МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ТЕРНОПІЛЬСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ ІВАНА ПУЛЮЯ
Кафедра комп'ютерних систем та мереж

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до виконання лабораторних робіт
з курсу
„Надійність, контроль, діагностика та експлуатація ЕОМ"
для студентів денної форми навчання
за спеціальністю
123 „Комп'ютерна інженерія"

Тернопіль, 2019

Методичні вказівки розроблені у відповідності з навчальним планом спеціальності 123 „Комп’ютерна інженерія ”

Укладачі: к.т.н., доц. Тиш Є.В.,

ст. вкл. Жаровський Р.О.

Рецензент:

Відповідальний за випуск:

в.о.зав. каф. КС, к.т.н, доц. Осухівська Г.М.

Затверджено на засіданні кафедри комп’ютерних систем та мереж, протокол №____ від «___» ____________2019р.

Схвалено та рекомендовано до друку методичною комісією факультету комп’ютерно-інформаційних систем і програмної інженерії Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя, протокол №____ від «___» _________2019 р.

Посібник складений з врахуванням методичних розробок інших вищих закладів освіти, а також матеріалів літературних джерел, перелічених в списку.

ЗМІСТ

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №1

ВИЗНАЧЕННЯ ПОКАЗНИКІВ НАДІЙНОСТІ ЕЛЕМЕНТІВ ЗА ДОСЛІДНИМИ ДАНИМИ

Мета роботи: дослідження показників надійності відновлювальних та невідновлювальних елементів нерезервованих систем.

1.1 Постановка задачі

Дано:

- N - кількість елементів, що знаходяться на випробуванні;
- t_i - час справної роботи *i-го* елемента, i=1,2, ..., n;
- n - кількість елементів, що відмовили за час випробування t.

Визначити показники надійності елемента:

- $\lambda(t)$ - інтенсивність відмов, як функція часу;
- $f(t)$ - густина розподілу часу справної роботи елемента;
- $\omega(t)$ - параметр потоку відмов, як функція часу.

Приведені показники надійності необхідно визначити при таких двох видах випробувань:

1. З відкиданням елементів, що відмовили.
2. З заміною новими елементами або їх ремонтом.

У першому випадку, кількість елементів в процесі випробування зменшується, в другому випадку - залишається постійною.

Варіанти завдань приведено в розділі 1.5.

1.2 Теоретичні відомості

В теорії надійності елементом називають вузол або блок, що має показник надійності і входить до складу системи. Елементи бувають двох видів: невідновлювальні (резистор, конденсатор, підшипник і т.д.) та відновлювальні або ремонтопридатні (генератор струму, колесо автомобіля, ЕОМ і т.д.). Тому, показниками надійності невідновлювальних елементів є лише такі показники, які характеризують надійність техніки до її першої відмови. Показниками надійності відновлювальних елементів є показники, які характеризують надійність техніки не лише до першої відмови, але і між відмовами.

Показники надійності невідновлювальних елементів:

$P(t)$ - імовірність безвідмовної роботи елемента протягом часу t;

T_l - середній час безвідмовної роботи (напрацювання до відмови);

$f(t)$ - густина розподілу часу до відмови;

$\lambda(t)$ - інтенсивність відмови в момент t.

Між даними показниками існують такі залежності:

$$f(t) = -P'(t),\ P(t) = \int_t^{\infty} f(t)dt, \tag{1.1}$$

$$P(t) = e^{-\int_0^t \lambda(t)dt}, \tag{1.2}$$

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{P(t)}, \tag{1.3}$$

$$T_l = \int_0^\infty P(t)dt\,. \tag{1.4}$$

Інтенсивність відмови різноманітних елементів, особливо елементів електроніки, є постійною величиною *λ(t)=λ.* В такому випадку залежності між показниками надійності мають вигляд:

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

$$T_l = \frac{1}{\lambda},$$

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

$$\lambda(t) = \lambda = const\,.$$

Показниками надійності відновлювальних елементів є:

- *ω(t)* - параметр потоку відмов в момент часу t;
- *T*- середній час роботи між відмовами (напрацювання на відмову).

Показниками надійності відновлювальних елементів можуть бути також показники надійності невідновлювальних елементів. Такий випадок має місце, коли система, до складу якої входить елемент, є неремонтованою за умовами її роботи (безлюдний космічний апарат, апаратура, що працює в агресивних середовищах, літак в процесі перельоту, відсутність запасних частин для ремонту і т.д.). Між показниками надійності невідновлювальних та відновлювальних елементів мають місце такі залежності:

$$\omega(t) = f(t) + \int_0^t \omega(\tau) f(t-\tau) d\tau, \tag{1.5}$$

$$\lim_{t\to\infty} \omega(t) = \frac{1}{T_l}\,. \tag{1.6}$$

Відповідно до виразів показників надійності невідновлювальних і відновлювальних елементів можна зробити такий важливий висновок: основним показником надійності елементів складних систем є інтенсивність відмов *X(t).* Такий висновок пояснюється такими обставинами:

- надійність багатьох елементів можна оцінити одним числом, тому що їх інтенсивність відмов - постійна величина;
- за відомою інтенсивністю відмов *λ(t)* найпростіше оцінити решту показників надійності елементів і складних систем;
- *λ(t)* володіє хорошою наглядністю;
- інтенсивність відмов нескладно отримати експериментально.

Також, потрібно пам’ятати, що густина розподілу найбільш повно характеризує випадкове явище - час до відмови. Решта показників, в тому числі й *λ(t),* лише в поєднані дозволяють досить повно оцінити надійність складної системи.

Основним способом визначення показників надійності елементів складних систем є обробка статистичних даних про їх відмови в процесі експлуатації системи або підчас випробувань в лабораторних умовах. При цьому можливі два випадки:

– елементи, що відмовили в процесі випробування або експлуатації системи новими не замінюються (випробування без відновлення);
– елементи, що відмовили замінюються новими того ж типу (випробування з відновленням).

В процесі експлуатації системи або при випробуваннях в лабораторних умовах фіксується дата виникнення відмови. Використовуючи дату виникнення відмови, шляхом статистичної обробки, визначаються показники надійності елементів.

Відповідно до визначення показників надійності невідновлювального елемента, всі такі показники можуть бути обраховані, якщо відомий закон розподілу часу роботи елемента до відмови у вигляді густини *f(t).* Якщо елемент може бути відремонтований, тоді всі показники надійності визначаються через закон розподілу часу безвідмовної роботи *f(t).* Тому важливою обставиною є вміння знайти *f(t)* за допомогою проведення та обробки результатів експерименту.

Припустимо, що в результаті проведення випробувань над N елементами протягом часу T отримані певні статистичні дані про розподіл кількості елементів, що відмовили. Можливі три принципово різні способи реєстрації відмов елементів.

Перший спосіб реєстрації

Елементи, що проходять випробування, є невідновлювальними. У випадку виникнення відмови певного елементу фіксується момент часу його відмови. За результатами випробувань статистичною інформацією є послідовність $t_1, t_2, ..., t_,.. t_N$ моментів часу відмов елементів (рис. 1.1).

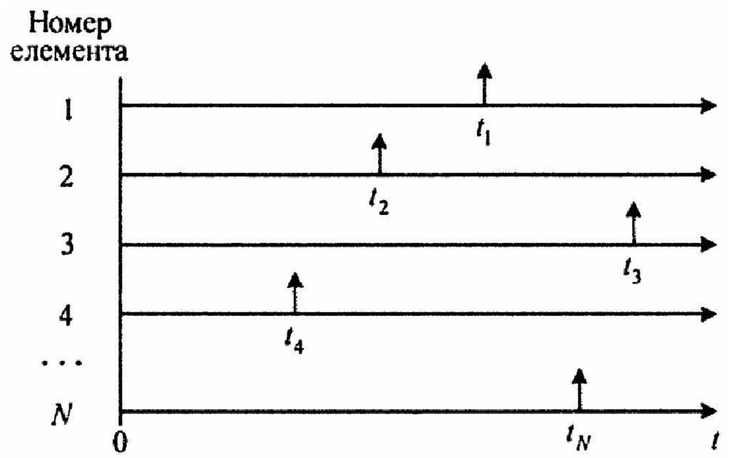


Рисунок 1.1 - Часова діаграма моментів відмов невідновлювальних елементів Другий спосіб реєстрації

Елементи, що проходять випробування, є відновлювальними. Після відмови довільного елемента він замінюється новим. В результаті випробувань вихідною статистичною інформацією є послідовність моментів часу відмов *i-го* елемента $t_{i,j}$ (j=1, 2, ...,n_i, i=1, 2, ..., N) протягом періоду спостережень T (рис. 1.2). Реалізаціями напрацювання елемента в даному випадку служать різниці $\tau_{i,j} = t_{i,j} - t_{i,j-1}$ (вважається, що $t_{i,0}$ =0).

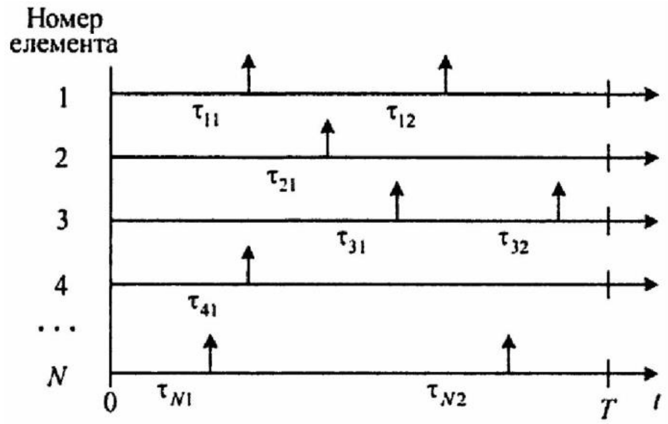


Рисунок 1.2 - Часова діаграма моментів відмов відновлювальних елементів з відомими номерами

Другий спосіб реєстрації відмов.

Зводиться до першого, якщо фіксувати номера елементів, що відмовили. В якості статистичних даних використовується сукупність різниць $\tau_{i,j}$, що представляють собою тривалості роботи елементів до першої відмови.

Третій спосіб реєстрації

Елементи, що проходять випробування, є відновлювальними. Після відмови якогось елемента він заміняється новим, однак номер елемента, що відмовив - невідомий. В результаті випробувань вихідною статистичною інформацією є послідовність $t_1, t_2, t_i, \ldots t_n$ моментів відмов елементів, де n - кількість елементів, що відмовили. Таким чином, на відміну від другого способу, тут реєструються моменти відмов елементів без зазначення їх номерів.

Розглянемо статистичні визначення показників надійності елемента. Відповідний статистичний аналог показника надійності будемо позначати аналогічним символом, що і раніше, але із знаком (ˆ) зверху.

Невідновлювальні елементи

Вихідними статистичними даними є час роботи елементів до першої відмови $t_j, t_2, ..., t_i, ..., t_N$. Тоді середній час роботи елемента до відмови дорівнює середньому арифметичному часу t_i.

Тобто,

$$\hat{T}_l = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} t_i \ .$$

Позначимо через $v(t)$ кількість елементів, для яких відмова виникла не пізніше моменту часу t. Тоді імовірність відмови елемента рівна:

$$\hat{Q}(t) = \frac{v(t)}{N},$$

а імовірність безвідмовної роботи:

$$\hat{P}(t) = 1 - \hat{Q}(t).$$

Нехай послідовність $t_{(1)}, t_{(2)}, \ldots, t_{(i)}, \ldots, t_{(N)}$ отримана впорядкуванням вихідної послідовності. Функція $\hat{Q}(t)$ представляє собою емпіричну функцію розподілу, і якщо всі $t_{(i)}$ різні, то:

$$\hat{Q}(t)=\begin{cases}0, & при \quad t<t_{(1)} \\ i/N, & при \quad t_{(i)}\le t<t_{(i+1)} \\ 1, & при \quad t\ge t_{(N)}\end{cases}.$$

Величина всіх скачків рівна $1/N$, а типовий графік функції $\hat{Q}(t)$ наведений на рис. 1.3.

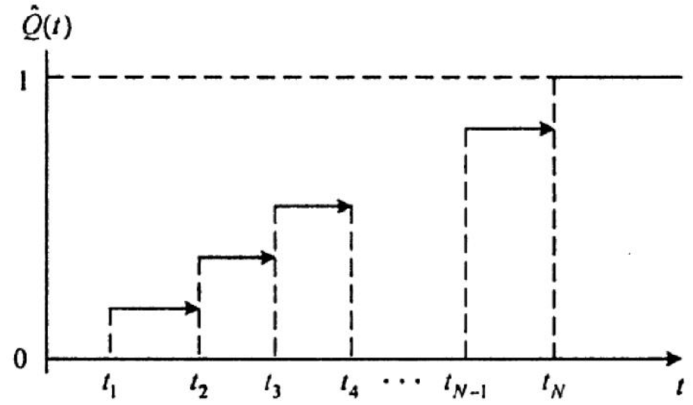


Рисунок 1.3 - Графік статистичної імовірності відмови елемента

Іншим наочним способом представлення статистичних даних є *гістограма.* Область значень $[t_{(1)};t_{(N)}]$ розбивається на рівні інтервали Δ_i, i=1, 2, …, k довжина $h=\dfrac{R}{k}$, де $R=t_{(N)}-t_{(1)}$, і називається розмахом вибірки.

Гістограма представляє собою суміжні один до одного прямокутники, основами яких є вказані інтервали, а висоти рівні густинам відносних частот $\dfrac{N_i}{Nh}$, де N_i - кількість значень вибірки, що потрапили в даний інтервал (рис. 1.4). Гістограма є статистичною густиною розподілу часу роботи до відмови. Для оцінки густини іноді використовується також *полігон* відносних частот, який представляє собою ламану лінію, побудовану по точках, абсцисами яких є середини інтервалів Δ_i, i=1, 2, …, k, а ординати відповідають густині $\dfrac{N_i}{N\cdot h}$ (рис. 1.4).

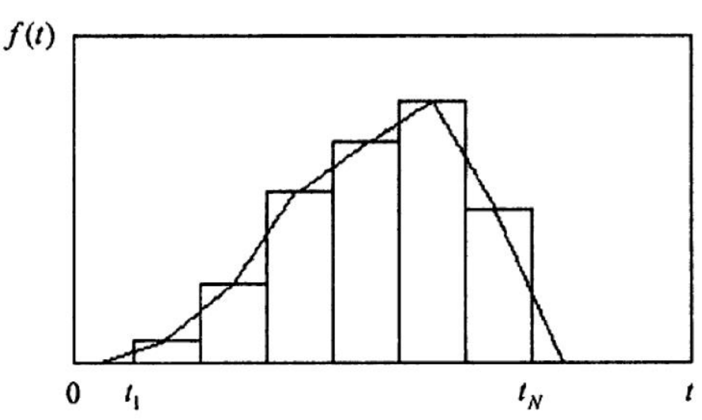


Рисунок 1.4 - Графік статистичної густини розподілу в вигляді гістограми і полігону частот

Інтенсивність відмови елемента розраховується, як відношення густини розподілу до імовірності безвідмовної роботи.

Відновлювальні елементи

Вихідними статистичним даними є моменти часу відмов елементів: $t_1, t_2, ..., t_i, ..., t_n$, де n - кількість, елементів, що відмовили, N - загальна кількість, елементів, що приймають учать у випробовуваннях. Інформація про відмови елементів може бути представлена в вигляді таблиці 1.1. Весь період випробування розбивається на інтервали часу визначеної довжини, і підраховується кількість елементів, що відмовили на кожному інтервалі.

Таблиця 1.1 - Таблиця відмови елементів

At	*Ati*	*At2*	…	*Atk*
An	An_l	*An2*	…	*Ank*

Табличні дані означають, що на інтервалі часу $\Delta t_i \cdot$ було зафіксовано Δn_i відмов елементів, i=1, 2, ..., k. Тоді має місце наступне статистичне визначення параметра потоку відмов елемента:

$$\hat{\omega}(t) = \frac{\Delta n_i}{N \cdot \Delta t_i}$$

для всіх t , приналежних і-му інтервалу часу:

$$\Delta t_1 + \ldots + \Delta t_{i-1} < t \le \Delta t_1 + \ldots + \Delta t_{i-1} + \Delta t_i \,.$$

Визначення густини розподілу $f(t)$ шляхом рішення інтегрального рівняння (1.5) пов’язано з деякими незручностями, які викликані стрипкоподібною зміною параметру потоку відмов. Один із можливих підходів до визначення функції $f(t)$ полягає в наступному. Будемо шукати функцію $f(t)$ у вигляді кусково-постійної функції:

$$f(t) = \begin{cases} f_k & якщо \quad a_{k-1} \le a_k, k = 1,2,\ldots,n; \\ 0 & якщо \quad t > a_n. \end{cases}$$

Тут $a_0 = 0$, $a_n = T$, f_k - шукані величини, які можна визначити з умови виконання умови (1.5) в середній за інтегралом метриці:

$$\int_0^T \left(\hat{\omega}(t) - f(t) - \int_0^t f(\tau)\hat{\omega}(t-\tau)dt \right)^2 dt \to \min,$$

при обмежені

$$\int_0^T f(t)dt = 1, \; f(t) \ge 0 \,.$$

Отримана задача нелінійної оптимізації може бути зведена до задачі лінійного програмування і розв’язана симплексним методом з деякими додатковими умовами, які представляють предмет спеціального дослідження.

1.3 Приклад виконання лабораторної роботи

1.3.1 Постановка задачі

Потрібно визначити показники надійності невідновлювального елемента і елемента з відновленням відповідно для двох варіантів вихідних даних.

Перший набір вихідних даних

На випробування направлено N=100 елементів. Моменти відмов елементів представлені в таблиці 1.2. Всі елементи працюють до власної відмови і після відмови не ремонтуються. Потрібно визначити статистичні і теоретичні показники надійності елемента: T_l, $P(t)$, $Q(t)$, $f(t)$, $\lambda(t)$.

Таблиця 1.2 - Моменти відмов елементів, в годинах

455	552	109	340	103	152	62	163	35	5
129	81	221	35	318	180	20	37	26	18
151	85	4	17	7	20	79	50	41	51
32	217	90	210	39	74	71	57	106	14
171	86	36	180	61	3	47	578	23	131
95	97	54	50	127	176	21	122	109	89
88	291	70	1	642	89	266	260	136	2
90	162	162	155	139	27	11	9	30	77
334	203	78	72	51	137	216	35	43	12
315	57	4	59	133	77	142	103	63	13

Другий набір вихідних даних

На випробувані знаходяться N=10 елементів. Під час періоду T=500 год. реєструються моменти часу відмов елементів (див. табл. 1.3). Вважається, що елементи, які відмовили, заміняються ідентичними за надійністю елементами. Потрібно визначити показник надійності елемента, що характеризує час його роботи між сусідніми відмовами: T, $f(t)$, $F(t)$, $\lambda(t)$.

Обробка статистичних даних передбачає їх групування в 10 часткових інтервалів (класів). Рівень значимості прийняти рівним 0,05.

Таблиця 1.3- Моменти часу відмов елементів

Номер елемента, *i*	Моменти відмови на періоді 500 годин, година
1	114; 209; 293; 405
2	136; 217; 308; 479
3	73; 184; 289; 378; 478
4	63; 162; 257; 365; 484
5	54; 169; 301; 378;462
б	114; 213; 343; 408
7	96; 162; 271; 374; 468
8	106; 198; 273; 385; 499
9	95; 229; 308.403
10	77; 179; 292; 387; 477

1.3.2 Послідовність виконання роботи з використанням програми StatGraphics

Статистичний графічний пакет StatGraphics (Statistical Graphics System) призначено для статистичного аналізу і обробки даних на персональному комп’ютері. Пакет є найбільш повною інтегрованою статистичною та графічною системою, що поєднує в собі професійні методи обробки великих об’ємів даних, якісну графіку і зручний користувацький інтерфейс. StatGraphics дозволяє виконувати статистичний аналіз експериментальних даних, отриманих в результаті дослідження складних стохастичиских (випадкових, імовірнісних) систем. Початкові відомості з роботи з системою версії 2.6 можна знайти в книжці: Тюрин Ю. Н., Макаров А. А. Анализ даннЬїх на компьютере.-М.:ИНФА-М, ФинансЬі и статистика, 1995.

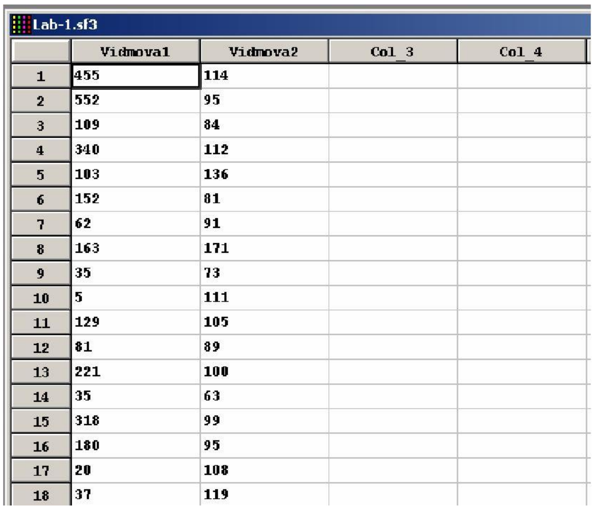
Для визначення показників надійності для двох варіантів вихідних даних необхідно виконати послідовність дій:

1. Підготовка вихідних даних до статистичного опрацювання для двох наборів одночасно. Для цього у вікні роботи з даними створимо дві змінні (2 стовбця) з іменем `vidmova1` і `vidmova2`. Для редагування імен змінних та формату даних потрібно виділити відповідний стовбець і натиснувши праву клавішу миші вибрати в діалоговому вікні Modify Column. В змінну (стовбець) `vidmova1` помістимо перший набір вихідних даних безпосередньо з табл. 1.2. Для вихідних даних з таблиці. 1.3, обчислимо різниці між наступними і попередніми значеннями моментів часу відмов кожного елемента, в результаті отримаємо набір чисел, приведених в табл. 1.4.

Таблиця 1.4 - Час між відмовами елементів

Номер елемента, і	Час між відмовами, год
1	114; 95; 84; 112
2	136; 81; 91; 171
3	73; 111; 105; 89; 100
4	63; 99; 95; 108; 119
5	54; 115; 132; 77; 84
6	114; 99; 130; 65
7	96; 66; 109; 103; 94
8	106; 92; 75; 112; 114
9	95; 134; 79; 95
10	77; 102; 113; 95; 90

Отримані різниці із табл. 1.4 помістимо в змінну (стовбець) `vidmova2`. На екрані комп’ютера повинна з’явитись наступна заставка:



Lab-1.sf3

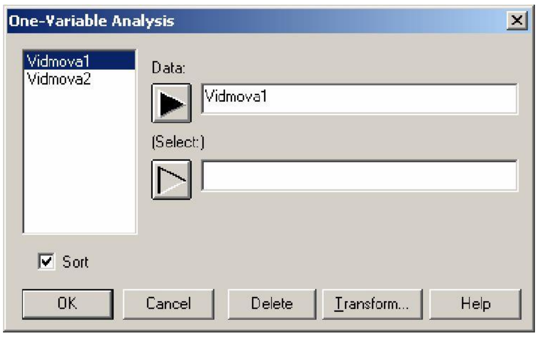
	Vidmova1	Vidmova2	Col_3	Col_4
1	455	114		
2	552	95		
3	109	84		
4	340	112		
5	103	136		
6	152	81		
7	62	91		
8	163	171		
9	35	73		
10	5	111		
11	129	105		
12	81	89		
13	221	100		
14	35	63		
15	318	99		
16	180	95		
17	20	108		
18	37	119		

Зазначимо, що довжини (тривалості) змінних `vidmova1` і `vidmova2` відповідно рівні 100 і 46, що відповідає кількості чисел в табл. 1.2 і 1.4.

Використовуючи пункт головного меню File|Save As|Save DataFile As зберігаємо дані у файл з іменем `Lab-1`.

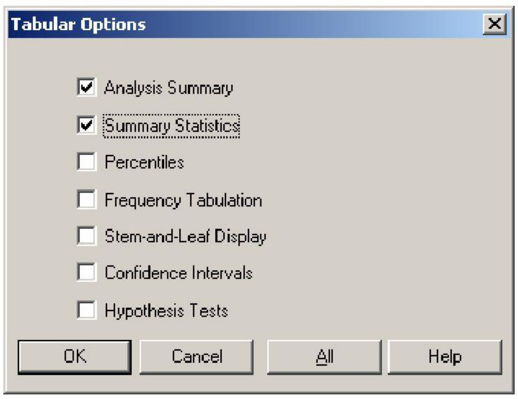
2. Визначення статичних показників для кожного набору даних, що містять змінні `Lab-1. vidmova1` і `Lab-1. vidmova2`.

Для цього необхідно вибрати пункт головного меню Describe | Numeric Data | One-variable Analysis. У діалоговому вікні вибрати змінну `vidmova1` і натиснувши OK:

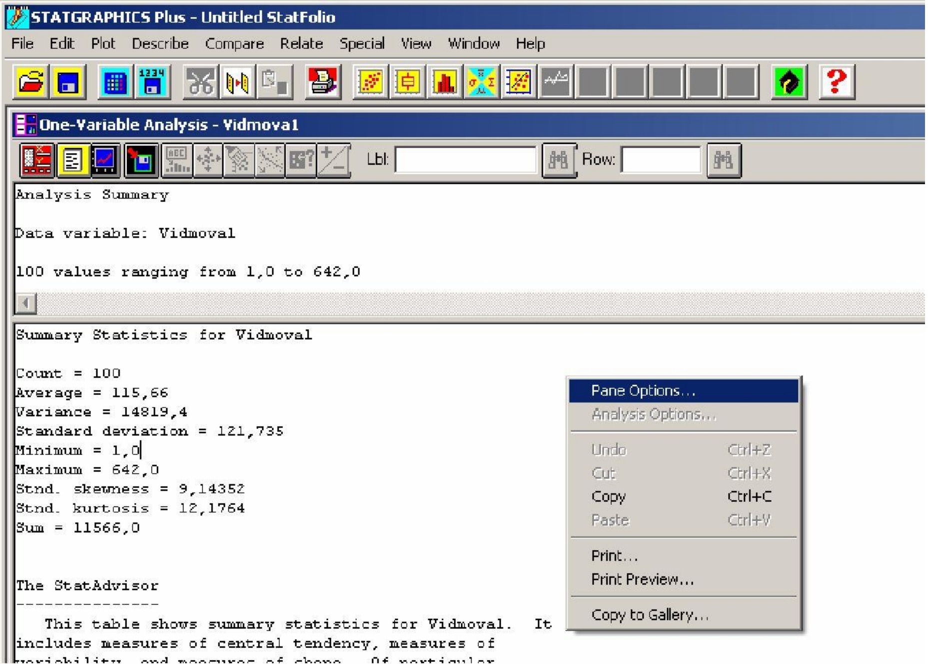


На екрані комп’ютера з’явиться заставка з загальними параметрами аналізу змінної One-variable Analysis – `Vidmova1`.

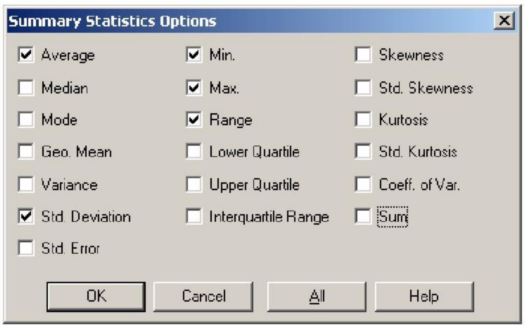
У вікні One-variable Analysis - `Vidmova1` використовуючи елемент панелі інструментів Tabular Options вибрати пункти Analysis Summary та Summary Statistics, натиснути OK.



Встановити курсор у вікні Summary Statistics for `Vidmova1`, використовуючи праву клавішу миші потрібно отримати наступну заставку:



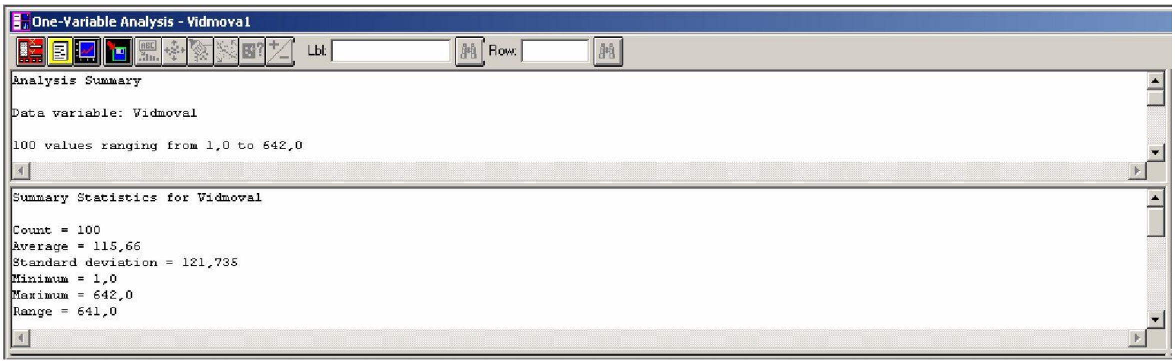
Перейти в поле Pane Options, та в діалоговому вікні Summary Statistics Options вибрати необхідні характеристики:



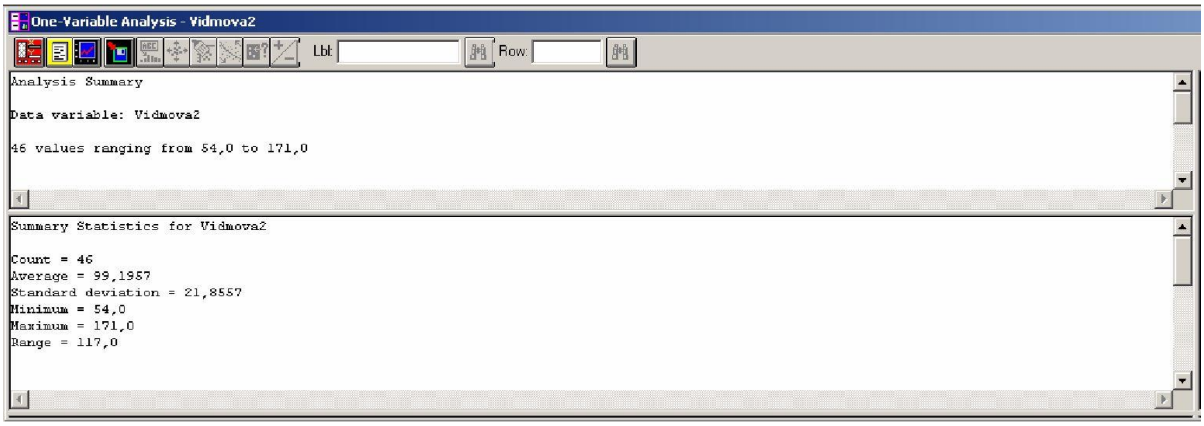
Повторити аналогічно визначення статистичних показників для змінної `Lab- 1.vidmova2`.

Вибір вказаних Summary Statistics Options опцій приведе до розрахунку необхідних характеристик і виводу їх на екран в наступному вигляді:

- для змінної `vidmova2`;



- для змінної `vidmova2`.



З отриманого випливає, що для першого набору вихідних даних середнє напрацювання до першої відмови наближено дорівнює T_1=116 години, а для другого набору середнє напрацювання на відмову рівне T=99 годин. Зауважимо також, що в першому випадку стандартне відхилення $S_1=121$ достатньо близьке до середнього напрацювання до відмови, що свідчить про можливу наближеність розподілу до експоненціального. В другому випадку розподіл часу роботи елемента між відмовами явно відрізняється від експоненціального, тому що стандартне відхилення $S_2=22$ суттєво відрізняється від середнього напрацювання на відмову.

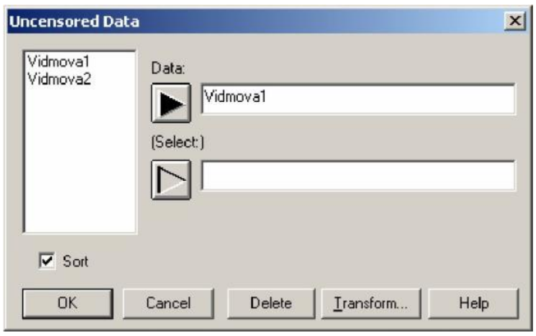
Бачимо також, що для першого набору даних всі реалізації випадкового напрацювання до відмови знаходься в інтервалі [1; 642], і розкид вибірки дорівнює 641 год. Для другого набору даних всі вибіркові значення знаходяться в інтервалі [54; 171] тривалістю 117 годин.

3. Показники надійності елемента, що залежать від часу, визначаються в пункті меню Describe | Distribution Fitting. Дане питання висвітлене в розд. 1.3.3 і 1.3.4 для першого і другого набору вихідних даних.

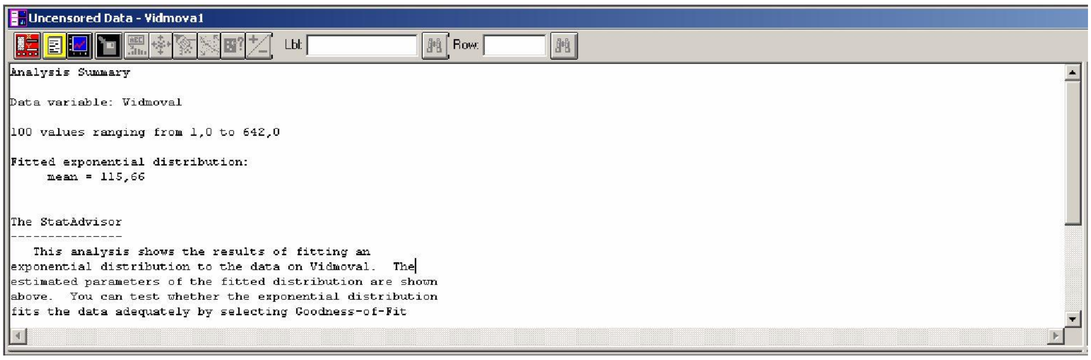
1.3.3 Визначення показників надійності неремонтованого елемента

Проведемо перебір 5 різних неперервних розподілів і виберемо ті, що найкраще підходять за рівнем значущості.

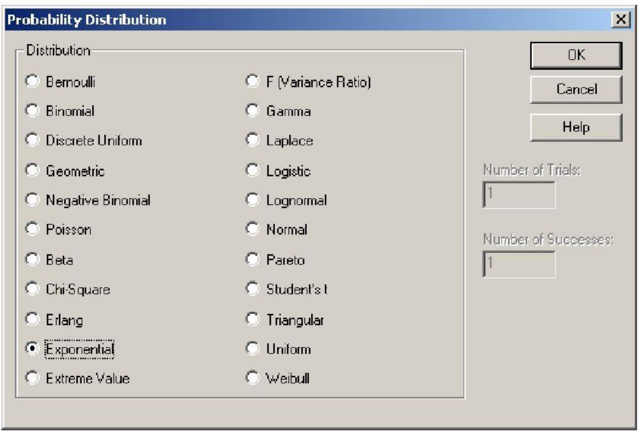
В діалоговому вікні головного меню Describe | Distribution Fitting | Unsorted Data задаємо назву змінної:



В результаті отримаємо вікно з Analysis Summary інформацією про відповідну змінну.



В якості прикладу для змінної `vidmova1` виберемо експоненціальний розподіл. Для цього у вікні Uncensored Data – Vidmova1 натиснувши праву кнопку миші вибираємо Analysis Options та задаємо експоненціальний розподіл:



Середнє значення змінної `vidmova1` для експоненціального розподілу становить 115,66.

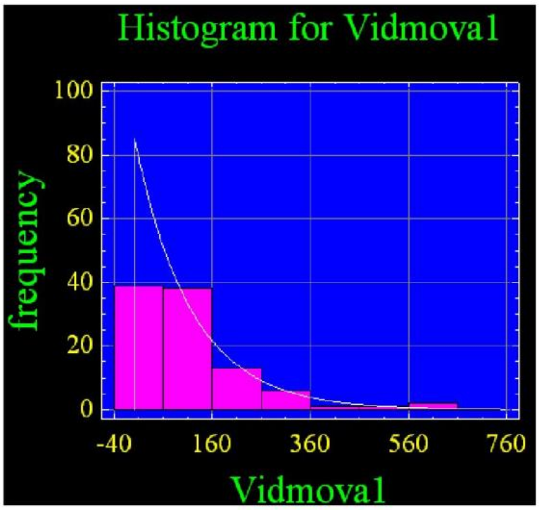
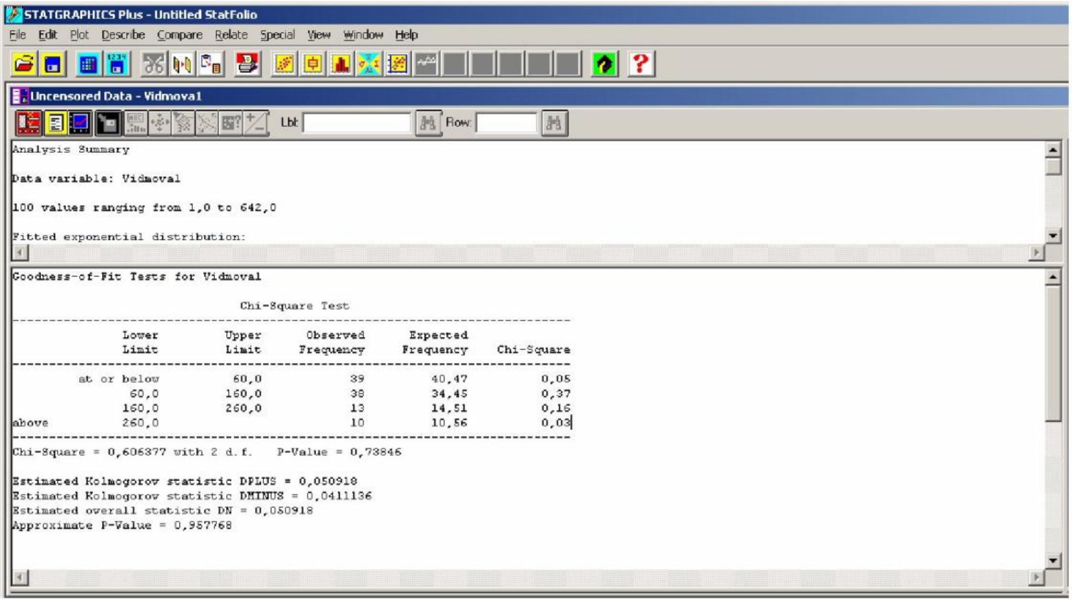


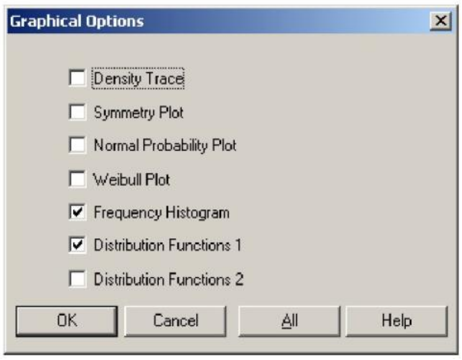
Рисунок 1.5 - Підбір густини розподілу до гістограми частот

В допоміжному меню Graphical Options, яке з’являється при натисканні відповідного пункту вікна Uncensored Data – Vidmova1, необхідно вибрати пункт Frequency Histogram, внаслідок чого на екрані отримаємо гістограму частот і вирівнюючу її функцію густини експоненціального розподілу (рис. 1.5).

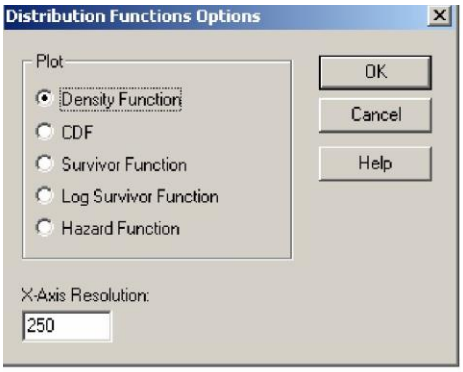


Вибір пункту Goodness-of-Fit Tests допоміжного меню Tabular Options у вікні Uncensored Data – Vidmova1 дозволить виконати Хі-квадрат тест, що дозволить обчислити рівень значимості для експоненціального розподілу. В результаті розрахунків рівень значимості дорівнює 0,73846. Так як це значення більше заданого 0,05, то експоненціальний розподіл добре узгоджується з експериментальними даними.

У вікні Uncensored Data – Vidmova1 вибрати пункт допоміжного меню Graphical Options та у діалоговому вікні вказати тип графічного представлення Distribution Functions 1:



В правій частині вікна Uncensored Data – Vidmova1 будуються графіки необхідних показників надійності у відповідності з розрахованими раніше параметрами. Для експоненціального розподілу задається тільки середнє значення, що дорівнює *Ti* = 115,66 год. Вибір пунктів діалогового вікна Distribution Function Options відбувається шляхом натискання правої клавіші миші на графіку, внаслідок чого отримаємо наступну заставку:



Пункти діалогового вікна означають наступне:

– Density Function - густина розподілу $f(t)$;
– Cumulative d.f. - функця розподілу $Q(t)$;
– Survivor function - імовірність безвідмовної роботи $P(t)$;
– Log survivor function - логарифм імовірності безвідмовної роботи;
– Hazard function - інтенсивність відмов $\lambda(t)$.

В результаті вибору того чи іншого пункту діалогового вікна отримаємо графіки, що зображені на рис. 1.6 - 1.8.

Середнє напрацювання до відмови дорівнює T_l = 115,66 год.

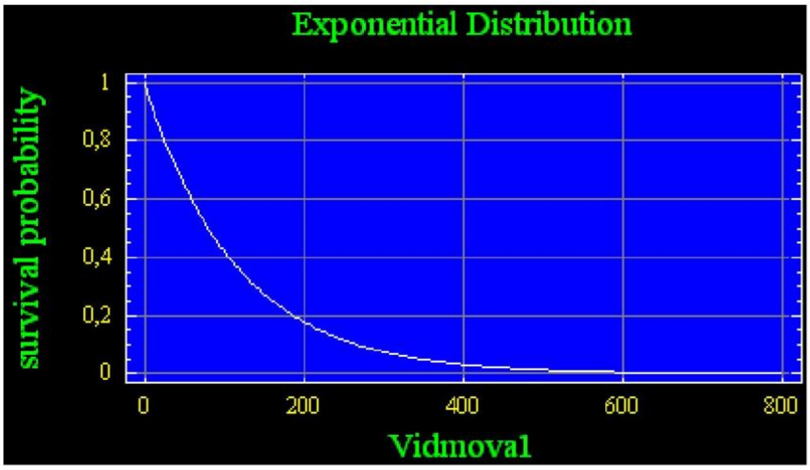


Рисунок 1.6 - Імовірність безвідмовної роботи елемента *P(t)*

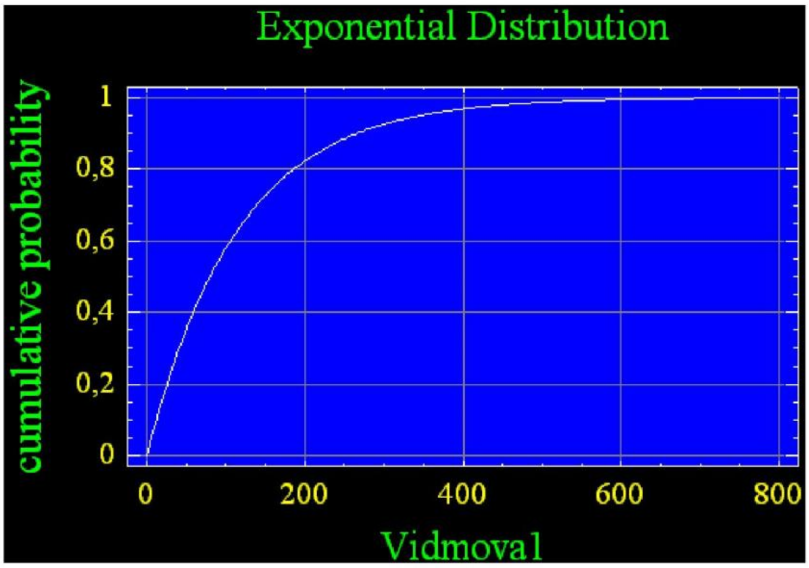


Рисунок 1.7 - Функція розподілу *Q(t)*

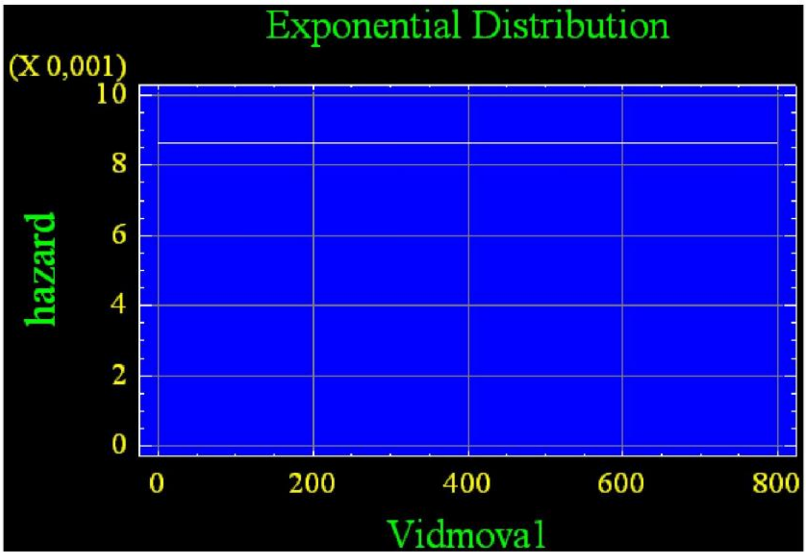
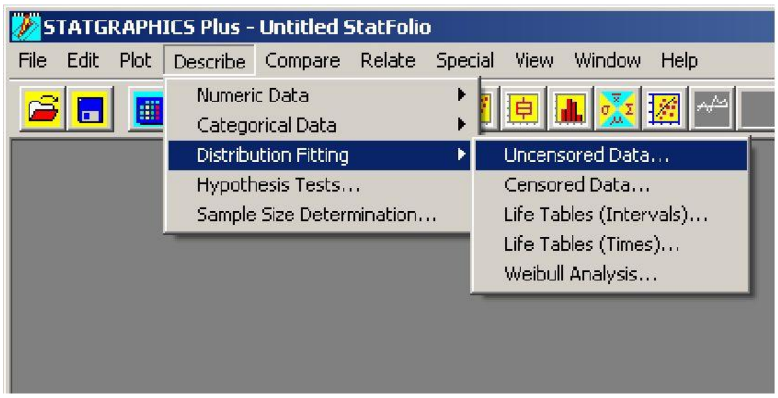
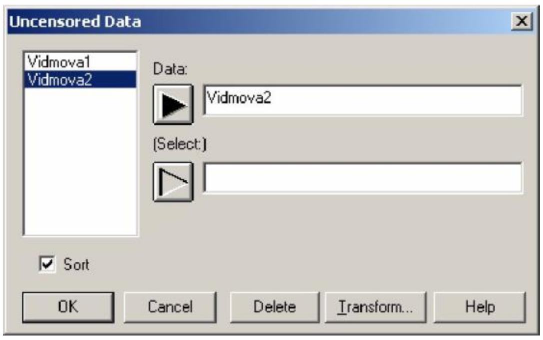


Рисунок 1.8 - Інтенсивність відмов елемента $\lambda(t)$

1.3.4. Визначення показників надійності елемента, який ремонтується

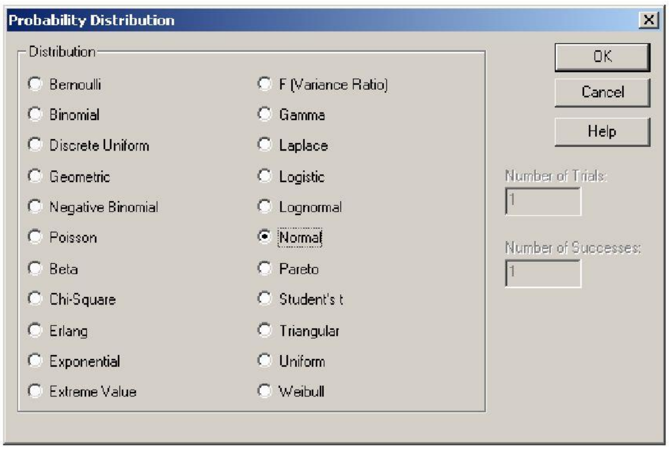
В пункті головного меню Describe | Distribution Fitting | Unsorted Data перебираємо 5 різних розподілів і підбираємо той, що найбільш підходить за рівнем значимості:



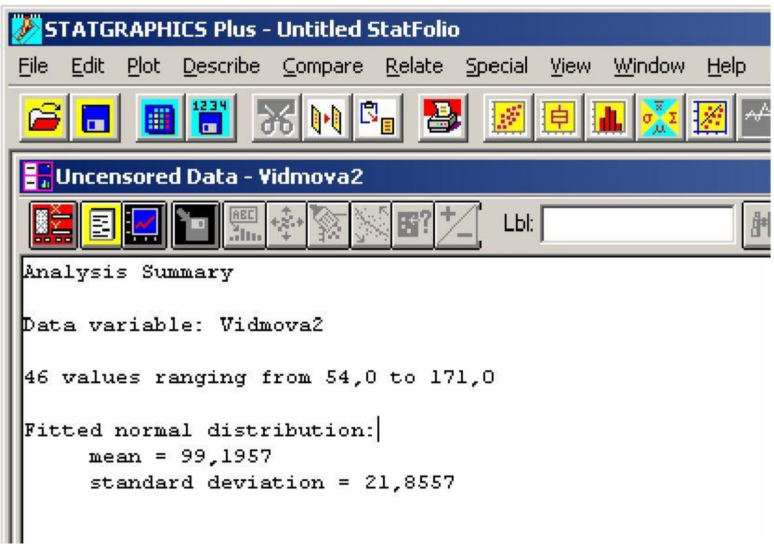


Вибирати змінну `Vidmova2` і натиснути ОК.

У вікні Uncensored Data - Vidmova2, використовуючи праву кнопку миші (Analysis Options) вибрати відповідний закон розподілу В якості прикладу розглянемо нормальний розподіл. На екрані з’явиться відповідна заставка:



В результаті отримаємо Analysis Summary інформацією про відповідну змінну (`Vidmova2`).



Гістограма по напрацюваннях і відповідна крива нормального розподілу приведені на рис. 1.9. Рівень значимості для нормального розподілу дорівнює 0,455035, що більше заданого рівня значимості, який сатновить 0,05. Отже, нормальний розподіл не суперечить дослідним даним.

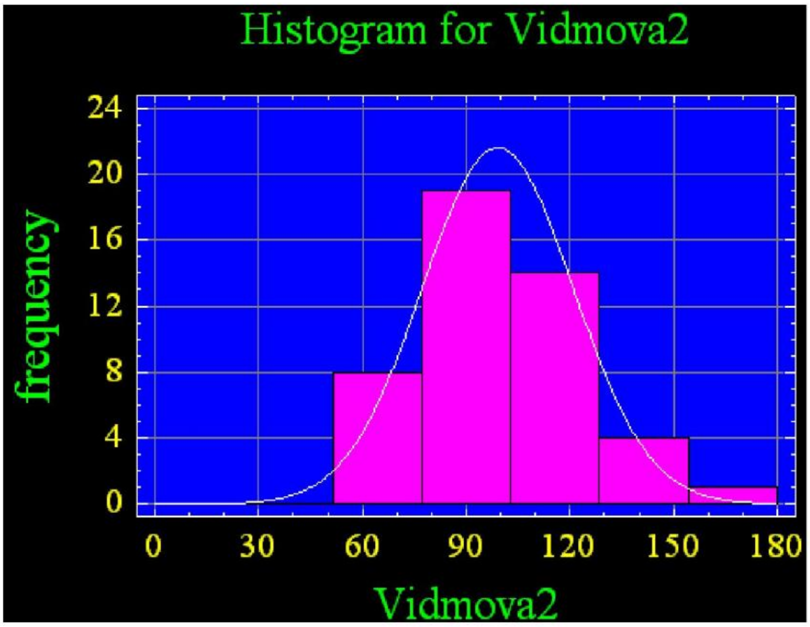
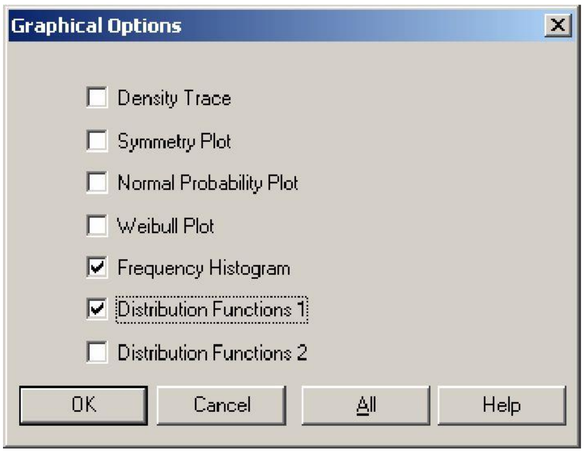


Рисунок 1.9 - Підбір густини розподілу *f(t)* до гістограми частот

Нормальний розподіл має наступні параметри: середнє значення становить 99,1957, стандартне відхилення становить 21,8557.

Вибрати Graphical Options меню вікна Uncensored Data - Vidmova2, та задати пункт Distribution Functions 1.



В правій частині вікна Uncensored Data - Vidmova2 будуються графіки необхідних показників надійності у відповідності з розрахованими раніше параметрами.

На рис. 1.10 і 1.11 зображені графіки функції розподілу і інтенсивності відмов відповідно.

Середнє напрацювання на відмову елемента становить 7=99,1957 год.

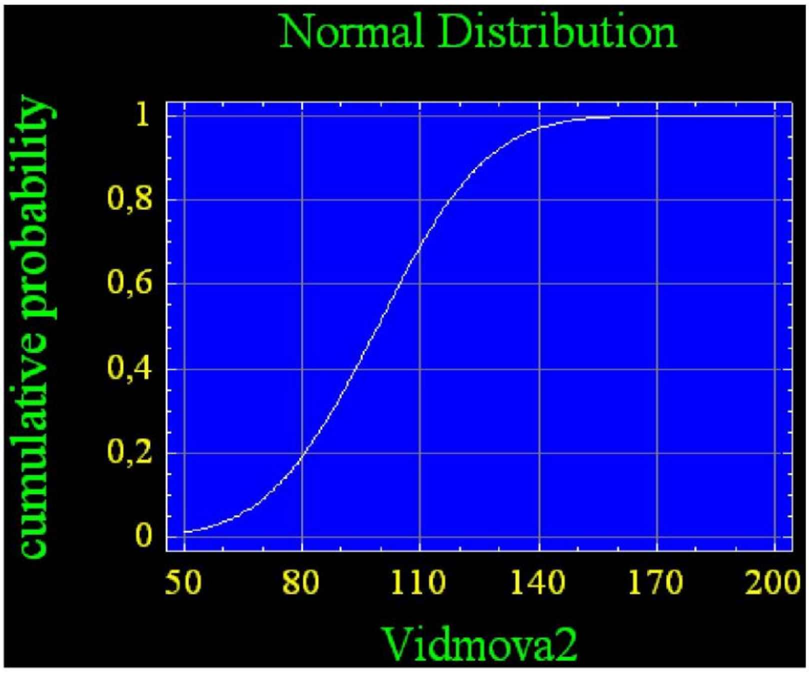


Рисунок 1.10 - Функція розподілу часу роботи елемента між відмовами $F(t)$

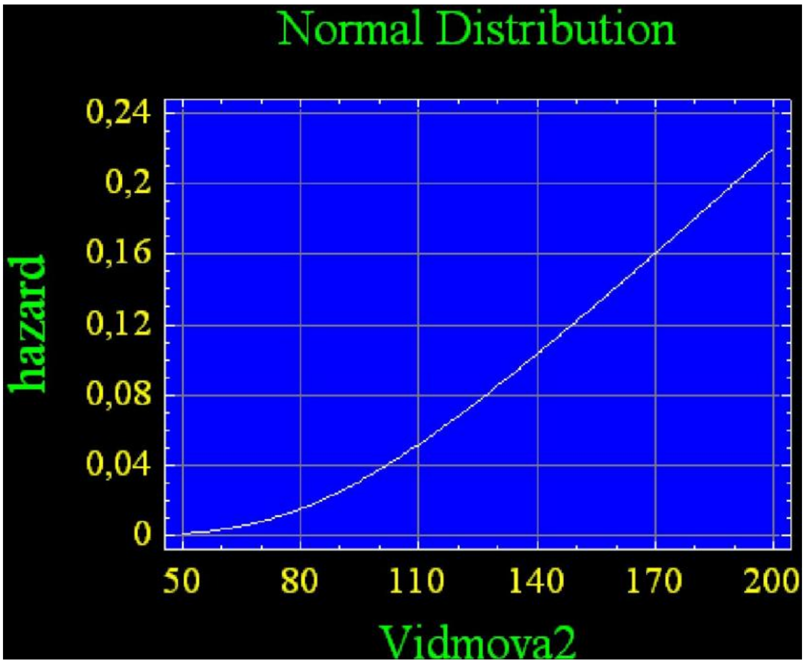


Рисунок 1.11 - Інтенсивність відмов елемента $\lambda(t)$

1.4 Форма звіту

За результатами виконаної лабораторної роботи оформляється звіт, в якому повинні бути в наявності наступні пункти:

1. Постановка завдання з конкретним змістом, сформульованого для свого варіанту. Вихідні дані повинні бути представленні у вигляді табл. 1.2 і 1.3.
2. Представлення другого набору даних у вигляді табл. 1.4.
3. Розбиття статистичних даних на групи вручну і побудова гістограми частот без використання програми StatGraphics.

4. Виконання завдання в програмі StatGraphics. Для цього необхідно вказати ім’я файла та імена змінних, в яких знаходяться ”експериментальні“ дані, привести формули для розрахунку необхідних статистичних показників, числові значення і фізичний зміст цих показників, представити результати групування даних у вигляді таблиці розподілу частот, привести гістограму частот, отриману в StatGraphics.

5. Перебір п’яти розподілів, включаючи заданий, і вибір серед них найбільш підходящого до "експериментальних" даних за критерієм хі-квадрат, графічне зображення гістограми і всіх розглянутих кривих розподілів.

6. Висновки за результатами досліджень.

В роботі необхідно вказати назви процедур StatGraphics, що використовуються при виконані кожного пункту.

1.5 Варіанти завдань до лабораторної роботи

Дано:

– два набори вихідних даних про відмови елементів;
– N - кількість елементів в кожному наборі;
– закон розподілу часу до відмови в першому варіанті;
– закон розподілу часу між відмовами в другому варіанті;
– моменти відмов елементів.

Визначити:

1. показники надійності елемента, що працює до першої відмови (перший набір вихідних даних): T_i, $P(t)$, $Q(t)$, $f(t)$, $X(t)$;
2. показники надійності елемента, що характеризують час його роботи між відмовами (другий набір вихідних даних): T, $f(t)$, $F(t)$, $k(t)$.

Результат отримати у вигляді таблиць і графіків.

При обробці даних вручну і на комп’ютері їх необхідно розбити на 10 груп (класів). Підбір відповідного розподілу необхідно здійснити для рівня значимості, що становить 0,05.

ВАРІАНТ 1

Перший набір вихідних даних (Нормальний розподіл):

155	147	126	139	137	132	120	165	163	156
142	143	138	144	149	145	157	152	145	140
140	145	169	148	121	135	152	138	128	161
140	149	149	123	141	164	145	131	157	123
136	146	140	130	147	108	122	133	115	165
166	137	147	137	126	143	114	109	147	135
147	148	153	146	128	145	135	147	151	151
119	145	137	149	163	141	137	137	146	133
128	123	139	134	154	149	144	166	152	159
163	112	126	146	147	149	146	127	143	154

Другий набір вихідних даних (Експоненціальний розподіл):

Номер елемента	Моменти відмови на періоді 700 годин
1	37; 90; 279; 355; 360; 420; 466; 488; 627; 671
2	26; 77; 141; 532; 642; 661
3	53; 59; 164; 183; 316; 568; 607
4	22; 26; 134; 287; 356; 470; 472; 481
5	24; 40; 152; 412; 431; 486; 567; 630; 649
6	193; 216; 474; 488; 538; 616
7	86; 355; 415; 451
8	117; 157; 358; 462; 527; 673
9	74; 89; 356; 356; 420; 492; 497; 512; 548; 601
10	204; 276; 327; 515; 516; 544

ВАРІАНТ 24

Перший набір вихідних даних (Гама-розподіл):

27	162	131	111	414	191	166	222	268	168
98	226	234	416	79	213	210	323	103	392
388	389	229	161	94	182	41	79	148	528
332	263	М6	85	562	44	268	272	370	502
75	120	292	363	151	50	400	89	308	116
246	321	509	547	424	456	102	404	323	122
288	425	64	610	140	88	171	163	108	84
96	100	737	396	258	510	37	246	166	258
103	318	68	57	28	312	232	333	130	151
454	286	197	236	313	115	111	138	216	268

Другий набір вихідних даних (Рівномірний розподіл):

Номер елемента	Моменти відмови на періоді 600 годин
1	107; 201; 295; 397; 515
2	95; 213; 320; 403; 483; 568
3	97; 196; 282; 399; 504; 584
4	109; 216; 328; 422; 528
5	112; 226; 310; 417; 524
6	103; 195; 300; 392; 480 570
7	93; 178; 268; 375; 494
8	93; 203; 312; 393; 488 581
9	119; 210; 293; 408; 518
10	102; 220; 334; 439; 537

ВАРІАНТ 25

Перший набір вихідних даних (Гама-розподіл):

221	370	84	97	196	475	426	151	72	133
282	97	321	315	107	108	156	597	241	210
107	37	176	197	182	467	146	97	244	54
91	255	169	149	256	53	283	103	468	38
369	305	209	227	276	351	244	216	382	430
204	306	163	159	221	235	126	106	670	72
80	466	93	60	123	706	112	236	298	49
277	155	83	67	298	168	30	210	178	275
86	161	397	508	334	252	582	24	427	139
559	138	405	187	229	107	167	519	226	247

Другий набір вихідних даних (Нормальний розподіл):

Номер елемента	Моменти відмови на періоді 600 годин
1	110; 211; 296; 408; 512; 584
2	80; 167; 239; 336; 435; 523
3	113; 206; 292; 370; 466; 588
4	123; 211; 301; 397; 502
5	79; 197; 296; 377; 457; 538
6	132; 224; 302; 383; 486; 570
7	86; 185; 312; *390;* 471; 576
8	106; 195; 265; 350; 431; 537
9	83; 176; 253; 328; 407; 511; 595
10	130; 232; 371; 442; 539

ВАРІАНТ 26

Перший набір вихідних даних (Нормальний розподіл):

156	161	145	122	180	190	153	174	163	133
135	156	176	160	163	150	157	156	136	168
176	155	165	140	165	160	138	181	183	182
165	175	153	131	180	168	149	156	173	156
148	133	154	149	152	150	188	163	145	142
169	163	174	135	154	183	172	136	166	157
157	182	174	162	173	191	165	146	151	163
175	167	141	163	142	143	167	149	142	173
149	148	150	154	149	178	145	168	176	170
158	140	152	162	163	148	184	159	143	163

Другий набір вихідних даних (Рівномірний розподіл):

Номер елемента	Моменти відмови на періоді 500 годин
1	105; 208; 323; 414
2	113; 2165 331; 433
3	111; 192; 272; 363; 453
4	110; 209; 314; 426
5	85; 192; 301; 393; 480
6	87; 174; 292; 381; 479
7	102; 195; 314; 404
8	94; 190; 275; 363; 449
9	118; 230; 331; 433
10	105; 219; 310; 408

ВАРІАНТ 27

Перший набір вихідних даних (Гама-розподіл):

65	266	138	87	219	466	71	286	107	349
106	231	169	219	387	82	63	92	104	96
54	243	702	245	128	153	260	448	220	326
550	210	124	293	209	473	114	228	194	334
220	29	270	481	499	854	533	606	133	174
426	212	395	199	412	182	153	109	156	65
174	142	374	170	97	52	434	392	197	356
23	200	35	286	352	53	544	198	111	93
361	409	393	20	296	409	42	73	138	515
223	345	79	98	51	25	188	194	88	106

Другий набір вихідних даних (Рівномірний розподіл):

Номер елемента	Моменти відмови на періоді 700 годин
1	86; 194; 299; 406; 505; 619
2	119; 221; 333; 438; 528; 643
3	86; 200; 295; 389; 496; 600
4	107; 188; 286; 385; 501; 612
5	82; 185; 294; 392; 510; 591; 675
6	117; 234; 340; 425; 516; 613; 695
7	110; 202; 318; 414; 503; 597
8	104; 197; 310; 429; 534; 622
9	109; 196; 289; 395; 510; 619
10	83; 193; 309; 419; 507; 592; 683

ВАРІАНТ 28

Перший набір вихідних даних (Гама-розподіл):

188	27	604	136	78	194	312	389	38	153
191	332	98	177	132	127	100	137	224	104
95	164	78	182	115	67	165	113	244	84
199	227	118	124	112	96	196	150	319	39
403	110	224	163	93	9	90	158	377	77
139	104	728	129	197	241	282	152	161	228
171	8	189	381	50	177	98	156	37	277
163	355	307	10	241	256	29	128	82	100
292	221	254	93	253	515	44	58	434	167
240	77	149	18	30	344	54	71	127	271

Другий набір вихідних даних (Нормальний розподіл):

Номер елемента	Моменти відмови на періоді 500 годин
1	94; 181; 278; 365; 478
2	87; 168; 261; 353; 468
3	110; 211; 336; 412
4	93; 194; 280; 357; 459
5	80; 175; 266; 365; 493
б	113; 230; 346; 430
7	88; 191; 295; 400
8	74; 187; 286; 405; 478
9	79; 187; 308; 400; 476
10	123; 206; 333; 464

ВАРІАНТ 29

Перший набір вихідних даних (Гама-розподіл):

226	649	453	304	340	321	50	497	149	293
295	323	61	257	54	226	277	97	222	764
583	72	60	476	281	1395	230	203	122	29
191	40	404	755	61	23	219	125	300	124
416	293	290	112	138	44	110	176	90	547
538	14	363	594	116	369	127	68	219	175
233	700	223	466	380	532	230	141	256	996
134	478	180	658	149	643	155	296	280	346
205	495	508	134	314	244	287	579	343	272
199	243	77	790	41	1102	733	63	1412	354

Другий набір вихідних даних (Рівномірний розподіл):

Номер елемента	Моменти відмови на період часу 900 годин
]	98; 209; 295; 392; 502; 592; 691; 806
2	111; 197; 292; 405; 509; 590; 704; 788; 877
3	105; 218; 313; 397; 485; 570; 656; 766; 870
4	105; 218; 335; 419; 532; 618; 698; 792
5	95; 196; 292; 372; 452; 534; 653; 745; 829
6	99; 208; 293; 390; 478; 561; 669; 773; 860
7	103; 211; 326; 406; 515; 624; 722; 822
8	108; 205; 299; 412; 501; 612; 731; 812; 892
9	88; 191; 278; 360; 443; 539; 644; 750; 854
10	80; 177; 277; 365; 476; 564; 661; 775; 887

ВАРІАНТ 30

Перший набір вихідних даних (Гама-розподіл):

93	28	116	300	247	207	40	155	141	17
142	233	105	99	298	180	229	440	150	124
173	123	111	161	111	269	87	245	390	129
149	574	131	70	33	200	41	60	41	16
80	116	208	369	69	190	76	295	108	234
78	119	87	132	119	259	94	48	155	139
253	234	135	106	220	22	198	412	449	186
151	85	155	90	301	429	165	304	207	124
326	20	381	279	49	535	94	51	158	48
38	140	195	15	166	206	60	120	57	225

Другий набір вихідних даних (Нормальний розподіл):

Номер елемента	Моменти відмови на період часу 900 годин
1	73; 169; 282; 341; 425; 540; 663; 777
2	73; 147; 213; 305; 372; 461; 569; 666; 768; 873
3	109; 200; 286; 402; 480; 575; 718; 797; 871
4	112; 197; 286; 380; 486; 564; 665; 782; 889
5	92; 187; 260; 355; 476; 567; 668; 760; 865
6	88; 191; 313; 419; 533; 609; 700; 797
7	110; 221; 369; 448; 529; 643; 772; 887
8	94; 182; 200; 340; 436; 534; 638; 750; 875
9	99; 202; 274; 365; 441; 526; 643; 742; 825; 899
10	101; 193; 288; 419; 542; 635; 716; 799; 881

ВАРІАНТ 31

Перший набір вихідних даних (Гама-розподіл):

350	244	69	234	145	196	389	23	251	127
226	118	219	204	120	180	406	182	74	240
206	257	181	104	130	341	245	9	226	161
147	71	219	361	162	112	67	182	34	76
143	60	119	190	281	437	226	307	41	148
228	37	296	51	254	44	190	143	795	117
191	14	392	157	16	203	89	346	303	40
377	319	258	37	68	235	385	128	111	640
136	224	174	601	35	71	345	132	197	35
331	83	97	178	328	194	110	120	106	109

Другий набір вихідних даних (Рівномірний розподіл):

Номер елемента	Моменти відмови на період часу 600 годин
1	104; 200; 287; 373; 477; 586
2	96; 198; 314; 399; 513
3	81; 165; 277; 375; 475; 562
4	111; 226; 312; 413; 530
5	111; 209; 322; 406; 516; 596
6	83; 198; 288; 384; 468 565
7	99; 215; 317; 415; 506
8	84; 200; 316; 431; 516
9	109; 218; 330; 435; 536
10	85; 172; 271; 386; 496

ВАРІАНТ 32

Перший набір вихідних даних (Експоненціальний розподіл):

35	87	105	18	386	187	118	227	65	89
106	42	186	113	147	306	202	168	44	0
173	119	41	57	86	59	38	151	348	41
165	395	185	382	67	351	16	0	41	31
96	468	37	19	263	58	267	3	20	130
116	211	243	225	77	108	200	702	634	436
341	0	23	41	89	486	137	18	55	139
412	362	120	346	29	34	21	123	10	89
162	7	117	304	73	4	123	32	82	113
176	137	49	190	133	598	115	4	178	167

Другий набір вихідних даних (Нормальний розподіл):

Номер елемента	Моменти відмови на період часу 1000 годин
1	115; 222; 328; 406; 486; 594; 696; 801; 896; 977
2	91; 215; 316; 411; 484; 603; 687; 797; 878
3	89; 175; 266; 360; 463; 604; 695; 813; 895
4	85; 170; 258; 382; 470; 579; 658; 739; 819; 920
5	115; 222; 327; 436; 550; 634; 732; 811; 933
6	86; 164; 247; 366; 495; 588; 713; 816; 939
7	105; 205; 290; 409; 473; 580; 680; 773; 869; 969
8	99; 199; 315; 430; 527; 650; 762; 844; 945
9	105; 220; 311; 389; 478; 563; 661; 734; 855; 968
10	106; 184; 284; 395; 490; 593; 697; 779; 922

ВАРІАНТ 33

Перший набір вихідних даних (Рівномірний розподіл):

134	126	130	98	172	140	99	141	91	111
119	95	*123*	173	122	150	38	104	170	137
130	121	121	155	144	124	127	140	150	139
89	116	88	94	110	131	169	8 1	86	121
175	163	150	100	128	148	133	121	128	97
142	1 1 1	174	103	122	118	83	118	109	176
105	172	132	125	150	115	177	93	141	133
165	82	86	117	165	147	103	169	88	138
80	126	84	170	106	113	92	96	154	114
154	165	160	172	162	114	168	82	128	95

Другий набір вихідних даних (Експоненціальний розподіл):

Номер елемента	Моменти відмови на період часу 700 годин
1	1; 1; 63; 75; 133; 356; 363; 403; 417
2	126; 240; 557
3	40; 72; 216; 220; 267; 305; 313; 474; 493
4	43; 234; 248; 431; 433; 583; 668; 680
5	35; 56; 70; 81; 225; 558; 568
6	18; 93; 111; 130; 229; 313; 461; 474; 532; 572; 603; 610
7	113; 375; 401; 479; 659
8	138; 163; 421; 479; 500; 636; 638; 671
9	222; 261; 404; 533; 568
10	55; 96; 111; 148; 252; 281; 633

ВАРІАНТ 34

Перший набір вихідних даних (Нормальний розподіл):

97	120	102	100	124	146	113	110	112	119
127	124	133	137	132	111	138	112	126	133
124	117	135	120	107	92	130	137	130	97
121	113	124	123	127	103	108	99	110	116
139	118	120	120	106	121	130	118	128	117
113	98	113	120	114	97	130	124	130	121
119	126	113	116	110	107	128	141	129	122
122	129	140	140	95	113	128	121	113	103
119	136	120	93	120	96	114	113	119	129
132	113	127	143	124	103	108	118	89	116

Другий набір вихідних даних (Експоненціальний розподіл):

Номер елемента	Моменти відмови на період часу 800 годин
1	112; 193; 247; 249; 284; 439
2	162; 255; 290; 317; 388; 456; 460; 661; 765
3	53; 335; 390; 401; 445; 610; 623; 792
4	73; 139; 140; 188; 204; 332; 555; 631
5	103; 165; 227; 513; 592; 718; 791
6	43; 158; 688; 792
7	17; 26; 339; 484; 529
8	27; 71; 203; 253; 281
9	216; 318; 669
10	146; 146; 240; 315; 543; 648

ВАРІАНТ 35

Перший набір вихідних даних (Гама-розподіл):

120	221	151	212	40	57	411	415	152	750
123	130	235	87	147	31	61	74	201	319
120	14	120	309	432	243	649	158	300	9
247	197	62	25	40	71	69	267	99	32
128	130	15	462	34	294	120	30	165	215
232	186	93	146	518	24	177	84	127	198
239	45	216	55	239	560	263	144	139	261
378	289	76	310	413	351	141	29	319	96
56	87	357	260	79	58	243	39	61	14
422	255	360	360	82	114	242	396	166	224

Другий набір вихідних даних (Експоненціальний розподіл):

Номер елемента	Момент відмови на періоді 700 годин
1	204; 221; 345; 376; 537; 697
2	2; 39; 71; 104; 118; 213; 544; 596; 608; 657
3	138; 314; 387; 467; 471; 556; 699
4	8; 11; 52; 94; 192; 476; 491; 527; 655
5	106; 168; 325; 360; 690
6	192; 207; 217; 362; 426
7	225; 440; 618; 657; 667
8	371; 420; 500
9	85; 371; 568; 579; 611; 625; 663
10	80; 111; 152; 162; 369; 394; 462; 551

ВАРІАНТ 36

Перший набір вихідних даних (Рівномірний розподіл):

102	133	104	136	109	171	167	159	176	153
126	177	*128*	118	127	82	107	120	155	165
171	159	159	136	105	142	96	98	176	127
108	161	106	169	151	116	80	125	119	178
164	111	145	106	151	103	148	103	112	158
110	120	173	136	126	160	83	124	139	101
105	120	91	129	95	95	96	127	92	80
82	83	95	97	90	167	142	89	93	157
170	163	112	145	170	99	95	115	119	134
138	119	98	91	113	139	84	150	86	175

Другий набір вихідних даних (Нормальний розподіл):

Номер елемента	Момент відмови на періоді 700 годин
1	106; 208; 279; 390; 488; 582; 656
2	98; 186; 304; 377; 477; 539; 622
3	100; 217; 337; 467; 584; 670
4	121; 217; 290; 397; 473; 595
5	100; 212; 301; 385; 480; 605; 694
6	131; 213; 292; 393; 481; 564; 688
7	130; 229; 309; 440; 521; 601; 690
8	87; 196; 297; 403; 499; 601
9	117; 236; 351; 428; 507; 594
10	103; 205; 295; 402; 516; 603

ВАРІАНТ 37

Перший набір вихідних даних (Нормальний розподіл):

99	91	104	114	97	91	99	101	99	95
109	98	119	84	102	120	107	97	110	102
88	99	99	104	103	110	96	85	109	89
79	100	111	103	89	92	109	99	91	S6
100	90	102	91	89	95	98	37	117	100
95	98	97	107	90	112	85	101	94	87
99	93	104	90	90	109	89	95	102	33
100	98	93	104	107	98	104	112	100	105
115	113	94	110	93	94	82	100	94	102
90	94	102	110	90	99	93	87	115	97

Другий набір вихідних даних (Рівномірний розподіл):

Номер елемента	Момент відмови на періоді 600 годин
1	104; 197; 304; 422; 511; 597
2	86; 184; 300; 382; 492; 595
3	106; 218; 312; 395; 493; 573
4	94; 200; 302; 409; 498; 589
5	117; 213; 316; 433; 516
6	94; 186; 293; 401; 507
7	90; 188; 272; 379; 478; 577
8	104; 210; 309; 412; 506; 588
9	99; 194; 300; 419; 530
10	109; 227; 331; 426; 524

ВАРІАНТ 38

Перший набір вихідних даних (Рівномірний розподіл):

164	82	90	157	102	106	92	163	165	92
118	176	118	142	101	102	177	155	175	131
176	105	85	126	113	94	109	159	83	96
148	133	145	127	146	139	155	144	98	90
101	106	116	85	165	123	87	147	170	102
112	85	107	124	164	116	125	166	139	115
172	93	144	112	156	144	98	111	137	128
88	153	108	161	162	96	167	148	90	127
150	162	81	86	128	108	89	120	133	120
91	141	112	94	177	106	80	101	132	92

Другий набір вихідних даних (Нормальний розподіл):

Номер елемента	Момент відмови на періоді 1000 годин
1	118; 202; 326; 434; 505; 610; 712; 791; 901; 984
2	96; 173; 304; 405; 524; 643; 741; 853; 940
3	116; 197; 269; 381; 483; 587; 687; 804; 923
4	111; 182; 293; 438; 545; 639; 751; 845; 978
5	76; 185; 286; 390; 492; 579; 664; 748; 822; 898
6	111; 239; 360; 469; 555; 652; 739; 824; 923
7	131; 223; 344; 444; 551; 674; 792; 917
8	92; 185; 283; 372; 499; 585; 711; 808; 904
9	95; 186; 273; 353; 447; 568; 689; 793; 865; 944
10	79; 190; 324; 408; 485; 591; 665; 776; 855; 930

ВАРІАНТ 39

Перший набір вихідних даних (Рівномірний розподіл):

102	164	110	176	161	142	123	81	119	99
147	146	136	81	176	153	118	87	150	82
127	132	139	167	150	107	106	103	137	174
105	98	88	119	103	104	111	117	172	104
111	115	151	100	154	107	133	176	150	84
151	80	106	150	138	98	96	87	134	171
86	141	105	119	176	144	159	122	91	111
108	139	81	141	178	92	163	81	133	109
167	138	158	156	117	136	90	139	111	96
170	121	130	108	80	123	136	118	136	157

Другий набір вихідних даних (Експоненціальний розподіл):

Номер елемента	Момент відмови на періоді 1000 годин
1	8; 135; 196; 273; 291; 466; 697; 703; 854; 862; 872
2	124; 164; 203; 320; 370; 411; 448; 486; 619; 704; 719; 810
3	45; 50; 249; 257; 409; 483; 535; 572; 592; 678; 701; 802
4	96; 126; 193; 388; 417; 724; 889; 989
5	255; 427; 911
б	12; 35; 39; 137; 204; 349; 372; 379; 452; 455; 456; 539
7	151; 215; 513; 526; 546; 674; 694
8	104; 170; 247; 340; 609; 754; 759; 782; 904
9	71; 80; 128; 411; 910
10	19; 240; 280; 308; 576; 739; 781; 881

ВАРІАНТ 40

Перший набір вихідних даних (Нормальний розподіл):

136	167	127	149	127	144	141	124	121	148
158	162	125	129	135	127	155	143	138	133
118	136	140	141	127	145	116	128	140	133
131	140	125	170	142	156	139	147	138	117
129	143	125	133	135	136	122	120	166	116
148	114	142	123	168	152	149	124	162	137
130	125	137	162	140	128	128	139	122	148
154	150	132	136	158	127	116	135	137	160
147	151	120	132	137	161	124	125	124	129
118	118	133	161	172	141	142	127	M2	125

Другий набір вихідних даних (Рівномірний розподіл):

Номер елемента	Момент відмови на періоді 600 годин
1	108; 214; 329; 423; 509
2	94; 200; 311; 423; 538
3	94; 195; 307; 393; 486; 569
4	94; 195; 279; 373; 465; 565
5	86; 201; 303; 417; 524
6	80; 161; 271; 363; 478; 592
7	115; 218; 308; 395; 501
3	112; 213; 318; 423; 523
9	108; 201; 302; 383; 475; 557
10	92; 184; 272; 358; 463; 559

ВАРІАНТ 41

Перший набір вихідних даних (Нормальний розподіл):

125	150	160	127	159	130	151	116	150	155
122	131	121	125	142	128	156	126	127	146
141	123	132	121	147	112	142	149	175	140
120	153	157	132	151	151	149	140	142	135
162	133	127	150	137	164	150	137	106	145
129	135	150	137	151	125	134	150	135	129
162	124	122	138	127	149	147	151	144	140
137	139	165	151	125	124	135	90	127	153
145	148	148	144	116	105	142	134	134	151
166	107	148	158	152	115	138	129	128	192

Другий набір вихідних даних (Гамма-розподіл):

Номер елемента	Моменти відмови на періоді 1000 годин
1	68; 368; 709; 867
2	64; 255
3	389; 718; 989; 999
4	326; 540; 643
5	385; 486; 494; 609; 724; 756; 772; 872
6	212; 278; 370; 579; 818; 998
7	195; 451; 656; 676; 819; 841; 991
8	95; 239; 277; 320; 516; 543; 606; 675; 709; 1000
9	57; 262; 587; 755; 904
10	395; 494; 569; 637

ВАРІАНТ 42

Перший набір вихідних даних (Гамма-розподіл):

168	71	358	250	42	134	27	203	178	109
50	16	116	91	229	41	128	151	215	96
86	35	162	125	54	135	179	177	77	90
143	197	54	164	29	40	79	70	110	404
87	40	384	42	237	186	159	316	195	44
350	210	236	270	28	107	75	147	64	331
126	73	396	142	60	194	107	156	167	190
25	165	80	78	74	151	137	47	488	119
352	145	284	80	82	128	37	314	186	58
28	96	383	168	173	80	163	118	216	106

Другий набір вихідних даних (Рівномірний розподіл):

Номер елемента	Моменти відмови на періоді 1000 годин
1	114; 212; 296; 406; 504; 593; 673; 780; 861; 977
2	117; 201; 282; 388; 469; 576; 675; 771; 854; 969
3	105; 202; 316; 412; 504; 619; 729; 809; 928
4	95; 198; 290; 370; 478; 561; 659; 770; 871; 968
5	117; 204; 309; 390; 504; 604; 696; 811; 924
6	104; 186; 293; 388; 484; 596; 702; 820; 929
7	119; 199; 301; 405; 497; 585; 687; 798; 911
8	96; 186; 304; 422; 538; 657; 751; 859; 954
9	101; 218; 305; 392; 489; 573; 660; 753; 836; 941
10	99; 204; 307; 422; 541; 652; 766; 875; 964

ВАРІАНТ 43

Перший набір вихідних даних (Нормальний розподіл):

137	140	184	143	167	187	160	169	187	170
145	156	141	136	154	146	148	160	145	158
166	156	179	163	152	171	140	131	153	171
180	193	152	150	136	148	167	158	149	143
147	162	170	162	172	181	130	167	180	193
158	179	166	144	161	165	162	121	137	139
170	162	178	148	146	144	173	165	177	165
172	153	156	176	134	176	167	159	168	161
166	162	153	174	138	164	201	171	158	141
160	169	180	135	133	168	181	152	198	178

Другий набір вихідних даних (Рівномірний розподіл):

Номер елемента	Моменти відмови на періоді 600 годин
1	89; 169; 264; 344; 433; 547
2	95; 179; 275; 359; 440; 526
3	85; 166; 274; 372; 487; 585
4	105; 221; 308; 391; 489; 587
5	115; 196; 296; 413; 503; 583
6	86; 192; 275; 361; 455; 574
7	91; 183; 263; 356; 472; 572
8	110; 195; 280; 362; 481; 566
9	105; 195; 296; 381; 475; 562
10	113; 198; 293; 409; 517

ВАРІАНТ 44

Перший набір вихідних даних (Гамма-розподіл):

408	438	218	80	253	447	160	394	193	167
173	288	529	621	73	416	734	438	285	164
277	58	515	125	200	265	53	165	251	115
337	352	603	331	682	327	289	252	82	242
240	266	127	491	194	433	326	250	436	173
54	515	123	54	494	914	81	13	226	527
207	137	21	249	284	191	400	18	153	325
928	400	12	116	152	74	139	720	77	185
494	103	232	569	93	718	379	296	103	242
140	138	306	329	27	217	292	34	589	159

Другий набір вихідних даних (Рівномірний розподіл):

Номер елемента	Моменти відмови на періоді 600 годин
1	119; 232; 341; 427; 529
2	106; 206; 300; 406; 499
3	98; 187; 297; 389; 487; 570
4	88; 185; 285; 397; 506
3	91; 173; 266; 376; 476; 595
6	106; 213; 293; 381; 469; 565
7	83; 173; 278; 370; 478; 572
8	117; 201; 319; 418; 524
9	94; 211; 325; 429; 509
10	97; 203; 299; 417; 498

ВАРІАНТ 45

Перший набір вихідних даних (Експоненціальний розподіл):

116	326	19	565	456	9	17	50	21	118
10	99	524	46	99	1055	187	31	946	81
148	63	33	171	10	189	56	166	31	160
155	67	8	23	194	2	101	70	153	310
20	23	425	120	159	20	223	4	403	282
250	91	266	124	*55*	92	73	59	1	16
100	444	70	125	24	484	192	68	14	49
140	7	67	167	33	275	867	173	7	88
437	38	*25*	175	404	81	184	198	11	7
627	137	196	246	303	87	25	39	11	94

Другий набір вихідних даних (Гамма-розподіл):

Номер елемента	Моменти відмови на періоді 1000 годин
1	277; 397; 420; 797; 861
2	108; 352; 792; 943
3	146; 240; 289; 427; 494; 542; 863; 918
4	21; 177; 396; 654; 755; 958; 976
5	23; 209; 452; 561; 936
6	335; 508; 811; 950
7	90; 336; 457; 769
8	48; 139; 252; 279; 449; 500; 111
9	162; 343; 496; *55*1; 589; 765; 776; 844
10	164; 533; 722; 891

ВАРІАНТ 46

Перший набір вихідних даних (Експоненціальний розподіл):

285	12	23	182	63	92	132	36	21	386
128	46	27	43	733	120	211	157	208	435
496	169	5	345	69	469	546	445	472	137
253	73	24	673	66	281	12	18	392	546
32	311	108	141	0	68	17	45	47	7
71	95	107	92	91	96	349	47	116	177
80	365	659	13	242	309	0	44	116	30
57	61	227	112	18	55	71	14	27	289
411	26	30	153	543	519	229	284	36	105
29	378	23	278	15	70	95	248	441	222

Другий набір вихідних даних (Гамма-розподіл):

Номер елемента	Моменти відмови на періоді 800 годин
1	164; 736
2	111; 249; 370; 384; 465; 517
3	41; 99; 575; 716
4	247; 399; 493
5	31; 380; 721; 757
6	137; 280; 380; 671
7	19; 468; 501
8	216; 286; 440; 509; 681
9	173; 298; 394; 670; 759
10	47; 142; 523; 636; 679; 757

ВАРІАНТ 47

Перший набір вихідних даних (Рівномірний розподіл):

100	124	168	143	155	137	144	110	107	85
85	92	149	104	124	141	118	168	148	163
154	155	141	175	85	146	146	177	149	161
119	168	165	111	81	98	171	88	122	125
112	165	179	152	126	124	128	102	92	86
120	122	101	170	107	174	103	143	174	92
94	93	124	168	109	85	152	160	159	139
136	155	96	82	173	114	154	114	119	107
123	142	135	170	116	123	100	112	100	173
108	168	132	170	98	159	174	124	134	138

Другий набір вихідних даних (Гамма-розподіл):

Номер елемента	Моменти відмови на періоді 700 годин
1	376; 488; 522; 626
2	369
3	306; 459; 656
4	192; 553
5	417; 685
6	40; 176
7	101; 291; 430
8	519; 635
9	64; 202; 467
10	134; 255; 507

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №2

ДОСЛІДЖЕННЯ НАДІЙНОСТІ ТА РИЗИКУ НЕРЕЗЕРВОВАНИХ ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ

Мета роботи: дослідити показники надійності та ризику нерезервованих технічних систем.

2.1 Постановка задачі

Дано:

- структурна схема системи у вигляді основного (послідовного в розумінні надійності) з’єднання елементів;
- n - кількість елементів системи;
- λ_i- інтенсивність відмови г-го елемента системи, i=1,2,…,n;
- r_i - ризик через відмову г-го елемента системи, i=1,2,...,n;
- R - допустимий ризик;
- T - сумарний час роботи системи.

Визначити:

- показники надійності системи:
  а) $P_c(t)$ - імовірність безвідмовної роботи системи протягом часу t, а також її значення при $t=T$ і $t= T_l$;
  б) T_l - середній час безвідмовної роботи системи;
- $R_c(t)$ - ризик системи як функцію часу; значення ризику при $t=T$ і $t=T_l$;
- можливість розрахунку ризику за наближеною формулою.

Варіанти завдань приведено в розділі 2.5.

2.2 Теоретичні відомості

Основними показниками надійності нерезервованої невідновлювальної системи є:

- $P_c(t)$ - імовірність безвідмовної роботи системи протягом часу t,
- T_l - середній час безвідмовної роботи.

При постійних інтенсивностях відмов елементів

$$P_c(t)=e^{-\lambda_c t},\ T_l=\frac{1}{\lambda_c};$$

де $\lambda_c=\sum_{i-1}^{n}\lambda_i$ - інтенсивність відмови системи.

Ризик системи $R_c(t)$ і $R^*_c(t)$ обчислюються за такими формулами:

$$R_c(t)=\frac{Q_c(t)}{\lambda_c}\sum_{i=1}^{n}\lambda_i r_i\,, \tag{2.1}$$

$$R_c^*(t)=\sum_{i=1}^{n} q_i(t) r_i , \tag{2.2}$$

де $Q_c(t)=1-P_c(t)$ – імовірність відмови системи протягом часу t;

$q(t)$ – імовірність відмови i-го елемента системи протягом часу t.

Формула (2.1) є точною, формула (2.2) - наближеною. Якщо елементи системи рівнонадійні, то відношення $P_c(t)$ до $R^*{}_c(t)$ має вигляд:

$$G_R(t,n)=\frac{R_c(t)}{R_c^*(t)}=\frac{1-e^{-n\lambda t}}{n\cdot\left(1-e^{-\lambda t}\right)} \tag{2.3}$$

$G_R(t,n)$ є спадною функцією часу, при цьому:

$$\lim_{t\to 0} G_R(t,n)=1,\ \lim_{t\to\infty} G_R(t,n)=\frac{1}{n}.$$

Це значить, що зі збільшенням тривалості часу роботи системи похибка наближеної формули збільшується.

2.3 Послідовність виконання роботи

Лабораторну роботу слід виконувати в такій послідовності:

1. Обчислити показники надійності системи $P_c(t)$ та T_l. Значення ймовірності безвідмовної роботи $P_c(t)$ слід отримати при $t=T$ і $t=T_l$.

2. Дослідити функцію ризику системи за точною формулою (2.1), для чого:

- отримати формулу ризику для заданих n, λ_i , r_i;
- дослідити залежність $R_c(t)$, представивши функцію у вигляді графіка і таблиці;
- обчислити значення ризику для вихідних даних свого варіанту при $t=T$ і $t= T_l$,

3. Дослідити залежність $G_R(t,n)$ для припущення, що елементи системи рівнонадійні та інтенсивність відмови кожного елемента дорівнює їх середній інтенсивності відмов, тобто

$$\lambda=\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\lambda_i .$$

4. Зробити висновки.

За результатами лабораторної роботи представляється звіт, в якому обов'язково мусять бути наступні пункти:

1. Постановка завдання.
2. Розрахункові формули.
3. Числові значення показників надійності і ризику досліджуваної системи.
4. Значення часу безперервної роботи системи, при якому забезпечується необхідне значення ризику.

5. Графіки і таблиці функцій ризику.
6. Висновки за результатами досліджень.

2.4 Приклад виконання лабораторної роботи

Нехай дана система з такими вихідними даними:
– число елементів системи n=10;
– час безперервної роботи T=1000 годин;
– допустимий ризик R=5000 ум. од.

Значення ризику та інтенсивностей відмов елементів наведені в табл. 2.1.

Далі наведена послідовність виконання роботи. Дослідження доводити за допомогою універсальної системи символьної математики Derive 6.10.

Таблиця 2.1 - Вихідні дані прикладу

Номери елементів	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$\lambda\cdot10^{-5}$, годин$^{-1}$	1,2	0,8	0,5	1	1,5	0,6	0,09	0,05	1	1,5
r, умов. од.	2000	300	8000	1000	1200	60	5000	6000	100	120

2.4.1. Визначення показників надійності системи

Інтенсивність відмов системи дорівнює $\lambda_c = \sum_{i-1}^{n} \lambda_i$. Підставляючи в цей вираз значення інтенсивностей відмов елементів з табл. 2.1, отримаємо: $\lambda_c = 8{,}24\cdot10^{-5}$ год.$^{-1}$ (технологія обчислення λ_c, за допомогою системи Derive 6.10 наведена далі в розд. 2.4.2).

Тоді імовірність і середній час безвідмовної роботи будуть рівні:

$$P_c(t) = e^{-\lambda_c t} = e^{-8,24\cdot10^{-5}\cdot t},\ T_l = \frac{1}{\lambda_c} = 12136 \text{ год.}$$

При t=T=1000 год.

$$P_c(1000) = e^{-8,24\cdot10^{-5}\cdot10^3} = 0{,}918\,.$$

2.4.2. Визначення ризику системи за точною формулою

Для утворення вектора інтенсивностей відмов і вектора ризику r в системі Derive 5 необхідно виконати наступні дії:

– вибрати пункт меню Author | Vector, на екрані з'явиться вікно Vector Setup;

– ввести розмір вектора (у нашому випадку 10), натиснути кнопку

ОК, на екрані з'явиться вікно введення елементів вектора Auhor 10 element vector;

– ввести інтенсивності відмов елементів (для прискорення процедури вводу значення *X* не множаться на 10^{-5}), після натискання кнопки ОК на екрані в рядку #1 відобразиться вектор інтенсивностей відмов елементів.

Аналогічно утворюється вектор ризику *r*. Нехай він знаходиться в рядку #2.

Обчислення інтенсивності відмов системи λ_c здійснюється за допомогою наступних дій:

– набрати в рядку користувача функцію:

ELEMENT(#1, n),

після натискання клавіші <Enter> на екрані з'явиться функція ELEMENT з вектором інтенсивностей відмов. У функції ELEMENT першим аргументом має бути номер рядка з вектором λ, визначеним раніше, а другим аргументом - символ *n*, а не його чисельне значення;

– клацнути на кнопці Find Sum панелі інструментів, на екрані з'явиться нове вікно Calculus Sum. На вкладці Variable встановити значення п, на вкладці Sum встановити перемикач в положення Definite, на вкладці Definite Sum визначити область сумування (у нашому випадку від 1 (Lower Limit) до 10 (UpperLimit)). Після натискання ОК на екрані відобразиться вираз суми елементів вектора λ_c;

– натиснути кнопку Approximate панелі інструментів, на екрані з'явиться шукане значення суми інтенсивностей відмов елементів. У нашому випадку з урахуванням масштабу (10^{-5})$\lambda_c = 8{,}24 \cdot 10^{-5}$ *год.*$^{-1}$.

Для обчислення суми

$$\sum_{i-1}^{n} \lambda_i r_i$$

необхідно отримати скалярний добуток векторів λ і *r*, які в нашому прикладі знаходяться відповідно під номерами #1 і #2. Для цього в рядку користувача набирається вираз #1 #2, натискаються клавіші <Enter> і кнопка **Approximate** панелі інструментів, на екрані з'являється відповідь $1{,}0506 \cdot 10^{4}$. У нашому випадку з урахуванням масштабу інтенсивностей відмови (10^{-5}) шукана сума дорівнює 0,10506.

Процедури рішення на екрані монітора мають такий вигляд:

```
#1:  [1.2,0.8,0.5,1,1.5,0.6,0.09,0.05,1,1.5]

#2:  [2000,300,8000,1000,1200,60,5000,6000,100,120]

#3:  ELEMENT([1.2,0.8,0.5,1,1.5,0.6,0.09,0.05,1,1.5],n)
```

```
#4:   10
      ∑ ELEMENT([1.2,0.8,0.5,1,1.5,0.6,0.09,0.05,1,1.5],n)
      n=1
#5:
                        8.24
#6:   8.24·10^-5
#7:   [1.2,0.8,0.5,1,1.5,0.6,0.09,0.05,1,1.5]·[2000,300,8000,
       1000,1200,60,5000,6000,100,120]
#8:                     1.0506·10^4
#9:                     0.10506
```

Так як

$$Q_c(t)=1-P_c(t)=1-e^{-\lambda_c t}\quad \lambda_c=8{,}24\cdot 10^{-5},\ \sum_{i-1}^{n}\lambda_i r_i=0{,}10506,$$

то відповідно з (2.1) функція ризику буде дорівнювати:

$$R_c(t)=\frac{1-e^{-8,24\cdot 10^{-5}\cdot t}}{8{,}24\cdot 10^{-5}}\cdot 0{,}10506$$

або

$$R_c(t)=1275\cdot(1-e^{-8,24\cdot 10^{-5}\cdot t}).$$

Обчислення $R_c(t)$ для заданого значення часу безперервної роботи $t=T$ і середнього часу безвідмовної роботи $t=T_l$ виконується за допомогою кнопок Variable Substitute і Approximate панелі інструментів. Для нашого прикладу при t=1000 год. ризик $R_c(1000)$=100,848.

Для $t=T_l$=12136 год. значення ризику $R_c(t)=805{,}953$. З отриманих значень $R_c(t)$ випливає, що ризик досліджуваної системи нижче допустимого значення, яке становить 5000 умовних одиниць.

2.4.3. Дослідження функції ризику

Припускаючи, що всі елементи системи рівнонадійні, а інтенсивність відмови кожного елемента

$$\lambda=\frac{\lambda_c}{n}=0{,}824\cdot 10^{-5}\ \text{год.}^{-1},$$

отримаємо наступний вираз ризику:

$$R_c(t)=\frac{1-e^{-n\lambda t}}{n\cdot\lambda}\sum_{i=1}^{n}\lambda_i r_i=\frac{1-e^{-0,824\cdot 10^{-5}\cdot n\cdot t}}{0{,}824\cdot 10^{-5}\cdot n}\cdot 10506\cdot 10^{-5}=12750\cdot\frac{1-e^{-0,824\cdot 10^{-5}\cdot n\cdot t}}{n}$$

Знайдемо залежність $R_c(t)$ при різних значеннях n у вигляді графіків і таблиць, використовуючи можливості пакета Derive 6.10.

Отримання графіка функції ризику

Побудуємо графіки функції ризику, виконавши такі дії:

– ввести вираз ризику $R_c(t,n)$:

$$\frac{12750\cdot\left(1-e^{-0,824\cdot10^{-5}\cdot n\cdot t}\right)}{n};$$

– отримати вираз ризику для різних значень n шляхом підстановки у вираз ризику чисельних значень n за допомогою кнопки Sub панелі інструментів, на екрані з'явиться вираз ризику (у нашому випадку при n = 10, 30, 50);

– клацнути мишею на кнопці 2D-plot window панелі інструментів, на екрані з'явиться вікно 2D-plot з сіткою координат;

– налаштувати за допомогою клавіш <F5> - <F10> осі координат на потрібний діапазон часу (вісь х) і ризику (вісь у);

– після натискання кнопки Plot Expression панелі інструментів на екрані з'явиться графік функції ризику при даному n;

– клацнути мишею на кнопці Algebra window панелі інструментів графічного вікна, на екрані з'явиться головне вікно системи;

– виділити формулу ризику при новому значенні n (в нашому випадку при n=30) і побудувати графік описаним раніше способом і т.д. На екрані утворюється сімейство графіків (у нашому випадку три графіка при n=10, 30, 50).

Далі наводяться процедури утворення функцій ризику і відповідних їм графіків (рис. 2.1):

#1: $$\frac{12750\cdot(1-\hat{e}^{-0.824\cdot10^{-5}\cdot n\cdot t})}{n}$$

#2: $$\frac{12750\cdot(1-\hat{e}^{-0.824\cdot10^{-5}\cdot 10\cdot t})}{10}$$

#3: $$\frac{12750\cdot(1-\hat{e}^{-0.824\cdot10^{-5}\cdot 30\cdot t})}{30}$$

#4: $$\frac{12750\cdot(1-\hat{e}^{-0.824\cdot10^{-5}\cdot 50\cdot t})}{50}$$

З рисунку видно, що з збільшенням часу t роботи системи техногенний ризик функціонування системи збільшується і при $t\to\infty$ прагне до постійної величини, рівною середньому значенню ризику.

Представлення функції ризику у вигляді таблиці

При виконанні попередніх дій для побудови графіка на екрані отримано вираз ризику. Припустимо, що воно знаходиться в рядку `#1`. Тоді функцію ризику у вигляді таблиці можна отримати шляхом табуляції функції $R_c(t)$.

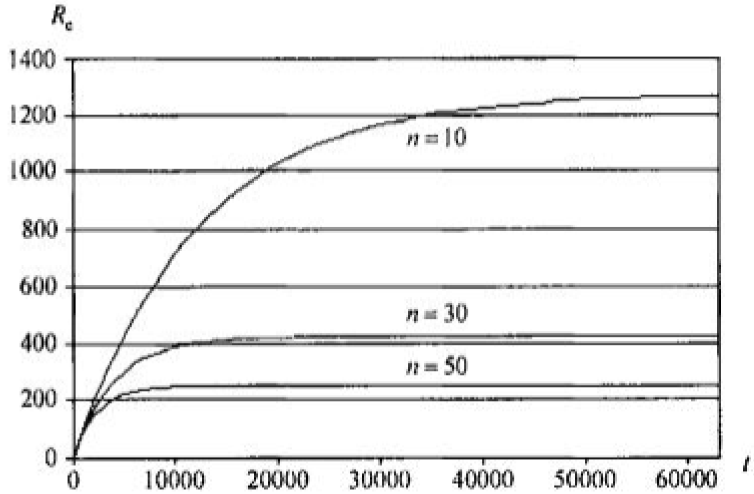


Рисунок 2.1 - Залежність ризику від часу при різних значеннях n

```
TABLE ([t,#1], t, tn, tk, dt)
```

У рядку користувача набирається функція табулювання:

```
TABLE ([t,#1], t, 0, 12136, 1500),
```

де `t` - аргумент функції ризику; `tn`, `tk`, `dt` - відповідно початкове, кінцеве значення часу t і крок зміни t. У нашому випадку `tn=0`, `tk` вибираємо рівним середньому часу безвідмовної роботи `tk = T = 12136 год`. Виберемо крок таблиці `dt=1500`. Тоді функція буде мати вигляд:

$$\#1: \quad \frac{12750\cdot(1-\hat{e}^{-n\cdot\lambda\cdot t})}{n}$$

$$\#2: \quad \frac{12750\cdot(1-\hat{e}^{-10\cdot(0.824\cdot10^{-5})\cdot t})}{10}$$

$$\#3: \quad \text{TABLE}\left(\frac{12750\cdot(1-\hat{e}^{-10\cdot(0.824\cdot10^{-5})\cdot t})}{10}, t, 1000, 10000, 1000\right)$$

Після введення функції потрібно натиснути кнопку Approximate панелі інструментів. Процедури табуляції і підсумкова таблиця при n=*10* на екрані монітора мають наступний вигляд:

$$\#4: \quad \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 1500 & 148.2400890 \\ 3000 & 279.2447867 \\ 4500 & 395.0179957 \\ 6000 & 497.3306315 \\ 7500 & 587.7477110 \\ 9000 & 667.6522918 \\ 1.05\cdot10^4 & 738.2666278 \\ 1.2\cdot10^4 & 800.6708653 \end{bmatrix}$$

З рядка # 4 видно, що ризик зростає з збільшенням часу функціонування системи *t*. Так, наприклад, з збільшенням *t* з 1500 до 12000 годин ризик збільшується приблизно з 150 до 800 умовних одиниць.

Визначення критичного часу роботи системи

Тому що $R_c(t)$ зростає з зростанням *t,* становить інтерес встановити граничний час, вище якого ризик буде перевищувати допустиме значення. Рішення задачі зводиться до визначення кореня рівняння

$$R = \frac{Q_c(\tau)}{\lambda_c}\sum_{i=1}^{n}\lambda_i r_i$$

Тому, що в даному випадку

$$\sum_{i=1}^{n}\lambda_i r_i = 10506\cdot 10^{-5}\ ,\ \ \lambda_c = 8{,}24\cdot 10^{-5}\,\text{год.}^{-1},\ R{=}5000\ ,$$

то, підставляючи ці значення в останній вираз, отримаємо:

$$5000 = 1275\cdot\left(1 - e^{-8{,}24\cdot 10^{-4}\cdot\tau}\right).$$

Розв’язуючи це рівняння за допомогою функції **SOLVE**, отримаємо критичне значення т. У нашому прикладі дійсного кореня немає. Це означає, що при довільному *t* ризик системи не перевершує допустимого значення.

2.4.4. Дослідження залежності $G_R(t,n)$

Для аналізу залежності $G_R(t,n)$ представимо цю функцію у вигляді графіків і таблиць. Графіки дозволять зробити якісний аналіз, а таблиці - кількісний. Далі описуються процедури представлення функцій у вигляді графіків і таблиць за допомогою системи Derive 6.10.

Побудова графіків $G_R(t,n)$

Припустимо, що система складається з *n* рівнонадійних елементів, кожен з яких має інтенсивність відмов λ. Тоді функція $G_R(t,n)$ буде виражатися формулою (2.3). Підставимо в цю формулу значення λ=0,824-10^{-5}год$^{-1}$ і наберемо формулу в рядку користувача. Побудова графіків здійснюється так, як було описано в розд. 2.4.3.

Побудуємо графіки для 3 - 4 значень *n*, наприклад для *n,* 3*n,* 5*n*, де *n* - кількість елементів системи. В результаті отримаємо сімейство кривих (рис. 2.2), З яких можна зробити два важливих висновки:

1. Чим більше елементів п і чим більший час роботи системи, тим більша похибка наближеної формули.
2. Наближеною формулою можна користуватися в тому випадку, коли час роботи системи малий і ризик, обчислений за наближеною формулою, не перевищує допустимого значення.

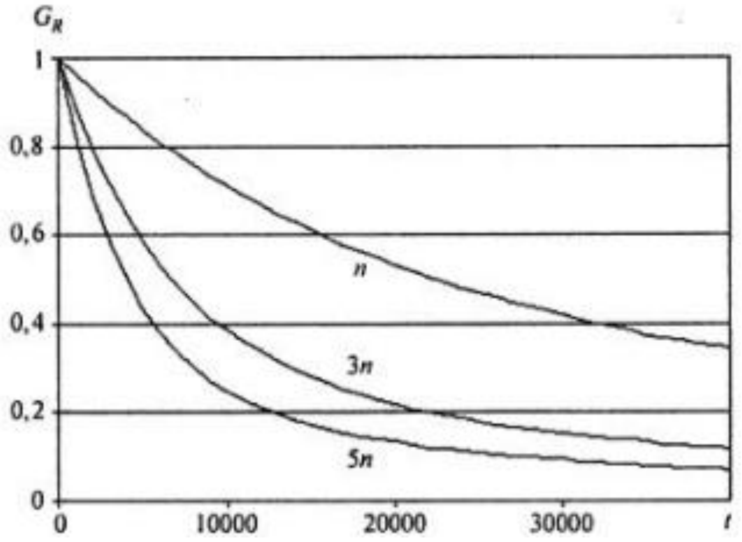


Рисунок 2.2 - Графік функції $G_R(t,n)$

Представлення функції G_R(t,n) у вигляді таблиці

Представлення функції у вигляді таблиці виконаємо за допомогою функції VECTOR в такій послідовності:

– ввести вираз (2.3);

– присвоїти змінній λ середнє значення (у нашому прикладі λ=0,824-10^{-5}год.$^{-1}$); привласнення здійснюється за допомогою кнопки **Substitute** панелі інструментів;

– присвоїти змінній *n* значення *n* = 10, 30, 50. На екрані з'являться три вирази. Нехай ці вирази знаходяться на рядках #2, #3, #4;

– ввести функцію:

```
VECTOR([t,#2,#3,#4], t, tn, tk, dt).
```

У нашому прикладі `tn = 1000, tk =` T_1 `= 10000, dt = 1000`, тоді команда буде мати вигляд:

```
VECTOR( [t,#2,#3,#4] , 1000, 10000, 1000);
```

– натиснути кнопку **Approximate**, на екрані з'явиться розв’язок у вигляді таблиці.

Обчислювальні процедури і підсумкова таблиця мають такий вигляд:

#1: $$\frac{1-\hat{e}^{-n\cdot\lambda\cdot t}}{n\cdot(1-\hat{e}^{-\lambda\cdot t})}$$

#2: $$\frac{1-\hat{e}^{-10\cdot(0.824\cdot10^{-5})\cdot t}}{10\cdot(1-\hat{e}^{-(0.824\cdot10^{-5})\cdot t})}$$

3: $$\frac{1-\hat{e}^{-30\cdot(0.824\cdot10^{-5})\cdot t}}{30\cdot(1-\hat{e}^{-(0.824\cdot10^{-5})\cdot t})}$$

#4: $$\frac{1-\hat{e}^{-50\cdot(0.824\cdot10^{-5})\cdot t}}{50\cdot(1-\hat{e}^{-(0.824\cdot10^{-5})\cdot t})}$$

#5: $$\mathrm{VECTOR}\left(\left[t, \frac{1-\hat{e}^{-10\cdot(0.824\cdot10^{-5})\cdot t}}{10\cdot(1-\hat{e}^{-(0.824\cdot10^{-5})\cdot t})}, \frac{1-\hat{e}^{-30\cdot(0.824\cdot10^{-5})\cdot t}}{30\cdot(1-\hat{e}^{-(0.824\cdot10^{-5})\cdot t})}, \frac{1-\hat{e}^{-50\cdot(0.824\cdot10^{-5})\cdot t}}{50\cdot(1-\hat{e}^{-(0.824\cdot10^{-5})\cdot t})}\right], t, 1000, 10000, 1000\right)$$

#6: $$\begin{bmatrix} 1000 & 0.9638689494 & 0.8896403810 & 0.8229826665 \\ 2000 & 0.9295636973 & 0.7954817751 & 0.6868502286 \\ 3000 & 0.8969810018 & 0.7148703099 & 0.5811172570 \\ 4000 & 0.8660238341 & 0.6456139387 & 0.4981476918 \\ 5000 & 0.8366009899 & 0.5858989249 & 0.4323514074 \\ 6000 & 0.8086267264 & 0.5342218372 & 0.3796132168 \\ 7000 & 0.7820204206 & 0.4893341167 & 0.3368857825 \\ 8000 & 0.7567062512 & 0.4501968454 & 0.3018984066 \\ 9000 & 0.7326129002 & 0.4159437960 & 0.2729479655 \\ 10^4 & 0.7096732736 & 0.3858512133 & 0.2487482452 \end{bmatrix}$$

З таблиці видно, що функція $G_R(t,n)$ є спадною. Це означає що із збільшенням часу і збільшенням кількості елементів похибки наближеної формули зростає.

Визначимо граничні значення функції $G_R(t,n)$, скориставшись кнопкою **Find Limit (lim)** панелі інструментів.

Межі існують, якщо змінні n і λ додатні і значення n скінченні. Вкажемо це програмі за допомогою пункту меню **Declare | Variable Domain**. Процедури рішення мають вигляд

#1: $\dfrac{1-\hat{e}^{-n\cdot\lambda\cdot t}}{n\cdot(1-\hat{e}^{-\lambda\cdot t})}$

#2: $\lambda :\in \mathrm{Real}[0,\infty)$

#3: $n :\in \mathrm{Real}[1,1000]$

#4: $\lim\limits_{t\to 0+} \dfrac{1-\hat{e}^{-n\cdot\lambda\cdot t}}{n\cdot(1-\hat{e}^{-\lambda\cdot t})}$

#5: 1

#6: $\lim\limits_{t\to \infty} \dfrac{1-\hat{e}^{-n\cdot\lambda\cdot t}}{n\cdot(1-\hat{e}^{-\lambda\cdot t})}$

#7: $\dfrac{1}{n}$

Таким чином, граничне значення похибки наближеної формули дорівнює $1/n$.

2.5 Варіанти завдань до лабораторної роботи

В завданнях прийняті наступні позначення:

– T - сумарний час роботи системи, год.;
– R - допустимий ризик, умов. од.;
– λ_i - інтенсивність відмов *і-го* елемента, год $^{-1}$;
– r_i - ризик системи через відмову і-го елемента, умов. од.

ВАРІАНТ 1

Номери елементів	1	2	3	4	5	6	7	8
$\lambda\cdot10^{-5}$, годин$^{-1}$	1,1	0,5	3	4,2	3,6	2,1	4,4	4,8
r, умов. од.	2500	6000	3000	2850	6180	4200	680	1000

T = 1500 год., R = 8000 умов. од.

ВАРІАНТ 2

Номери елементів	1	2	3	4	5	6	7	8
$\lambda\cdot10^{-5}$, годин$^{-1}$	2,6	3,2	6,4	1,2	3	1,8	5,1	4,2
r, умов. од.	6800	9200	2000	20000	9200	1000	2100	600

T = 1200 год., R = 5000 умов. од.

ВАРІАНТ 3

Номери елементів	1	2	3	4	5	6	7	8
$\lambda \cdot 10^{-5}$, годин$^{-1}$	0,5	0,2	1	1,2	0,6	2,1	1,2	0,7
r, умов. од.	12000	8000	6000	560	3200	7600	10000	770

T = 2500 год., R = 3200 умов. од.

ВАРІАНТ 4

Номери елементів	1	2	3	4	5	6	7	8
$\lambda \cdot 10^{-5}$, годин$^{-1}$	0,2	0,8	2,3	0,1	0,5	1,2	3,4	0,7
r, умов. од.	1200	2600	3000	14000	4500	9000	3500	2750

T = 3800 год, R = 5000 умов. од.

ВАРІАНТ 5

Номери елементів	1	2	3	4	5	6	7	8
$\lambda \cdot 10^{-5}$, годин$^{-1}$	1,1	2,3	4,7	0,6	5	4,8	3,2	2,6
r, умов. од.	2500	2600	1800	16000	4000	2600	1200	860

T = 4000 год., R = 4800 умов. од.

ВАРІАНТ 6

Номери елементів	1	2	3	4	5	6	7	8
$\lambda \cdot 10^{-5}$, годин$^{-1}$	1,2	0,8	1,6	0,2	0,1	0,05	6,2	2,4
r, умов. од.	6800	2400	3200	670	5000	20000	360	780

T = 4200 год., R = 3850 умов. од.

ВАРІАНТ 7

Номери елементів	1	2	3	4	5	6	7	8
$\lambda \cdot 10^{-5}$, годин$^{-1}$	3,2	0,1	1	0,7	1,2	0,3	0,1	1,2
r, умов. од.	368	680	12000	7000	3200	1200	590	1050

7=5000 год, R=860 умов. од.

Далі наводяться варіанти завдань з 8 по 25, в яких зазначено, з яких наведених раніше варіантів з 1 по 7 отримано значення λ_i, r_i, T, R.

ВАРІАНТИ 8 — 16

Номери елементів	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Номер варіанту *для* λ_i	1	2	3	4	5	6	7	1	2
Номер варіанту *для* r_i, T, R	7	6	5	3	2	1	4	6	5

ВАРІАНТИ 17—25

Номери елементів	17	18	19	20	21	22	23	24	25
Номер варіанту *для* λ_i	3	5	5	6	7	1	3	3	4
Номер варіанту *для* r_i, T, R	4	1	1	3	5	2	6	7	1

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 3

МЕТОДИ РОЗРАХУНКУ НАДІЙНОСТІ СИСТЕМ ЗІ СТРУКТУРНОЮ НАДМІРНІСТЮ БЕЗ ВІДНОВЛЕННЯ

Мета: набуття практичного досвіду розрахунку надійності складних технічних систем.

Теоретичні відомості

3.1 Системи з послідовним з'єднанням елементів

Системою з *послідовним з'єднанням елементів* називається система, в якій відмова будь-якого елемента призводить до відмови всієї системи. Таке з'єднанням елементів в техніці зустрічається найчастіше, тому його називають *основним з'єднанням*.

В системі з послідовним з'єднанням для безвідмовної роботи протягом деякого напрацювання t необхідно й достатньо, щоб кожен з її n елементів працював безвідмовно протягом цього напрацювання. Вважаючи відмови елементів незалежними, ймовірність одночасної безвідмовної роботи n елементів визначається за теоремою добутку ймовірностей: ймовірність сумісної появи незалежних подій дорівнює добутку ймовірностей цих подій:

$$P(t) = p_1(t)\,p_2(t)...p_n(t) = \prod_{i=1}^{n} p_i(t) = \prod_{i=1}^{n}(1-q_i(t)) \tag{3.1}$$

(надалі аргумент t в дужках, що показує залежність показників надійності від часу, опускається для скорочення запису формул). Відповідно, ймовірність відмови такої ТС

$$Q = 1-P = 1-\prod_{i=1}^{n} p_i = 1-\prod_{i=1}^{n}(1-q_i). \tag{3.2}$$

Якщо система складається з рівнонадійних елементів ($p_i = p$), то

$$P = p_i^n, \quad Q = 1-(1-q)^n. \tag{3.3}$$

Інтенсивність відмов λ_c, що визначається з виразу $P(t) = e^{-\lambda_c t}$, та середнє напрацювання на відмову T_0, якщо відома ймовірність безвідмовної роботи $P(t)$ елементів протягом часу t дорівнюють відповідно:

$$\lambda_c = -\frac{\ln P(t)}{t};$$

$$T_0 = \frac{1}{\lambda_c}.$$

3.2. Системи з паралельним з'єднанням елементів

Системою з *паралельним з'єднанням елементів* називається система, відмова якої відбувається тільки у випадку відмови всіх її елементів. Такі схеми надійності характерні для ТС, в яких елементи дублюються або резервуються, тобто паралельне з’єднання використовується як метод підвищення надійності. Але такі системи зустрічаються й самостійно.

Для відмови системи з паралельним з’єднанням елементів протягом наробітку t необхідно й достатньо, щоб всі її елементи відмовили протягом цього наробітку. Так що відмова системи полягає в сумісній відмові всіх елементів, ймовірність чого (за припущення незалежних відмов) може бути знайдена за теоремою добутку ймовірностей як добуток ймовірностей відмов елементів:

$$Q = q_1 q_2 ... q_n = \prod_{i=1}^{n} q_i = \prod_{i=1}^{n} (1 - p_i). \tag{3.4}$$

Відповідно, ймовірність безвідмовної роботи дорівнює:

$$P = 1 - Q = 1 - \prod_{i=1}^{n} q_i = 1 - \prod_{i=1}^{n} (1 - p_i). \tag{3.5}$$

Для систем з рівнонадійних елементів ($p_i = p$)

$$Q = q^n \quad , \quad P = 1 - (1 - p)^n, \tag{3.6}$$

тобто, надійність системи з паралельним з’єднанням зростає при збільшенні кількості елементів.

3.3. Складні системи

Складні системи поділяються на системи з послідовно-паралельними зв’язками; системи, які мають елементи типу “ трикутник” або “зірка”; системи з перехресними зв’язками.

Розглянемо основні методи визначення показників надійності для вищезгаданих структур складних систем за умови, що відновлення елементів, які вийшли з ладу, неможливе.

Метод згортки. Дуже часто зустрічаються послідовно-паралельні структури складних систем. Для таких структур ефективним методом є метод згортки. Цей метод заснований на послідовному перетворенні структури системи та зведенні її до основного поєднання елементів. Розглянемо цей метод на прикладі схеми, яка зображена на рисунку 3.1.

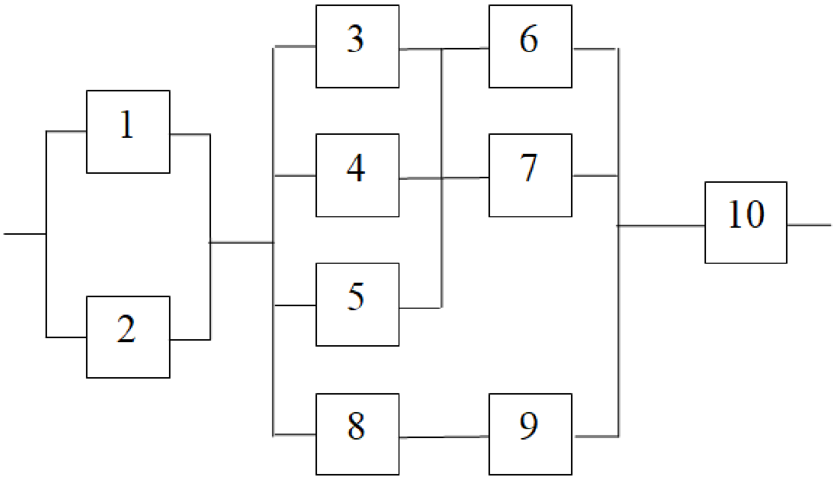


Рисунок 3.1 - Схема складної системи

Метод згортки складається з кількох етапів.

На *першому етапі* розглядаються всі паралельні з’єднання, які замінюються еквівалентними елементами з відповідними показниками надійності. У нашому випадку такими паралельними елементами є: 1 та 2; 3, 4 та 5; 6 та 7. Після першого етапу перетворена схема має вигляд (рис. 3.2).

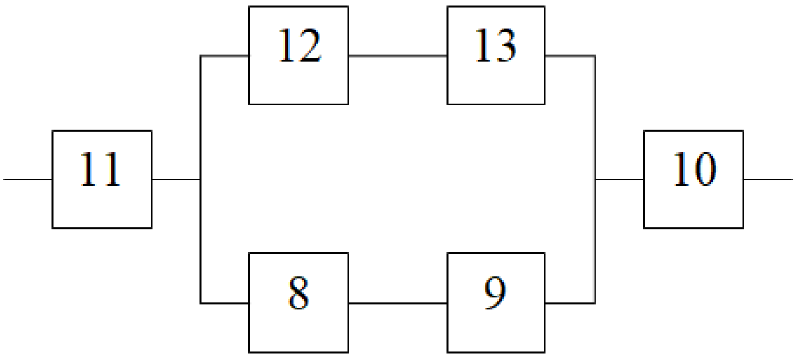


Рисунок 3.2 - Еквівалентна схема після першого етапу перетворення

Характеристики надійності елементів схеми дорівнюють:

$p_{11} = 1 - (1 - p_1)(1 - p_2)$,

$p_{12} = 1 - (1 - p_3)(1 - p_4)(1 - p_5)$,

$p_{13} = 1 - (1 - p_6)(1 - p_7)$.

На *другому етапі* розглядаються всі послідовні елементи, які замінюються еквівалентними. У прикладі це елементи: 8 та 9; 12 та 13. Схема набуває вигляду згідно рисунку 3.3.

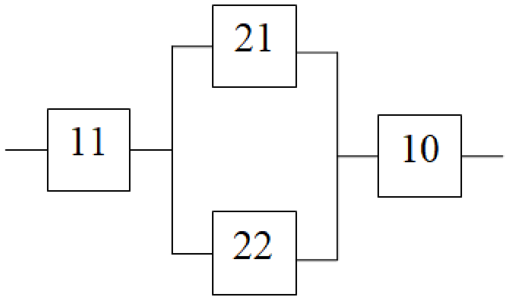


Рисунок 3.3 - Еквівалентна схема після другого етапу перетворення

Характеристики надійності елементів після другого етапу:

$$p_{21} = [1-(1-p_3)(1-p_4)(1-p_5)][1-(1-p_6)(1-p_7)],$$
$$p_{22} = p_8 p_9 .$$

На *третьому етапі* знову розглядаються всі паралельні з’єднання, які замінюються еквівалентними.

Це елементи 21 та 22. Схема набуває вигляду згідно рисунку 3.4.

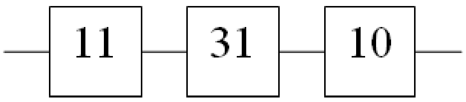


Рисунок 3.4. Еквівалентна схема після третього етапу перетворення

Характеристики надійності:

$$p_{31} = 1-(1-p_{21})(1-p_{22}) =$$
$$= 1-\{1-[1-(1-p_3)(1-p_4)(1-p_5)][1-(1-p_6)(1-p_7)]\}(1-p_8 p_9).$$

В результаті усіх перетворень отримаємо послідовне з’єднання елементів. На *четвертому етапі* для послідовної структури системи визначаємо ймовірність її безвідмовної роботи

$$p_c = p_{11} p_{31} p_{10} .$$

Як бачимо з прикладу, метод згортки є дуже ефективним методом визначення показників надійності послідовно-паралельних структур складних систем без відновлення. Кількість елементів мало впливає на складність проведення розрахунків. Недоліком методу є його обмеженість паралельно-послідовними схемами. Наприклад, показники надійності місткової структури за допомогою вказаного методу визначити неможливо.

Одним з методів визначення характеристик надійності подібних структур є метод перетворення окремих підструктур системи в структури типу “зірка” або “трикутник”.

Процес перетворення здійснюється таким чином. При переході від “зірки” до “трикутника” виділяють три елементи, що сполучені зіркою, та проставляють точки 1, 2 та 3 (рис. 3.5).

Потім сполучають відмічені точки лініями, на яких розміщують елементи (на рисунку 4.5 зв'язки точок показані штриховою лінією). Розпочинаючи обхід отриманого трикутника з точки 1 по ходу зростання номерів точок, відмітимо нові елементи. Номер елементу утворюється з двох цифр: перша цифра - номер вузла, з якого здійснюємо вхід в елемент; друга цифра - номер вузла, на який виходимо з елементу.

При переході від “трикутника” до “зірки” вибираємо три елементи, що утворюють трикутник, та помічаємо вузлові точки (рисунок 3.6). Потім здійснюємо обхід трикутника з точки 1 по ходу зростання номерів та відмічаємо елементи відповідно до правила, вказаного вище. Далі в середині трикутника відмічаємо точку 4, до якої під'єднуємо зв'язки з новими елементами від відмічених точок (на рисунку 3.6 показані штриховими лініями).

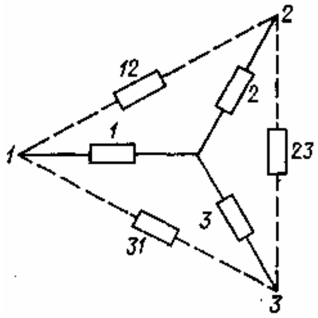


Рисунок 3.5 - Перетворення “зірки” в “трикутник”

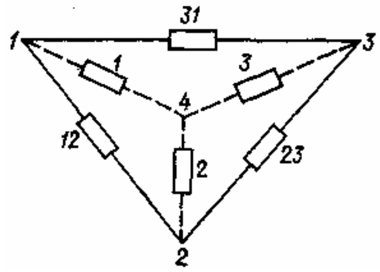


Рисунок 3.6 - Перетворення “трикутника” в “зірку”

При перетворенні “трикутника” в “зірку” або навпаки необхідно домагатися отримання послідовно-паралельної схеми, розрахунок надійності якої здійснюється методом згортки.

Приклад виконання завдання

Завдання. Визначити інтенсивність відмов λ_c та середнє напрацювання на відмову T_0, якщо відома ймовірність безвідмовної роботи $P(t)$ елементів протягом часу $t = 10$ год.:

$P_1 = 0{,}5$; $P_2 = 0{,}6$; $P_3 = 0{,}7$; $P_4 = 0{,}8$;

$P_5 = 0{,}85$; $P_6 = 0{,}9$; $P_7 = 0{,}92$; $P_8 = 0{,}94$.

Структурна схема системи приведена на рисунку 4.7.

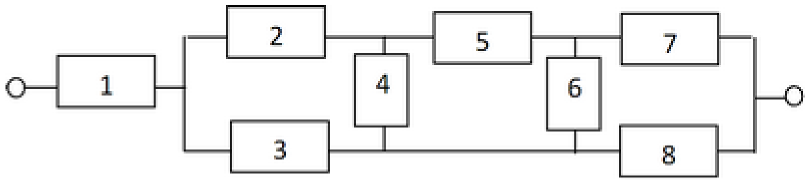


Рисунок 3.7 - Структурна схема системи

Розв'язок. Перетворимо місткову схему (рис. 3.7) в схему послідовно-паралельного типу.

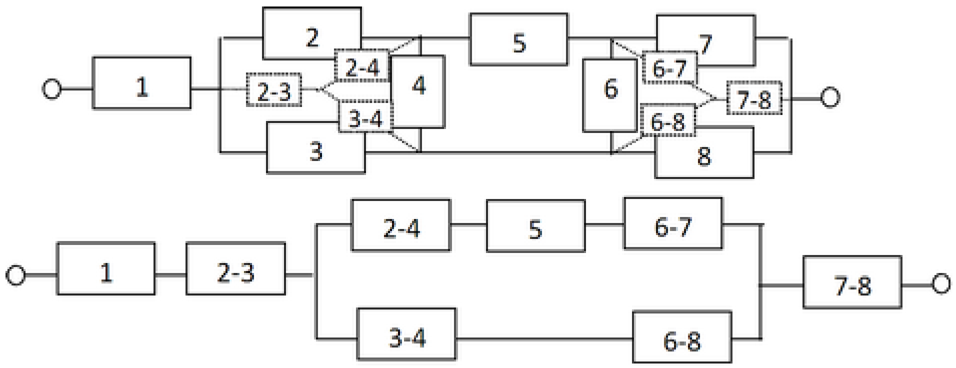


Рисунок 3.7 - Перший етап: перетворення "трикутника" в "зірку"

Обчислимо ймовірності відмови елементів "зірки" всієї структури:
$q_{2,3} = q_2 q_3 = (1\text{-}P_2)(1\text{-}P_3) = (1\text{-}0{,}6)(1\text{-}0{,}7) = 0{,}40{,}3 = 0{,}12;$
$P_{2,3} = 1\text{-}\ q_{2,3} = 1\text{-}0{,}12 = 0{,}88;$
$q_{2,4} = q_2 q_4 = (1\text{-}P_2)(1\text{-}P_4) = (1\text{-}0{,}6)(1\text{-}0{,}8) = 0{,}40{,}2 = 0{,}08;$
$P_{2,4} = 1\text{-}\ q_{2,4} = 1\text{-}0{,}08 = 0{,}92;$
$q_{3,4} = q_3 q_4 = (1\text{-}P_3)(1\text{-}P_4) = (1\text{-}0{,}7)(1\text{-}0{,}8) = 0{,}30{,}2 = 0{,}06;$
$P_{3,4} = 1\text{-}\ q_{3,4} = 1\text{-}0{,}06 = 0{,}94;$
$q_{6,7} = q_6 q_7 = (1\text{-}P_6)(1\text{-}P_7) = (1\text{-}0{,}9)(1\text{-}0{,}92) = 0{,}10{,}08 = 0{,}008;$
$P_{6,7} = 1\text{-}\ q_{6,7} = 1\text{-}0{,}008 = 0{,}992;$
$q_{7,8} = q_7 q_8 = (1\text{-}P_7)(1\text{-}P_8) = (1\text{-}0{,}92)(1\text{-}0{,}94) = 0{,}080{,}06 = 0{,}048;$
$P_{7,8} = 1\text{-}\ q_{7,8} = 1\text{-}0{,}0048 = 0{,}9952.$

Отже, отримано $P_{2,3}$ = 0,88; $P_{2,4}$ = 0,92; $P_{3,4}$ = 0,94; $P_{6,7}$ = 0,992; $P_{7,8}$ =0,9952.
Знайдемо ймовірність безвідмовної роботи та відмов ланок послідовної та паралельної частин:

$P_{2\text{-}4,5,6\text{-}7} = P_{2\text{-}4}\, P_5\, P_{6\text{-}7} = 0{,}92\cdot\ 0{,}85\cdot 0{,}992 = 0{,}775744;$
$q_{2\text{-}4,5,6\text{-}7} = 1\text{-}\ P_{2\text{-}4,5,6\text{-}7} = 1\text{-}0{,}775744 = 0{,}224256;$
$P_{3\text{-}4,6\text{-}8} = P_{3\text{-}4}\, P_{6\text{-}8} = 0{,}94\cdot 0{,}994 = 0{,}93436;$
$q_{3\text{-}4,6\text{-}8} = 1\text{-}\ P_{3\text{-}4,6\text{-}8} = 1\text{-}0{,}93436 = 0{,}6564;$
$q_{2\text{-}4,5,6\text{-}7;3\text{-}4,6\text{-}8} = (1\text{-}\ P_{2\text{-}4,5,6\text{-}7})(1\text{-}\ P_{3\text{-}4,6\text{-}8}) = 0{,}01472;$
$P_{2\text{-}4,5,6\text{-}7;3\text{-}4,6\text{-}8} = 1\text{-}\ q_{2\text{-}4,5,6\text{-}7;3\text{-}4,6\text{-}8} = 0{,}985.$

Обчислимо ймовірність безвідмовної роботи всієї системи:

$P_c(t)= P_1\, P_{2\text{-}3}\, P_{2\text{-}4,5,6\text{-}7;3\text{-}4,6\text{-}8}\, P_{7\text{-}8} = 0,5 \cdot 0,88 \cdot 0,985 \cdot 0,9952 = 0,4314422.$

Визначимо інтенсивність відмов λ_c та середнє напрацювання на відмову T_0. Оскільки t = 10 год, то

$$\lambda_c = -\frac{\ln 0,4314422}{10} = 0,0841 \quad год^{-1};$$

$$T_0 = \frac{1}{\lambda_c} = \frac{1}{0,0841} = 11,896 \quad год.$$

Отже, в результаті виконання завдання були отримані наступні значення показників надійності:

$\lambda_c = 0,0841\ год^{-1};$

$T_0 = 11,896\ год;$

$P_c(t=10\ год) = 0,431.$

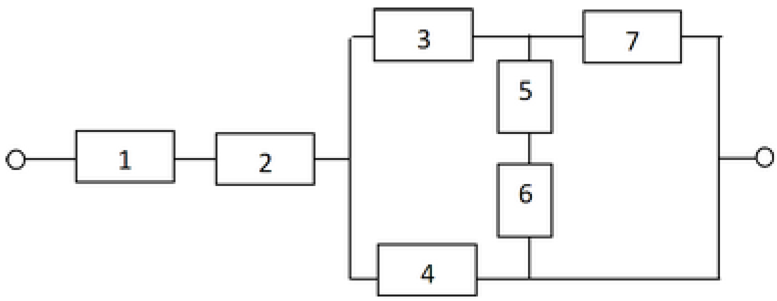
ЗАВДАННЯ

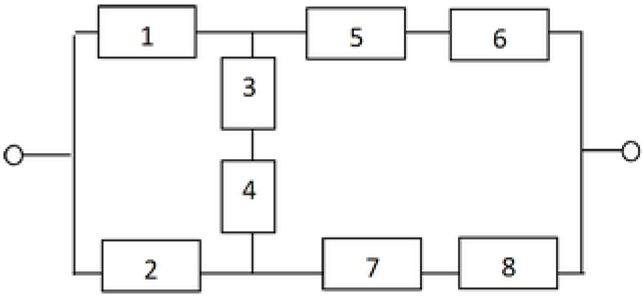
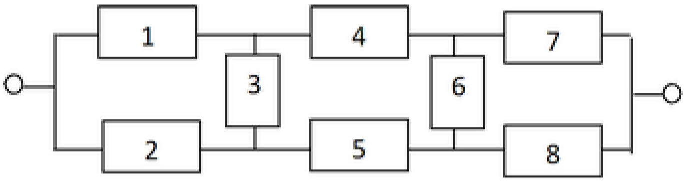
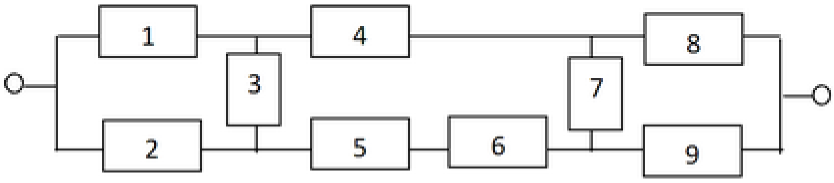
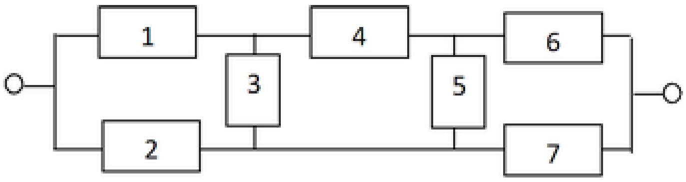
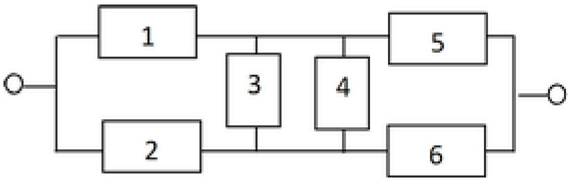
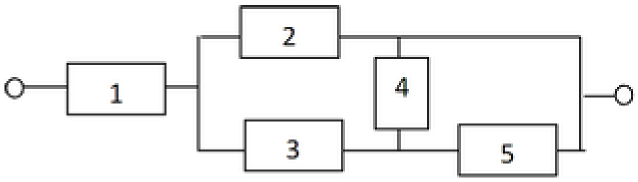
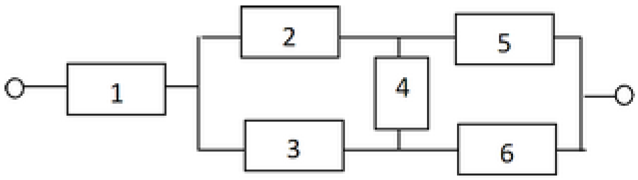
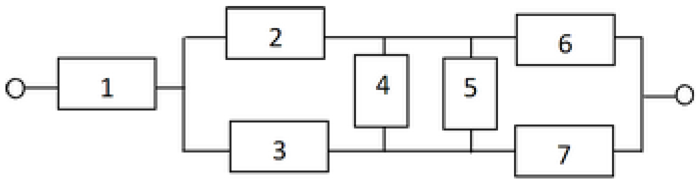
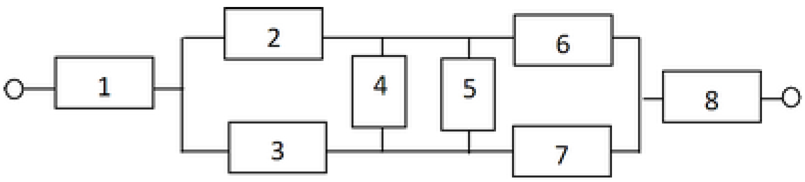
Визначити показники інтенсивності відмов λ_c та середнє напрацювання на відмову T_0 якщо відомі ймовірності безвідмовної роботи елементів за час t = 10 год:

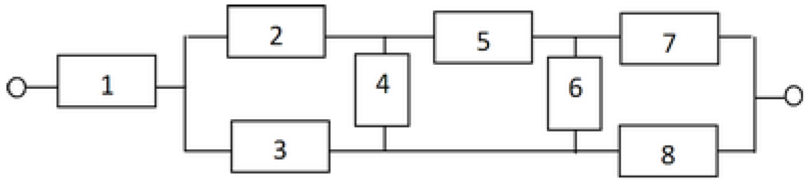
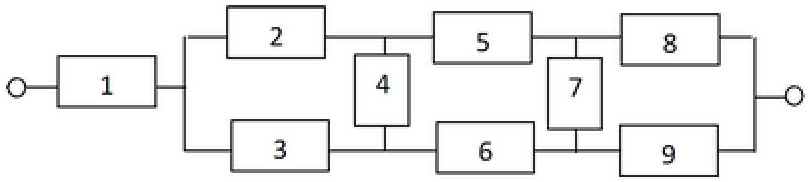
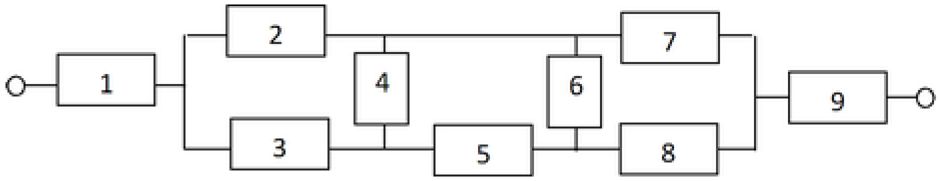
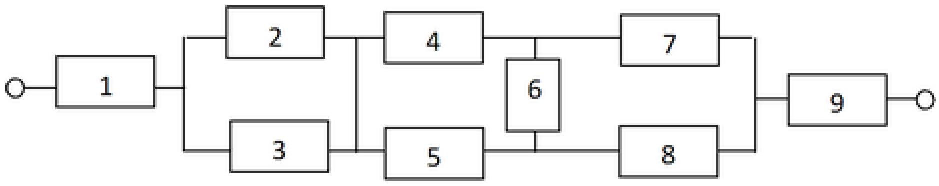
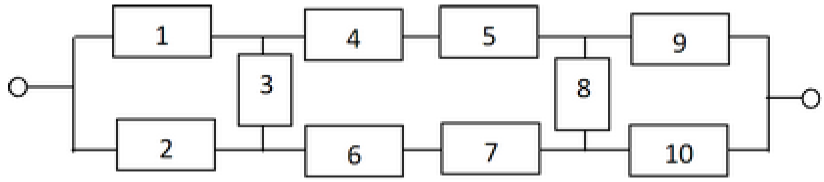
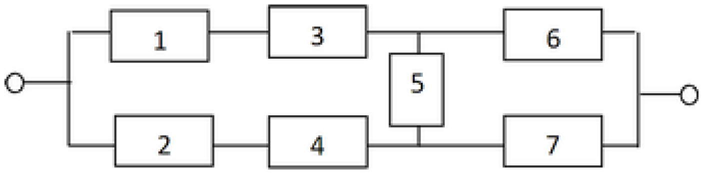
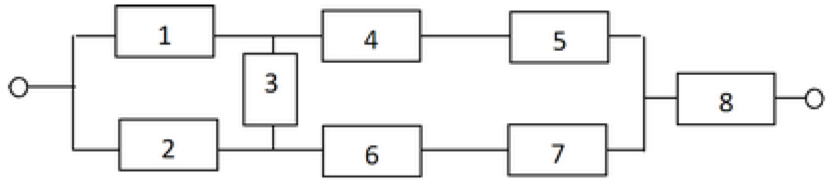
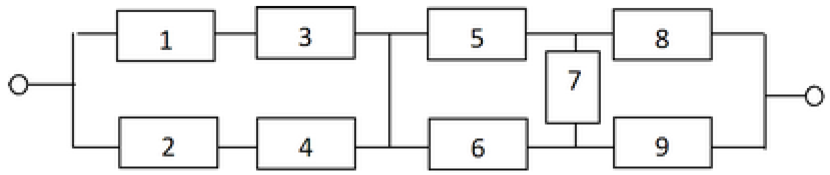
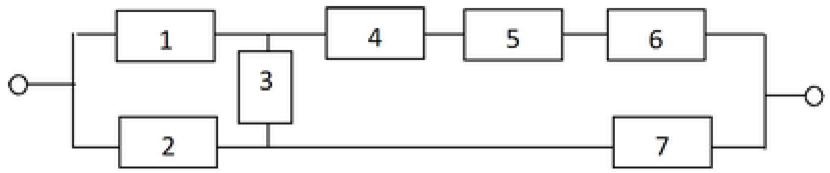
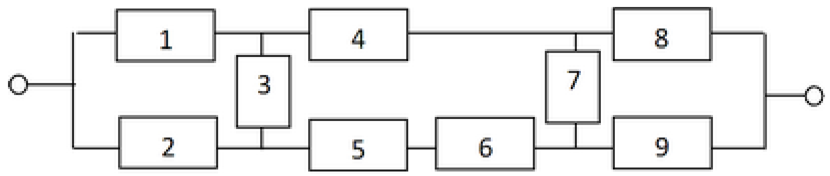
P_1 = 0,5; P_2 = 0,6; P_3 = 0,7; P_4 = 0,8; P_5 = 0,85;
P_6 = 0,9; P_7 = 0,92; P_8 = 0,94; P_9 = 0,96; P_{10} = 0,97.

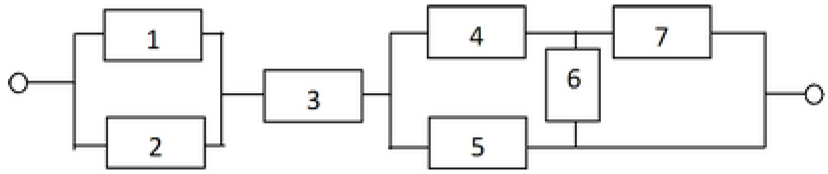
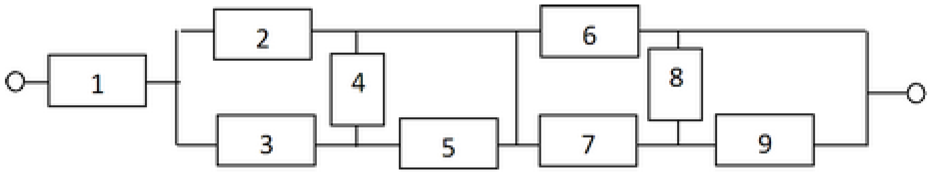
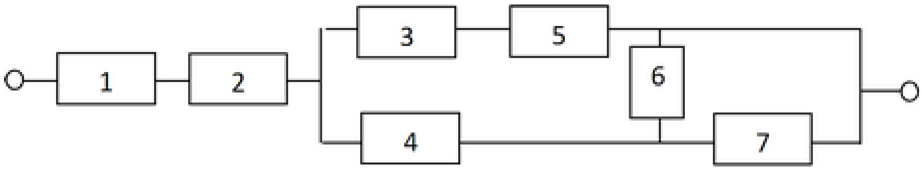
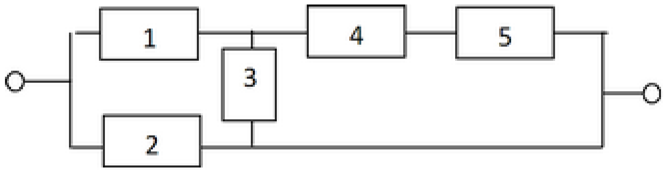
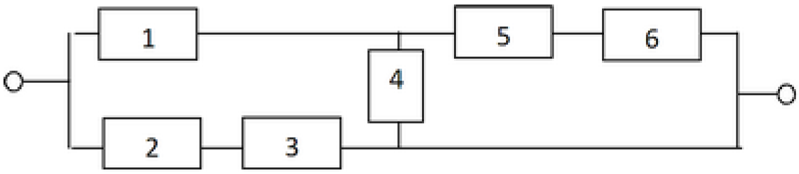
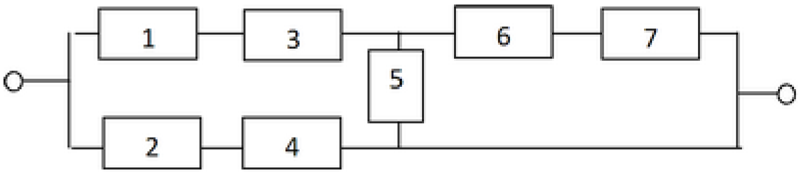
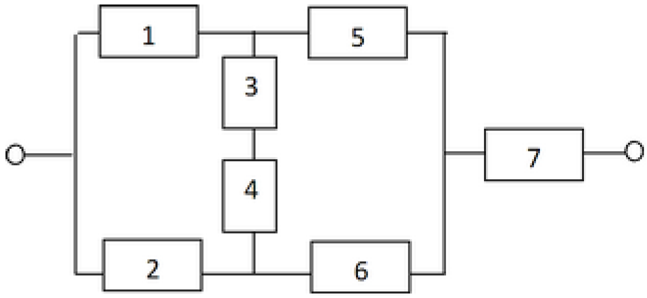
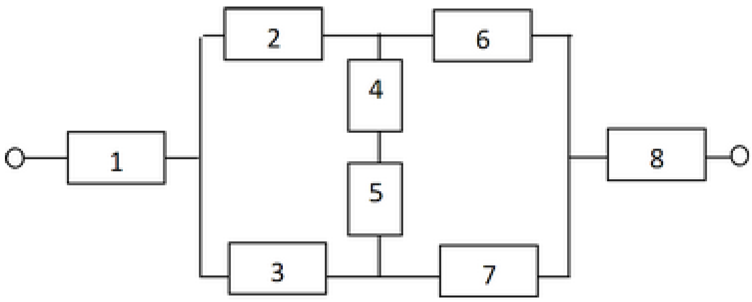
Варіанти структур, що містять вузли типу “трикутник”, наведені в таблиці 3.1.

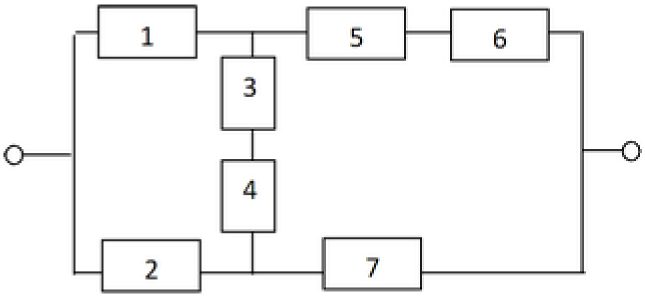
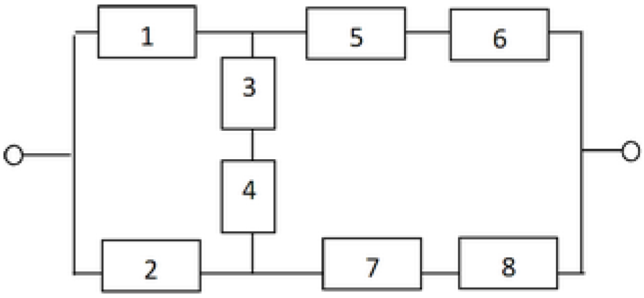
Таблиця 3.1. Варіанти структур

№ варіанта	Структури, що містять вузли типу “трикутник”
1.	

2.	 1 5 6 3 4 2 7 8
3.	 1 4 7 3 6 2 5 8
4.	 1 4 8 3 7 2 5 6 9
5.	 1 4 6 3 5 2 7
6.	 1 5 3 4 2 6
7.	 2 1 4 3 5
8.	 2 5 1 4 3 6
9.	 2 6 1 4 5 3 7
10.	 2 6 1 4 5 8 3 7

11.	
12.	
13.	
14.	
15.	
16.	
17.	
18.	
19.	
20.	

21.	
22.	
23.	
24.	
25.	
26.	
27.	
28.	

29.	
30.	

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 4

НАДІЙНІСТЬ СИСТЕМ З РЕЗЕРВУВАННЯМ

Мета: закріплення теоретичного матеріалу з теми «Підвищення надійності технічних систем» та розгляд основних способів резервування: загального, роздільного, постійного (навантажене) та із заміщенням (ненавантажене).

Теоретичні відомості

Розрахунок кількісних характеристик надійності систем з резервуванням окремих елементів або груп елементів багато в чому визначається видом резервування. Нижче розглядаються схеми розрахунків для найпоширеніших випадків простого резервування, до яких шляхом перетворень може бути приведена й структура змішаного резервування. При цьому розрахункові залежності отримані без врахування надійності пристроїв перемикання, що забезпечують перерозподіл навантаження між основними та резервними елементами (тобто для "ідеальних" перемикачів). У реальних умовах введення перемикачів в структурну схему необхідно враховувати також й в розрахунок надійності.

Розрахунок систем з навантаженим резервуванням здійснюється за формулами послідовного та паралельного з'єднання елементів аналогічно розрахунку комбінованих систем. При цьому вважається, що резервні елементи працюють в режимі основних як до, так й після їх відмови, тому надійність резервних елементів не залежить від моменту їх переходу з резервного стану в основне та дорівнює надійності основних елементів.

Для системи з послідовним з'єднанням n елементів при загальному резервуванні з кратністю l (рис. 4.1, а):

$$P_{заг} = 1-(1-P)^{l+1} = 1-(1-\prod_{i=1}^{n} p_i)^{l+1}.$$

Зокрема, при дублюванні (l=1)

$$P_{заг} = 1-(1-P)^2 = P(2-P).$$

При роздільному резервуванні (рис. 3.1,б)

$$P_{роз} = \prod_{i=1}^{n}\left[1-(1-p_i)^{l+1}\right],$$

а при роздільному дублюванні (l=1)

$$P_{роз} = \prod_{i=1}^{n}\left[1-(1-p_i)^2\right] = \prod_{i=1}^{n} p_i(2-p_i) = P\prod_{i=1}^{n}(2-p_i).$$

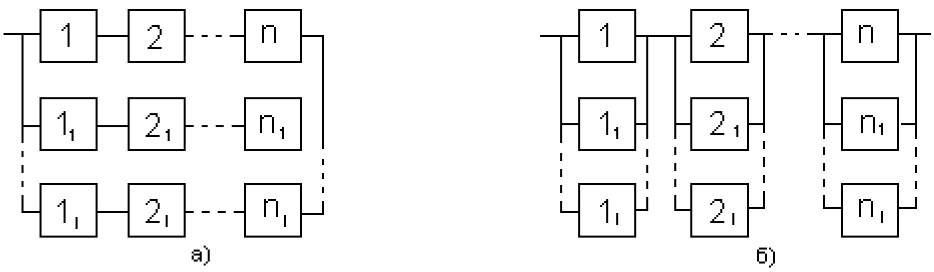


Рисунок 4.1 - Загальне навантажене та роздільне навантажене резервування

При *ненавантаженому резервуванні* резервні елементи послідовно включаються в роботу при відмові основного, потім першого резервного й т.д. (рис. 4.2), тому надійність резервних елементів залежить від моменту їх переходу в основний стан. Таке резервування в різних ТС зустрічається досить часто, оскільки воно по суті аналогічне заміні елементів або вузлів, що відмовили, на запасні.

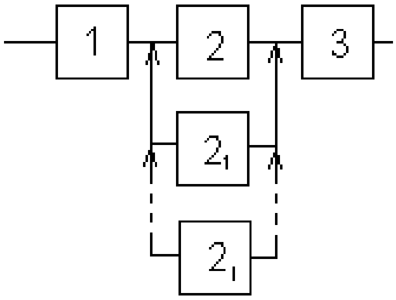


Рисунок 4.2 - Ненавантажене резервування

Якщо резервні елементи до їх включення абсолютно надійні, то для системи з ненавантаженим резервуванням кратності l (всього елементів $l+1$)

$$Q = \frac{1}{(l+1)!}\prod_{i=1}^{l+1} q_i;$$

$$P = 1 - \frac{1}{(l+1)!}\prod_{i=1}^{l+1}(1-p_i),$$

тобто ймовірність відмови в ($l+1$)! раз менша, ніж при навантаженому (паралельному з’єднанні).

Для ідентичних за надійністю основного та резервного елементів

$$P = 1 - \frac{1}{(l+1)!}(1-p)^{l+1}.$$

При експоненціальному розподілі наробітки (найпростішому потоці відмов) у випадку $\lambda t << 1$ можна скористатися наближеною формулою

$$P \approx 1 - \frac{(\lambda t)^{l+1}}{(l+1)!}.$$

Полегшене резервування використовується при великій інерційності перехідних процесів, що відбуваються в елементі при його переході з резервного в основний режим, та недоцільності застосування навантаженого резервування через недостатній виграш в надійності. Очевидно, полегшений резерв займає проміжне положення між навантаженим та ненавантаженим.

Точні вирази для розрахунку надійності систем при полегшеному резервуванні досить громіздкі та неоднозначні, але при експоненціальному розподілі наробітку справедлива наближена формула

$$P = \frac{1}{(l+1)!}\lambda\,(\lambda+\lambda_0)(\lambda+2\lambda_0)\ldots[\lambda\, l\lambda_0]\cdot t^{l+1} =$$

$$= \frac{t^{l+1}}{(l+1)!}\prod_{i=0}^{l}(\lambda+i\lambda_0),$$

де λ_0 - інтенсивність відмов елементів в полегшеному режимі,

l - кратність резервування.

ЗАВДАННЯ

Завдання 4.1.

Система складається з n послідовно з'єднаних елементів. Ймовірність безвідмовної роботи кожного елемента дорівнює $P_i(t)$. Для підвищення надійності системи до її складу вмикають m таких самих систем. Визначити ймовірність безвідмовної роботи резервованої системи (системи із загальним резервуванням). Вихідні дані наведені в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1. Варіанти завдань

Номер варіанта	1, 11,21	2, 12, 22	3, 13, 23	4, 14, 24	5,15, 25	6, 16, 26	7, 17, 27	8, 18, 28	9, 19, 29	10, 20,30
$P_i(t)$	0,85	0,90	0,91	0,92	0,93	0,94	0,95	0,96	0,97	0,98
n	8	7	6	5	5	7	6	8	7	6
m	2	3	3	4	2	4	2	3	4	2

Завдання 4.2.

Оцінити ефективність різних способів резервування системи (загального, роздільного, ненавантаженого) відносно аналогічної нерезервованої системи, що складається з 4 послідовно з'єднаних елементів з ймовірністю безвідмовної роботи $P_i(t)$. Вихідні дані наведені в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2. Варіанти завдань

Номер варіанта	1, 11,21	2,12, 22	3,13, 23	4,14, 24	5,15, 25	6, 16, 26	7, 17, 27	8, 18, 28	9, 19, 29	10, 20,30
$P_i(t)$	0,85	0,90	0,91	0,92	0,93	0,94	0,95	0,96	0,97	0,98
λ, 1/г	$1\cdot10^{4}$	$2\cdot10^{4}$	$3\cdot10^{4}$	$4\cdot10^{4}$	$5\cdot10^{4}$	$1\cdot10^{-5}$	$2\cdot10^{-5}$	$3\cdot10^{-5}$	$4\cdot10^{-5}$	$5\cdot10^{-5}$

Завдання 4.3.

Ймовірність безвідмовної роботи кожного з n елементів системи дорівнює $P_i(t)$. Елементи ввімкнені послідовно. Необхідно збільшити ймовірність безвідмовної роботи системи до величини $P(t)$ шляхом загального резервування. Слід визначити, яку кількість паралельних ланцюгів m треба ввести в дію. Кількість n елементів взяти – 4. Вихідні дані наведені в таблиці 4.3.

Таблиця 4.3. Варіанти завдань

Номер варіанта	1, 11,21	2, 12, 22	3, 13, 23	4, 14, 24	5,15, 25	6, 16, 26	7, 17, 27	8, 18, 28	9, 19, 29	10, 20,30
$P_i(t)$	0,88	0,89	0,90	0,91	0,93	0,94	0,95	0,96	0,97	0,90
$P(t)$	0,95	0,96	0,97	0,95	0,96	0,97	0,98	0,98	0,99	0,98

Завдання 4.4.

За даними завдання 4.3 визначити кількість паралельних ланцюгів при роздільному резервуванні.

Завдання 4.5.

Система складається з n послідовно з'єднаних елементів (рис. 4.3). ймовірність безвідмовної роботи кожного елемента - $P_i(t)$. Визначити ймовірність безвідмовної роботи резервованої системи. Вихідні дані наведені в таблиці 4.5.

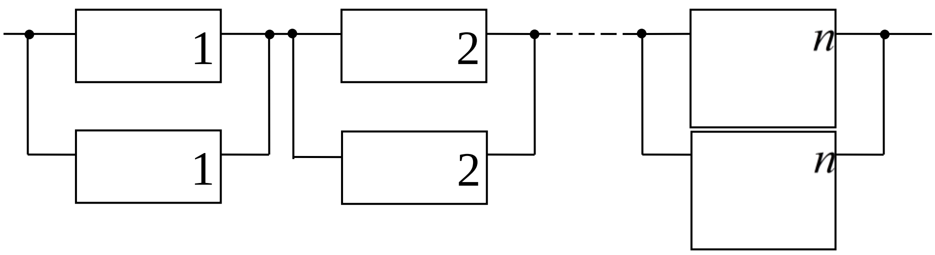


Рисунок 4.3

Таблиця 4.5. Варіанти завдань

Номер варіанта	1, 11,21	2, 12, 22	3, 13, 23	4, 14, 24	5,15, 25	6, 16, 26	7, 17, 27	8, 18, 28	9, 19, 29	10, 20,30
$P_i(t)$	0,98	0,97	0,96	0,95	0,95	0,95	0,95	0,96	0,97	0,98
n	3	4	5	6	3	4	5	6	3	4

Завдання 4.6.

Визначити ймовірність безвідмовної роботи частково резервованої системи, що подана на рисунку 4.4. Ймовірність безвідмовної роботи елементів 1-3 - $P_i(t)$, ймовірність відмови елементів 4-7 $Q_j(t)$. Вихідні дані наведені в таблиці 4.6.

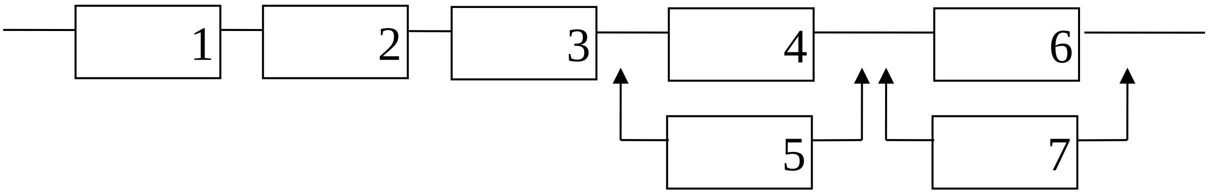


Рисунок 4.4

Таблиця 4.6. Варіанти завдань

Номер варіанта	1, 11,21	2, 12, 22	3, 13, 23	4, 14, 24	5,15, 25	6, 16, 26	7, 17, 27	8, 18, 28	9, 19, 29	10, 20,30
$P_i(t)$	0,8	0,85	0,9	0,95	0,98	0,99	0,95	0,9	0,85	0,8
$Q_j(t)$	0,1	0,01	0,15	0,2	0,1	0,2	0,1	0,2	0,1	0,05

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №5

ДОСЛІДЖЕННЯ НАДІЙНОСТІ ТА РИЗИКУ РЕЗЕРВОВАНОЇ ВІДНОВЛЮВАНОЇ СИСТЕМИ

Мета роботи: вивчення впливу відновлення (ремонту) на надійність та ризик технічної системи.

5.1 Постановка задачі

Дана технічна система, має наступні показники:

T_c— термін служби (довговічність), років;

t - час неперервної роботи, год.;

λ - інтенсивність відмов, год.$^{-1}$;

μ - інтенсивність відновлення, год.$^{-1}$;

m - допустима кратність резервування;

r - ризик через відмови системи, ум. один.;

$R(t)$ - допустимий ризик протягом часу t, ум. один.

Визначити:

- показники надійності і ризику вихідної нерезервованої системи;
- показники надійності і ризику резервованої системи з заданою кратністю резервування m;
- ефективність резервування і відновлення як засіб підвищення надійності і зниження ризику техніки.

Варіанти завдань приведено в розділі 5.5.

5.2 Теоретичні відомості

Основними показниками надійності відновлюваних систем є: напрацювання на відмову T, функція готовності $K_r(t)$, коефіцієнт готовності K_r. Ці показники залежать від наступних основних факторів: вид і кратність резервування, дисципліна обслуговування.

Для підвищення надійності техніки найбільш часто використовується два види резервування: з постійно включеним резервом і за методом заміщення. При цьому обслуговування системи може здійснюватися з двома видами пріоритету - прямим та зворотним. При прямому пріоритеті техніка обслуговується в порядку її надходження на ремонт. При зворотному пріоритеті першою обслуговується система, яка надійшла на ремонт останньою. Структурне резервування з можливістю відновлення елементів, які відмовили в процесі функціонування системи є найбільш ефективним способом забезпечення і підвищення надійності техніки і зниження техногенного ризику. Проте застосування резервування збільшує вартість техніки і її експлуатації.

Тому кратність резервування обмежена, і в більшості випадків застосовується резервування з кратністю m=1 (дублювання). З двох вказаних видів резервування найбільший виграш надійності досягається при резервуванні заміщенням. Проте таке резервування має два істотних недоліки:

- для його фізичної реалізації потрібен автомат контролю стану системи і комутації при відмові робочої системи;
- знижується продуктивність системи, так як резервні системи до заміщення не працюють.

За вказаними причинами на практиці найбільш часто застосовується резервування з постійно включеним резервом.

Напрацювання на відмову і коефіцієнт готовності резервованих відновлюваних систем при одній обслуговуючій бригаді обраховується за наступним формулам:

а) для системи з постійно включеним резервом:

$$T = T_0 \sum_{i=0}^{m} \frac{1}{(i+1)!\rho^i}, \; K_r = \frac{T}{T + \frac{1}{\mu}};$$

б) для резервної системи заміщенням:

$$T = T_0 \sum_{i=0}^{m} \frac{1}{\rho^i}, \; K_r = \frac{T}{T + \frac{1}{\mu}}$$

В формулах прийняті позначення:

$$\rho = \frac{\lambda}{\mu}, \; T_0 = \frac{1}{\lambda}.$$

Показники надійності T та K_r залежать від кількості обслуговуючих бригад. Формули для будь-яких видів обслуговування легко отримати топологічними методами розрахунку надійності.

Запишемо формули для двох обслуговуючих бригад:

а) для системи з постійно включеним резервом:

$$T = T_0 \left(\sum_{i=0}^{m-1} \frac{2^i}{(i+1)!\rho^i} + \frac{2^{m-1}}{(m+1)!\rho^m} \right), \; K_r = \frac{T}{T + \frac{1}{2\mu}};$$

б) для резервної системи заміщенням:

$$T = T_0 \left(\sum_{i=0}^{m-1} \frac{2^i}{\rho^i} + \frac{2^{m-1}}{\rho^m} \right), \; K_r = \frac{T}{T + \frac{1}{2\mu}}.$$

Досліджування властивостей структурного резервування показують, що для випадку високонадійних систем, коли $\rho > 0{,}001$, дисципліна обслуговування не здійснює істотного впливу на надійність резервованих відновлюваних систем.

Ризик системи визначається за формулою:

$$R(t) = rM(t) = r\lambda\int_0^t p_m(\tau)d\tau\ , \tag{5.1}$$

де $M(t)$ - середня кількість відмов системи протягом часу t;
$p_m(m)$ -імовірність перебування системи в передвідмовному стані в момент m. Для розрахунків можна використати просту наближену формулу:

$$R(t) = r\lambda p_m t\ , \tag{5.2}$$

де p_m - стаціонарна імовірність перебування системи в передвідмовному стані.

5.3 Послідовність виконання роботи

Лабораторну роботу доцільно виконувати в такій послідовності:

1. Визначити напрацювання на відмову T і коефіцієнт готовності K_r системи при двох видах резервування, одній та двох бригадах обслуговування.
2. Знайти імовірність безвідмовної роботи резервованих систем.
3. Обрахувати середній час безвідмовної роботи резервованих систем.
4. Визначити техногенний ризик вихідної системи і резервованих систем при різних характеристиках обслуговування.

Результати розрахунків необхідно супроводжувати висновками.

Звіт до лабораторної роботи повинний містити наступні пункти:

1. Постановка задачі.
2. Результати розрахунків в вигляді формул та таблиць.
3. Висновки за результатами роботи.

5.4 Приклад виконання лабораторної роботи

5.4.1 Постановка задачі

Дано:

- термін служби системи T_c=5 років;
- час неперервної роботи t=1000 годин:
- інтенсивність відмов системи λ=10^{-4} год.$^{-1}$;
- інтенсивність відновлення системи, визначається значенням $\rho = \dfrac{\lambda}{\mu}$, яке може приймати значення 1; 0,1; 0,05; 0,01;
- кратність резервування m=1;
- ризик через відмову системи r=150000 ум. один.;

- допустимий ризик протягом часу неперервної роботи $R(1000)=360$ ум. один.

Визначити показники, вказані в розділі 5.3.

5.4.2 Визначення напрацювання на відмову Т та коефіцієнта готовності K_r системи

На рисунку 5.1 та 5.2 приведені структурні схеми та графи станів системи при загальному постійному резервуванні *(а)* та резервуванні заміщенням *(б)*.

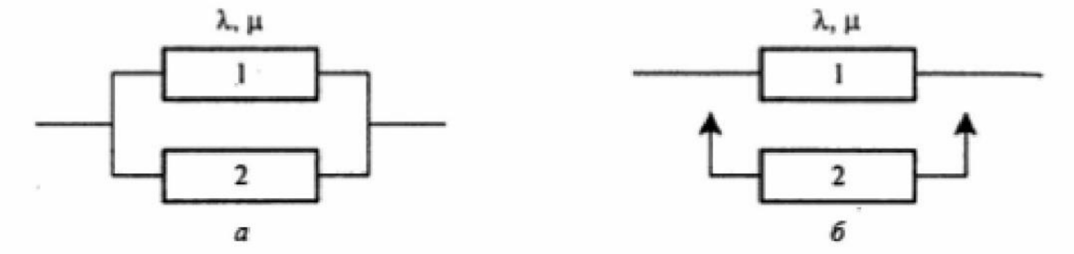


Рисунок 5.1 - Структурні схеми резервованих систем

Рисунок 5.2 - Графи станів резервованих систем

Розрахункові формули для випадку дубльованої системи (m=1) мають вигляд:

а) дубльована система з постійно включеним резервом:

- одна обслуговуюча бригада (n=1):

$$T = T_0\left(1+\frac{1}{2\rho}\right),\ K_r = \frac{1+2\rho}{1+2\rho+2\rho^2};$$

- дві обслуговуючі бригади *(n=2):*

$$T = T_0\left(1+\frac{1}{2\rho}\right),\ K_r = \frac{1+2\rho}{1+2\rho+2\rho^2};$$

б) дубльована система заміщенням:

- одна обслуговуюча бригада (n=1):

$$T = T_0\left(1+\frac{1}{\rho}\right),\ K_r = \frac{1+\rho}{1+\rho+\rho^2};$$

- дві обслуговуючі бригади (*n*=2);

$$T = T_0\left(1+\frac{1}{\rho}\right),\ K_r = \frac{1+\rho}{1+\rho+\frac{1}{2}\rho^2};$$

в) нерезервована система :

$$T = T_1 = T_0 = \frac{1}{\lambda},\ K_r = \frac{1}{1+\rho}.$$

З наведених формул видно, що напрацювання на відмову і коефіцієнт готовності дубльованої системи є функціями $\rho = \frac{\lambda}{\mu}$. Це дозволяє автоматизувати розрахунки, використовуючи математичну систему Derive 6.

Методика полягає в наступному:

- створюється матриця формул розмірністю 8x1 за кількістю формул для T і K_r дубльованої системи (кнопка **Author Matrix**);
- в формули підставляються значення р (кнопка **Variable Substitution**);
- виконуються розрахунки (кнопка **Approximate**).

Розв’язок відображається у вигляді таблиці. Для зручності читання доцільно прийняти такі позначення:

- TP1, TP2 - напрацювання на відмову системи з постійно включеним резервом з однією і двома обслуговуючими бригадами відповідно;
- TZ1, TZ2 - напрацювання на відмову системи, резервованої за принципом заміщення з однією і двома обслуговуючими бригадами відповідно;
- KP1, KP2 - коефіцієнт готовності системи з постійно включеним резервом з однією і двома обслуговуючими бригадами відповідно;
- KZ1, KZ2 - коефіцієнт готовності системи, резервованої за принципом заміщення з однією і двома обслуговуючими бригадами відповідно.

Результати розрахунків для нашого прикладу приведено в табл. 5.1.

З наведених формул видно, що напрацювання на відмову нерезервованої системи не залежить від відновлення і дорівнює середньому часу безвідмовної роботи системи.

Для нашого прикладу $T_0 = \frac{1}{\lambda} = 10000$ год,. Для порівняння в табл. 5.1 наведені значення коефіцієнта готовності K_r нерезервованої системи при всіх заданих значеннях ρ.

Аналіз даних таблиці дозволяє зробити такі важливі висновки:

- напрацювання на відмову резервованої системи з кратністю $m=1$ не залежить від кількості ремонтних бригад;

- при малих значеннях p напрацювання на відмову дубльованої системи заміщенням практично в двічі більше, ніж при дублюванні з постійно включеним резервом;

Таблиця 5.1 - Результати розв'язку задачі

ρ	1	0,1	0,05	0,01
$TP1/T_0$	1,5	6	11	51
$TP2/T_0$	1,5	6	11	51
KP1	0,6	0,984	0,995	0,9998
KP2	0,75	0,992	0,9977	0,9999
$TZ1/T_0$	2	11	21	101
TZ**2**/T0	2	11	21	101
KZ1	0,667	0,991	0,9976	0,9999
KZ2	0,8	0,995	0,9988	0,99995
K_r	0,5	0,91	0,95	0,99

- резервування з відновленням є потужним засобом підвищення напрацювання на відмову системи: так, наприклад, у випадку резервування заміщенням при ρ=0,01 напрацювання на відмову $TZ1=TZ2=T_0$-101=1010000 годин, що становить приблизно 115 років і в 23 рази перевищує термін служби системи (5 років);
- кількість ремонтних бригад має незначний вплив на коефіцієнт готовності дубльованої системи, якщо ρ мале: так, наприклад, коефіцієнт готовності дубльованої системи з постійно включеним резервом і ρ =0,05 при одній і двох бригадах обслуговування складає 0,995 і 0,9977 відповідно;
- при малих ρ вид резервування практично не впливає на величину коефіцієнта готовності: наприклад, коефіцієнт готовності системи при одній бригаді обслуговування складає 0,9998 і 0,9999 відповідно для випадку резервування з постійно включеним резервом і заміщенням.

Слід пам'ятати, що наведені розрахунки напрацювання на відмову лише ілюструють ефективність резервування з відновленням, але не є достовірними, так як протягом 115 років роботи системи інтенсивність її відказів не може бути постійною величиною, як це прийнято при розрахунках.

5.4.3 Визначення імовірності безвідмовної роботи резервованої системи

Для визначення імовірності безвідмовної роботи необхідно скласти і розв'язати систему диференціальних рівнянь функціювання системи. Система диференціальних рівнянь з урахуванням екранів (див. рис. 5.2) має вигляд:

- для схеми *(а):*

$$\begin{cases} \dfrac{dp_0(t)}{dt} = -2\lambda p_0(t) + \mu p_1(t) \\ \dfrac{dp_1(t)}{dt} = 2\lambda p_0(t) - (\lambda + \mu) p_1(t) \end{cases} \tag{5.3}$$

- для схеми *(б):*

$$\begin{cases} \dfrac{dp_0(t)}{dt} = -\lambda p_0(t) + \mu p_1(t) \\ \dfrac{dp_1(t)}{dt} = \lambda p_0(t) - (\lambda + \mu) p_1(t) \end{cases} \tag{5.4}$$

За початкові умови приймемо $p_0(0)=1$, $p_1(0)=0$.

Методика розв'язання рівнянь методом Рунге-Кутта була описана в лабораторній роботі "Дослідження надійності і ризику відновлювальної нерезервованої системи". Розв’язок для t=1000 годин було отримане за допомогою Derive. Задовільна точність розв’язку отримується при кроці $h=10$.

Тоді функція буде мати вигляд:

```
RK([#1,#2], [t,p0,pl], [0,1,0], 10, 100)
```

де `#1`, `#2` - праві частини диференціальних рівнянь. Враховуючи, що стани (0) і (1) відповідають справним станам системи, то імовірність без відказаної роботи дорівнюватиме $P_c(t) = p_0(t)+p_1(t)$. Результати розв’язку задачі приведені в табл. 5.2.

$$P_c(1000) = e^{-\lambda t} = e^{-10^{-4}\cdot 10^3} = 0{,}9048 .$$

Імовірність безвідмовної роботи нерезервованої системи не залежить від відновлення і дорівнює:

Таблиця 5.2 - Результати розв’язку задачі

Постійне резервування				
ρ	1	0,1	0,05	0,01
P_c(1000)	0,9912	0,9932	0,9947	0,9982
R(1000), ум. один.	10000	2500	1364	294
Резервування заміщенням				
ρ	1	0,1	0,05	0,01
P_c(1000)	0,9955	0,9965	0,9973	0,999
P(1000), ум. один.	7500	1364	714	149

За даними табл. 5.2 можна зробити наступні важливі висновки: резервування з відновленням дозволяє істотно підвищити надійність системи. Так, наприклад, виграш надійності за імовірністю відмови системи, резервованої за методом заміщення, при ρ =0,01 в порівнянні з нерезервованої системою буде:

$$G_q(1000)=\frac{1-0,9048}{1-0,999}=95,2$$

тобто майже в 100 разів.

5.4.4 Визначення середнього часу безвідмовної роботи системи

Середній час безвідмовної роботи можна визначити одним з наступних способів.

Спосіб 1. Знайти аналітичний вираз для імовірності безвідмовної роботи системи $P_c(t)$ і скористатися формулою:

$$T_1=\int_0^{\infty}P_c(t)dt\,.$$

Можна також знайти імовірність безвідмовної роботи системи в перетворенні Лапласа:

$$\hat{P}(s)=\int_0^{\infty}P(t)e^{-ts}dt$$

і скористатися співвідношенням :

$$T_1=\hat{P}(0)\,.$$

Спосіб 2. Скласти систему лінійних алгебраїчних рівнянь відносно середнього часу τ_0 і τ_1 перебування системи в станах (0) і (1) відповідно (див. рис. 5.2):

- для схеми *(а):*

$$\begin{cases}-2\lambda\tau_0+\mu\tau_1=-1\\ 2\lambda\tau_0-(\lambda+\mu)\tau_1=0\end{cases}\tag{5.5}$$

- для схеми (б):

$$\begin{cases}-\lambda\tau_0+\mu\tau_1=-1\\ \lambda\tau_0-(\lambda+\mu)\tau_1=0\end{cases}\tag{5.6}$$

Далі потрібно розв’язати отримані системи рівнянь і визначити середній час безвідмовної роботи за формулою $T_1=\tau_0+\tau_1$.

Формули для середнього часу безвідмовної роботи мають наступний вигляд:

- для схеми (*а*):

$$T_1=T_0\left(1,5+\frac{1}{2\rho}\right);$$

- для схеми (*б*):

$$T_1=T_0\left(2+\frac{1}{\rho}\right),$$

де $T_0=\frac{1}{\lambda}$ середній час безвідмовної роботи нерезервованої системи.

Порівнюючи отримані значення середнього часу безвідмовної роботи і напрацювання на відмову, отримані в розділі 5.4.2, бачимо, що вони практично однакові при малих значеннях $\rho = \frac{\lambda}{\mu}$, що характерно для високонадійних систем.

5.4.5 Визначення ризику системи

Ризик системи визначимо за наближеною формулою (5.2). Для вихідної нерезервованої системи при ρ=0,01 отримаємо:

$$R(1000) = \frac{r\lambda t}{1+\rho} = \frac{15 \cdot 10^4 \cdot 10^{-4} \cdot 1000}{1{,}01} = 14851 \text{ ум.одн.},$$

що вище допустимого.

Ризик резервованої системи з кратністю *m*=1 визначається за формулами:
- для постійно ввімкненого резерву:

$$R(t) = \frac{r\lambda t \cdot 2\rho}{1 + 2\rho + \frac{2\rho^2}{n}};$$

- для резерву заміщенням:

$$R(t) = \frac{r\lambda t \cdot \rho}{1 + \rho + \frac{\rho^2}{n}}.$$

Результати розрахунків техногенного ризику системи *R(t)* при *t*=1000 год. при різних видах резервування і дисциплінах обслуговування наведені в таблиці 5.2. З таблиці видно, що ризик може бути менше допустимого, який становить 360 ум. один., при умові, що використаний будь-який вид резервування з кратністю *m=1* при $\rho \leq 0{,}01$ і використовується обслуговування з будь-яким пріоритетом. Для даного випадку забезпечити даний ризик можна при умові, що середній час відновлення не буде перевищувати 100 годин.

Визначимо тепер величину ризику протягом всього терміну служби системи, що становить 5 років. В порівнянні з *R*(1000) техногенний ризик системи збільшиться в $\frac{5 \cdot 365 \cdot 24}{1000} = 43{,}8$ рази і перевищить потрібного ризику, що становить 360 ум. один.

На завершення можна відмітити, що вихідна нерезервована система недостатньо надійна і не може забезпечити потрібний ризик. Імовірність її безвідмовної роботи протягом 1000 годин рівна 0,9, а ризик дорівнює 14851 ум. один., що значно вище потрібного (360 ум. один.). На протязі цього часу ризик буде допустимим, якщо використати структуроване резервування будь-якого типу кратності *m*=1 і забезпечить обслуговування з середнім часом відновлення не вище 100 годин.

5.5 Варіанти завдань до лабораторної роботи

В завданнях прийняті позначення:
- T - час життя (довговічність) системи, років;
- λ - інтенсивність відмов системи, год.$^{-1}$;
- t - час безперервної роботи системи, год.;
- m - кратність резервування;
- r - ризик через відмову системи, ум. один.;
- $R(t)$ - допустимий ризик протягом часу t, ум. один.

ВАРІАНТИ 1 - 8

Номер варіанту	1	2	3	4	5	6	7	8
t, год.	600	700	650	1000	960	810	380	750
T, год.	4	3,5	5	2,5	3	2,7	4,2	5
$\lambda \cdot 10^{-4}$, год. $^{-1}$	1,2	2,1	1,1	0,8	1,6	1,3	1,5	1
$r \cdot 10^{3}$, ум. один.	100	90	120	68	93	120	85	120
$R(t)$, ум. один.	400	520	360	420	516	180	275	500

ВАРІАНТИ 9 - 16

Номер варіанту	9	10	11	12	13	14	15	16
t, год.	380	900	820	630	1000	750	600	500
T, год.	3	2,6	3,5	4	2	2,5	3,5	4
$\lambda \cdot 10^{-4}$, год. $^{-1}$	0,8	1,2	1,6	0,7	2,1	1,8	1	1,2
$r \cdot 10^{3}$, ум. один.	90	110	210	180	68	87	100	80
$R(t)$, ум. один.	525	480	360	720	800	495	470	390

ВАРІАНТИ 17 - 25

Номер варіанту	17	18	19	20	21	22	23	24	25
t, год.	350	460	750	820	680	1000	800	700	720
T, год.	2,8	3,5	5	4,3	3,8	2,5	3	4	3,2
$\lambda \cdot 10^{-4}$, год. $^{-1}$	0,8	2,1	1,8	2	0,75	1,5	1,8	0,9	1
$r \cdot 10^{3}$, ум. один.	120	90	85	150	165	92	87	115	126
$R(t)$, ум. один.	500	490	450	380	525	475	600	380	725

СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

Базова

1. Голинкович Т.А. Прикладная теория надежности. Учебник для вузов. М.: Высшая школа, 1985.
2. Половко А.М. Основы теории надежности. М.: Наука, 1964.
3. Сборник задач по теории надежности. Ред. Половко А.М. и Маликова И.М. М.:Из-во «Советское радио», 1972.
4. Иыуду К.А. Надежность, контроль и диагностика вычислительных машин и систем: Учеб.пособие для вузов по спец. «Вычислительные машины, комплексы, системы и сети».- М: Высшая школа,1989.

Допоміжна

1. Кучер В.Я. Основы технической диагностики и теории надежности. Письменные лекции. – СПб.:СЗСУ,2004. – 48 с.
2. Матвеевский В.Р. Надежность технических систем. Учебное пособие – М., Московский государственный институт электроники и математики. 2002 г. – 113 с.
3. Архирейский А.А., Рассоха Е.Н. Статистическая обработка данных о надежности: Методические указания к выполнению расчетно-графической работы. - Оренбург: ГОУ ОГУ, 2004. – 35с.
4. Архітектура, принципи, функціонування та керування ресурсами IBM PC. Гуржій А.М. та інш. Х.: Компанія Сміт, 2003. – 50с.
5. Гаспер Б.С., Липатов И.Н. Решение задач по курсу “Прикладная теория надежности”.Учебное пособие. –Пенза.:ПГТУ, 1998.- 65с.
6. Липаев В. В. Надежность программных средств / В. В. Липаев. – М. : СИНТЕГ, 1998. – 232 с.
7. Тейер Т. Надежность программного обеспечения : пер. с англ. / Т. Тейер, М. Липов, Э. Нельсон. – М. : Мир, 1981. – 323 с
8. ДСТУ 2860-94. Надійність техніки. Терміни та визначення.
9. ДСТУ 2861-94. Надійність техніки. Аналіз надійності. Основні поняття.
10. ДСТУ 2862-94. Надійність техніки. Методи розрахунку показників надійності. Загальні вимоги.
11. ДСТУ 2470-94. Надійність техніки. Системи технологічні. Терміни та визначення.
12. ДСТУ 2668-94. Безвідмовність обслуговування та готовність. Терміни та визначення.
13. ДСТУ 2504-94. Засоби обчислювальної техніки, відмовостійкість і живучість. Методи випробовувань.
14. ДСТУ 2506-94. Засоби обчислювальної техніки, відмовостійкість і живучість. Загальні технічні вимоги.

7. Інформаційні ресурси

1. Дистанційний курс, доступний за адресою https://dl.tntu.edu.ua/tools/index.php.
2. В.В. Аврутов, Н.И. Бурау. Надежность и диагностика приборов и систем: Учебное пособие. – К.: НТУУ «КПИ», 2014. – [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: http://kafpson.kpi.ua/Arhiv/Method/diagnost.pdf.
3. О.М. Васілевський. Нормування показників надійності технічних засобів : навчальний посібник / О.М. Васілевський, В.О. Поджаренко. – Вінниця : ВНТУ, 2010. – [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://posibnyky.vntu.edu.ua/pdf/000754.pdf.