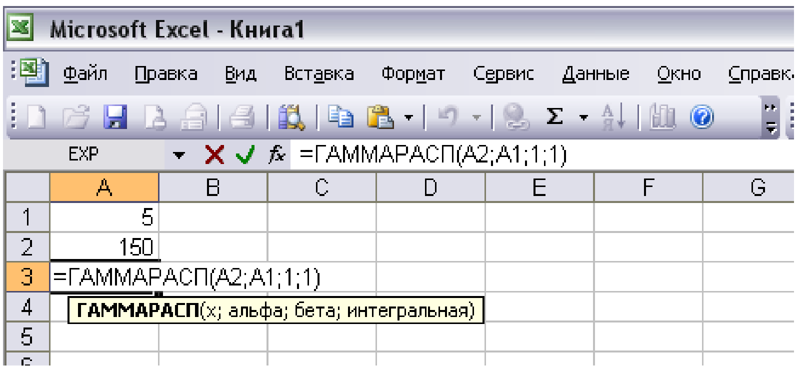

Рисунок 3

Визначимо математичне очікування ($m = T_{cp}$) та середньоквадратичне відхилення часу до відмови елементів (σ).

1 Елемент 1. Розподіл Вейбулла з параметром форми $\alpha = 2$ і параметром масштабу $\beta = 1500$:

$$m = 1500 \cdot \Gamma(1{,}5) = 1329{,}17 \text{ год};$$

$$\sigma = 1500 \cdot \sqrt{\Gamma(2) - \Gamma^2(1{,}5)} = 695 \quad \textit{год.}$$

2 Елемент 2. Гамма-розподіл з параметром форми $\alpha = 5$ і параметром масштабу $\beta = 300$:

$$m = 5 \cdot 300 = 1500 \text{ год};$$

$$\sigma = \sqrt{5} \cdot 300 = 670{,}87 \quad \textit{ãîä.}$$

3 Елемент 3. Розподіл Релея з параметром $\lambda = 7 \cdot 10^{-8}$ 1/год:

$$m = \sqrt{\frac{\pi}{4 \cdot 7 \cdot 10^{-8}}} = 3348{,}774 \quad \textit{год.}$$

$$\sigma = \sqrt{\tfrac{4-\pi}{4 \cdot 7 \cdot 10^{-8}}} = 1750{,}92 \quad \textit{год.}$$

4 Елемент 4. Експоненціальний розподіл з параметром $\lambda = 3 \cdot 10^{-3}$ 1/год:

$$m = \frac{1}{3 \cdot 10^{-3}} = 333{,}33 \quad \textit{год.}$$

$$\sigma = m = 333{,}33 \quad \textit{год.}$$

5 Елемент 5. Усічений нормальний розподіл з параметром форми $m_0 = 1800$ і параметром масштабу $\sigma_0 = 900$:

$$k = \tfrac{1}{\sqrt{2\pi}} \cdot \frac{1}{\left(0.5 + \Phi_0(\frac{m_0}{\sigma_0})\right)} \cdot e^{-\frac{m_0}{2 \cdot \sigma_0{}^2}};$$

$$k = \frac{1}{\sqrt{2 \cdot 3.14}} \cdot \frac{1}{\left(0.5 + \Phi_0 (\frac{1800}{900})\right)} \cdot e^{-\frac{1800^2}{2 \cdot 900^2}} = 0.266 \quad ;$$

$$m = 1800 + 0.266 \cdot 900 = 2039.4 \text{ год};$$

$$\sigma = 900 \sqrt{1 + 0.266 \cdot \frac{1800}{900} - 0.266^2} = 931 \text{ год}.$$

Визначимо імовірність безвідмовної роботи елементів.

1 Елемент 1. Розподіл Вейбулла.

$$P(t) = e^{-(\frac{t}{\beta})^{\alpha}} = e^{-\left(\frac{t}{1500}\right)^2}.$$

2 Елемент 2. Гамма-розподіл.

$$P(t) = \int_t^{\infty} \frac{x^{\alpha-1}}{\beta^{\alpha} \cdot \Gamma(\alpha)} \cdot e^{-\frac{x}{\beta}} dx = 1 - I(5, \frac{t}{300}).$$

3 Елемент 3. Розподіл Релея.

$$P(t) = e^{-\lambda \cdot t^2} = e^{-7 \cdot 10^{-8} \cdot t^2}.$$

4 Елемент 4. Експоненціальний розподіл.

$$P(t) = e^{-\lambda \cdot t} = e^{-3 \cdot 10^{-3} \cdot t}.$$

5 Елемент 5. Усічений нормальний розподіл.

$$P(t) = \frac{C}{\sigma_0 \cdot \sqrt{2\pi}} \cdot \int_t^{\infty} e^{-(\frac{(t-m_0)^2}{2\sigma_0^2})} dx = \frac{0.5 - \Phi_0 (\frac{t-m_0}{\sigma_0})}{0.5 + \Phi_0 \left(\left(\frac{m_0}{\sigma_0}\right)\right)} = \frac{0.5 - \Phi_0 (\frac{t-1800}{900})}{0.5 + \Phi_0 (\frac{1800}{900})}.$$

Подальші розрахунки функцій виконуються для інтервалу часу t від 0 до 1500 годин з кроком 150 годин.

Отримавши значення матриці-векторf значень ІБР для визначеного інтервалу часу? будуємо графічні залежності від часу P(t).

Визначимо значення щільностей розподілів часу безвідмовної роботи елементів.

1 Елемент 1. Розподіл Вейбулла.

$$f(t)=\alpha\cdot t^{\alpha-1}\cdot\frac{e^{-(\frac{t}{\beta})^{\alpha}}}{\beta^{\alpha}}=\frac{2t}{1500^2}e^{-\left(\frac{t}{1500}\right)^2}.$$

2 Елемент 2. Гамма-розподіл.

$$f(t)=\frac{t^{\alpha-1}}{\beta^{\alpha}\cdot\Gamma(\alpha)}e^{-\frac{t}{\beta}}=\frac{t^4}{300^5\cdot\Gamma(5)}\cdot e^{-\frac{t}{300}}.$$

3 Елемент 3. Розподіл Релея.

$$f(t)=2\cdot\lambda\cdot t\cdot e^{-\lambda\cdot t^2}=2\cdot 7\cdot 10^{-8}\cdot t\cdot e^{-7\cdot 10^{-8}\cdot t^2}.$$

4 Елемент 4. Експоненціальний розподіл.

$$f(t)=\lambda\cdot e^{-\lambda\cdot t}=3\cdot 10^{-3}\cdot e^{-3\cdot 10^{-3}\cdot t}.$$

5 Елемент 5. Усічений нормальний розподіл.

$$f(t)=\frac{C}{\sigma_0\cdot\sqrt{2\pi}}\cdot e^{-(\frac{(t-m_0)^2}{2\sigma_0{}^2})}=\frac{1}{900\cdot\sqrt{2\pi}\cdot(0.5+\Phi_0\left(\left(\frac{1800}{\sigma_0}\right)\right))}\cdot e^{-\frac{(t-1800)^2}{2\cdot 900^2}}.$$

Подальші розрахунки функцій виконуються для інтервалу часу t від 0 до 1500 годин з кроком 150 годин.

Отримавши значення матриці-векторf значень щільностей розподілів часу безвідмовної роботи елементів для визначеного інтервалу часу будуємо графічні залежності від часу f(t).

Рівномірний і нормальний розподіли мають обмеження на параметри для того, щоб їх можна було використовувати для розв’язання задач надійності в додатній часовій області (t≥0). В

Excel для обчислення значень нормального розподілу використовується функція **НОРМРАСП**, яка обчислює значення ***нормальної функції*** розподілу для вказаного середнього і стандартного відхилення.

Функція має параметри:

НОРМРАСП (*x; среднее; стандартное_откл; интегральная*), де:

x — значення вибірки, для яких будується розподіл;
среднее — середнє арифметичне вибірки;
стандартное_откл — стандартне відхилення розподілу;
интегральная — логічне значення, що визначає форму функції. Якщо інтегральна має значення **ИСТИНА** (1), то функція **НОРМРАСП** повертає інтегральну функцію розподілу; якщо це аргумент має значення **ЛОЖЬ** (0), то обчислює значення функція щільності розподілу.

Якщо ***среднее*** = 0 і ***стандартное_откл*** = 1, то функція **НОРМРАСП** повертає стандартний нормальний розподіл.

Приклад. Побудувати графік нормальної функції розподілу f(x) при x, змінному від 19,8 до 28,8 з кроком 0,5 a = 24,3 і σ = 1,5.

Розв'язання

1 В чарунку **A1** вводимо символ випадкової величини **x**, а в чарунку **B1** — символ функції щільності нормальної — **f(x).**

2 Вводимо в діапазон **A2:A21** значення x від 19,8 до 28,8 з кроком 0,5. Для цього **скористаємося *маркером автозаповнення*: в** чарунку **A2** вводимо ліву межу діапазону

(19,8), в чарунку **А3** ліву межу плюс крок (20,3). Виділяємо блок **А2:А3**. Потім за правий нижній кут протягуємо мишею до чарунки **А21** (при натиснутій лівій кнопці миші).

3 Встановлюємо табличний курсор в чарунку **В2**, і для отримання значення нормальної скористаємося спеціальною функцією — натискаємо на панелі інструментів кнопку **Вставка функции (fx).** У діалоговому вікні, що з'явилося, Майстер функцій - крок 1 з 2 зліва в полі **Категория** вказані види функцій. Вибираємо **Статистическая**. Справа в полі **Функция** вибираємо функцію **НОРМРАСП**. Натискаємо на кнопку **ОК**.

4 З'являється діалогове вікно **НОРМРАСП**. У робоче поле **Х** вводимо адресу чарунки **А2 натисненням** миші на цій чарунці. У робоче поле **Среднее** вводимо з клавіатури значення математичного очікування (24,3). У робоче поле **Стандартное_откл** вводимо з клавіатури значення середньоквадратичного відхилення (1,5). У робоче поле **Интегральная** вводимо з клавіатури вид функції розподілу (0). Натискаємо на кнопку **ОК**.

5 В чарунці **В2** з'являється імовірність р = 0,002955. Покажчиком миші за правий нижній кут табличного курсора протяганням (при натиснутій лівій кнопці миші) з чарунки **В2** до **В21** копіюємо функцію **НОРМРАСП** у діапазон **В3:В21**.

6 За одержаними даними будуємо шукану діаграму нормальної функції розподілу. Натисненням покажчика миші на кнопці на панелі інструментів викликаємо **Мастер диаграмм**. У діалоговому вікні, що з'явилося, вибираємо тип діаграми **График**, вигляд — **Левый верхний**. Після натиснення кнопки **Далее** указуємо діапазон даних — **В1:В21** (за допомогою миші). Перевіряємо положення перемикача **Ряди в: столбцах.**

Вибираємо закладку **Ряд** і за допомогою миші вводимо діапазон підписів осі **Х: А2:А21**. Натиснувши на кнопку **Далее**, вводимо назви осей Х і У і натискаємо на кнопку **Готово**.

Біноміальний розподіл

Являє собою розподіл імовірностей числа настання деякої події («удачі») в n повторних незалежних випробуваннях, якщо при кожному випробуванні ймовірність настання цієї події дорівнює p. При цьому розподілі розкид варіантів (є чи ні події) є наслідком впливу ряду незалежних і випадкових факторів.

В Excel функція **БИНОМРАСП** застосовується для обчислення ймовірності в задачах з фіксованим числом тестів або випробувань, коли результатом будь-якого випробування може бути лише успіх або невдача.

Функція використовує такі параметри:

БИНОМРАСП (***число_успехов; число_испытаний; вероятность_успеха; интегральная***),

де:

число_успехов - це кількість успішних випробувань;

число_испытаний - це кількість незалежних випробувань (число успіхів і число випробувань мають бути цілими числами);

вероятность_успеха - це ймовірність успіху кожного випробування;

интегральная - це логічне значення, що визначає форму функції.

Якщо цей параметр має значення **ИСТИНА** (= 1), то вважається інтегральною функцію розподілу (імовірність того, що кількість успішних випробувань не менше значення ***число_ успехов***); якщо цей параметр має значення **ЛОЖЬ** (= 0), то обчислюється значення функції щільності розподілу (імовірність того, що кількість успішних випробувань у точності дорівнює значенню аргументу ***число_ успехов***).

Далі для вихідних даних (таблиця 3) згідно з варіантом за списком у журналі викладача студенти виконують обчислення основних показників надійності для обраного закону розподілу і будують графічні залежності P(t) і f(t). Отримані графіки та значення показників заносяться у звіт з лабораторної роботи.

Таблиця 3 - Вихідні дані для розрахунків

Варіант				
1	2	3	4	5
TN(350,100)	Г(10,70)	W(6,175)	R($3\cdot10^{-6}$)	TN(400,90)
6	7	8	9	10
Г(5,50)	R($5\cdot10^{-7}$)	W(7,200)	TN(345,86)	Г(7,85)
11	12	13	14	15
TN(450,90)	Г(6,82)	R($8\cdot10^{-4}$)	W(5,270)	R($5\cdot10^{-7}$)
16	17	18	19	20
W(4,300)	R($5\cdot10^{-6}$)	Г(2,75)	TN(375,80)	Г(8,77)
21	22	23	24	25
TN(410,96)	Г(3,95)	W(6,400)	TN(380,90)	R($9\cdot10^{-3}$)
26	27	28	29	30
Г(8,75)	W(9,600)	TN(300,68)	Г(3,45)	TN(800,120)
31	32	33	34	35
Г(5,90)	R($4\cdot10^{-5}$)	W(7,500)	TN(500,150)	W(2,100)

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1 ДСТУ 3433-96. Надійність техніки. Моделі відмов. Основні положення. -К.: Державний стандарт України, 1996. – 41 с.

2 Шор Я.Б. Статистические методы анализа и контроля качества и надежности. – М.: Советское радио, 1962. – 363 с.

3 Половко А.М., Гуров С.В. Основы теории надежности. – С.Пб.: БХВ-Петербург, 2006. – 704 с.

4 Локазюк В.М., Савченко Ю.Г. Надійність, контроль, діагностика і модернізація ПК: Посібник. – К.: Академія, 2004. – 376 с.

5 Леснікова І.Ю., Халіпова Н.В., Терещенко М.В., Харченко Є.М., Єршова Н.М. Дослідження операцій у середовищі електронних таблиць Excel: Навч. посіб. – К.: Центр учбової літератури, 2007. – 186 с.

6 Радке Х.-Д. Практическое использование Microsoft Excel для обобщения статистических данных и их презентации. – М.: НТ Пресс, 2008. – 272 с.

7 Колесников А. Excel 2000 (русифицированная версия). – К.: Издательская группа BHV, 1999. - 496 с.

ДОДАТОК

Довідкова інформація щодо технології роботи в середовищі Microsoft Excel

Проведення імітаційних експериментів у середовищі Microsoft EXCEL можна здійснити шляхом використання інструменту "Генератор випадкових чисел" доповнення "Аналіз даних" (Analysis ToolPack). Якщо доповнення не встановлено, встановити його можна через меню "Сервіс". Вибрати пункт "Надбудови" і поставити галочку напроти цього доповнення.

У режимі роботи "Генерація випадкових чисел" формується масив випадкових чисел. Залежно від вибраного теоретичного розподілу змінюються параметри діалогового вікна Генерація випадкових чисел. Загальними параметрами для всіх підрежимів (розподілів) є:

1) число змінних - вводиться число стовпців значень, які необхідно розмістити у вихідному діапазоні, якщо число не введено, то всі стовпці будуть заповненні;
2) число випадкових чисел - вводиться число випадкових значень, що необхідно вивести, якщо число не введено, то всі рядки будуть заповнені;
3) розподіл - у спадному списку вибирається тип розподілу;
4) випадкове розсіювання - вводиться стартове число для генерації визначеної послідовності випадкових чисел;
5) вихідний інтервал.

Будувати графіки диференціальних та інтегральних функцій розподілу зручно за допомогою Майстра діаграм. Для цього необхідно заздалегідь сформувати інтегральні і диференціальні масиви значень, для чого використовувати функцію, що відповідає обраному розподілу, використовуючи як її аргументи згенеровану послідовність випадкових чисел.