



Міністерство освіти і науки України

**ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ СІЛЬСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА
ІМЕНІ ПЕТРА ВАСИЛЕНКА**

Навчально-науковий інститут технічного сервісу

**Кафедра експлуатації, надійності, міцності
та будівництва ім. В. Я. Аніловича**

ОЦІНЮВАННЯ І ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НАДІЙНОСТІ РЕЗЕРВОВАНИХ СИСТЕМ

**Методичні вказівки до виконання практичної роботи
з дисципліни " Основи надійності машин"**

Для студентів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти
денної та заочної форм навчання, спеціальностей:

133 Галузеве машинобудування,

208 Агроінженерія,

274 Автомобільний транспорт

Харків
2021

Міністерство освіти і науки України

ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
СІЛЬСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА ІМЕНІ ПЕТРА ВАСИЛЕНКА

Навчально-науковий інститут технічного сервісу

Кафедра експлуатації, надійності, міцності та будівництва
імені В. Я. Аніловича

ОЦІНЮВАННЯ І ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НАДІЙНОСТІ РЕЗЕРВОВАНИХ СИСТЕМ

Методичні вказівки до виконання практичної роботи
з дисципліни " Основи надійності машин"

Для студентів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти
денної та заочної форм навчання, спеціальностей:

133 Галузеве машинобудування,

208 Агроінженерія

274 Автомобільний транспорт

Затверджено
рішенням Науково-методичної
ради ННІ ТС ХНТУСГ
Протокол №7
від 12 травня 2021р

Харків
2021

Схвалено на засіданні
кафедри експлуатації, надійності, міцності та будівництва ім. В.Я.Аніловича
Протокол № 5 від "5" травня 2021 р.

Оцінювання і забезпечення надійності резервованих систем: метод. вказівки до виконання практичної роботи з дисципліни "Основи надійності машин" / Харків. нац. техн. у-т сіл. госп-ва ім. П. Василенка; уклад.: О.С. Гринченко, О.І. Алфьоров, В.Б. Савченко, В.І. Іванов. - Харків : [б. в.], 2021. - 12с.

Взагалі резервування призначене підвищувати рівень надійності систем, які складаються з декількох елементів. За структурою резерв може бути виконаний постійним включенням або заміщенням, коли резервний елемент починає працювати у системі після її відмови і до цього часу не використовує свій ресурс. Відмовостійкість системи залежить від структури резерву і є більш економічною, коли використовується резервування заміщенням на відміну від постійного включення. Надійність систем, які ремонтуються, визначають за допомогою коефіцієнту готовності. За цим показником виконують проектування резервованих систем, порівнюючи між собою, що передбачає робота.

Рецензенти:

В. М. Грищенко, канд. техн. наук, доцент кафедри динаміки і міцності НТУ "ХПІ"

С. О. Поляшенко, канд. техн. наук, доцент кафедри тракторів і автомобілів Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка

Відповідальний за випуск (зав.каф.) : Е. І. Калінін, д-р. техн. наук, проф.

© О.С.Гринченко, О.І. Алфьоров,
В.Б. Савченко, В.І. Іванов
© ХНТУСГ, 2021

**ОЦІНЮВАННЯ І ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НАДІЙНОСТІ
РЕЗЕРВОВАНИХ СИСТЕМ**

Мета роботи. визначити показники надійності ремонтovаних об'єктів по статистичним даним, а також за даними про надійність їх елементів.

Загальні положення

Об'єкт, для якого проведення ремонтів передбачено в нормативно-технічній або конструкторській документації, називається ремонтovаним.

Для ремонтovаних об'єктів знаходять застосування наступні показники надійності: середній наробіток на відмову T_o ; середній час відновлення працездатного стану T_e ; коефіцієнт готовності K_z .

Перший показник надійності характеризує безвідмовність об'єкту і може бути визначений як відношення повної тривалості роботи об'єкту T_Σ до кількості зареєстрованих відмов n_Σ :

$$T_o = \frac{T_\Sigma}{n_\Sigma} \quad (1)$$

Другий показник характеризує ремонтoprидатність об'єкту; його визначають як відношення сумарного часу, що витрачається на відновлення працездатного стану $T_{e\Sigma}$, до загальної кількості відновлень, що дорівнюють кількості відмов n_Σ :

$$T_e = \frac{T_{e\Sigma}}{n_\Sigma} \quad (2)$$

Коефіцієнт готовності K_z є комплексним показником надійності. Він кількісно характеризує такі властивості об'єкту, як безвідмовність і ремонтoprидатність, і визначається як імовірність того, що об'єкт знаходиться в працездатному стані в довільний момент часу:

$$K_z = \frac{T_o}{T_o + T_e} \quad (3)$$

Можна вважати, що K_z чисельно дорівнює частці працездатних об'єктів у будь-який момент часу.

Для визначення перерахованих показників надійності ремонтovаних об'єктів потрібен статистичний матеріал, який звичайно збирається в умовах рядової експлуатації, або в умовах спеціальних підконтрольних випробувань.

Надійність об'єкту як системи, що складається з низки елементів, можна визначити також за даними про надійність кожної її складової частини або еле-

мента. Як правило, визначити показники надійності деталі або вузла простіше, ніж всієї системи в цілому. В даний час розроблені і використовуються необхідні методи і технічні засоби для випробування на надійність різних робочих органів, деталей, вузлів.

Надійність машини, як системи, залежить від її структури.

Більшість машин і агрегатів - це системи з послідовною структурою, при якій відмова системи настає у разі відмови будь-якого її елемента. Вигляд такої структури з трьох елементів наведено на рис. 1а. Це може бути, наприклад, ведучий міст трактора, в якому елемент 1 - це головна передача, елемент 2 - напівосі, і елемент 3 - бортові редуктори. В цьому випадку говорять про послідовне з'єднання елементів в системі з точки зору надійності, а імовірність безвідмовної роботи системи при незалежних відмовах елементів визначають по формулі:

$$R_c = R_1 \cdot R_2 \cdot R_3, \quad (4)$$

де $R_1, R_2, \text{ і } R_3$ - імовірності безвідмовної роботи елементів.

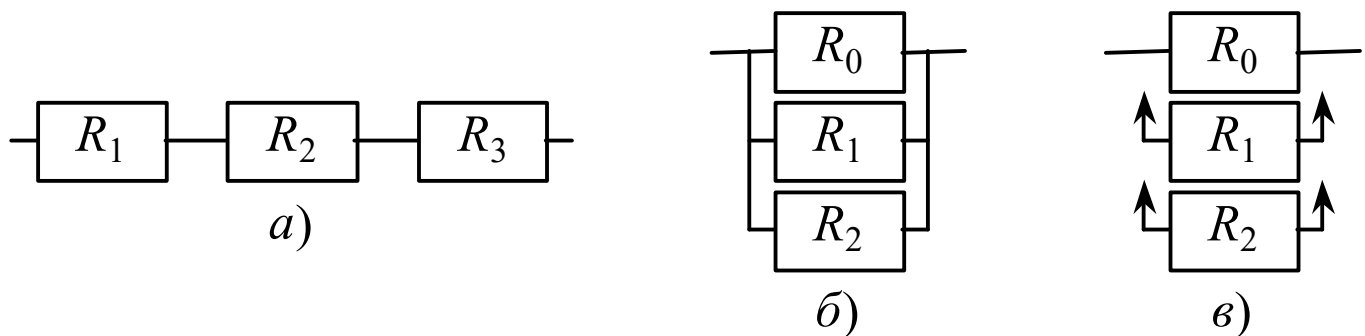


Рис. 1. Структурні схеми з трьох елементів: а) – послідовне з'єднання; б) – паралельне з'єднання (постійне резервування); в) – резервування заміщенням.

При недостатній надійності яких-небудь елементів надійність системи можна підвищити введенням надмірності, тобто шляхом резервування. Резервування буває постійним (навантаженим), структура якого наведена на рис. 1б, або може здійснюватися шляхом заміщення (рис. 1в). В останньому випадку маємо не навантажений резерв, оскільки резервні елементи включаються до роботи тільки при відмові основного. Постійне резервування називають паралельним з'єднанням елементів. У разі незалежності відмов імовірність безвідмовної роботи системи з паралельним з'єднанням трьох елементів (рис. 1б) визначається по формулі:

$$R_c = 1 - (1 - R_0) \cdot (1 - R_1) \cdot (1 - R_2), \quad (5)$$

де $R_0, R_1, \text{ і } R_2$ - імовірність безвідмовної роботи основного і резервних елементів.

В мобільних машинах постійне резервування використовується значно

рідше, ніж резервування заміщенням. При резервуванні заміщенням середній наробіток до відмови системи, що складається з одного основного (працюючого) і K резервних елементів, визначається по формулі:

$$T_c = (1 + K) \cdot T_o, \quad (6)$$

де T_o - середній наробіток до відмови елемента.

Середнє квадратичне відхилення σ_c наробітку до відмови такої системи визначається з виразу

$$\sigma_c = \sigma_o \cdot \sqrt{1 + K}, \quad (7)$$

де σ_o - середнє квадратичне відхилення наробітку елемента.

З (6) і (7) випливає, що коефіцієнти варіації наробітку до відмови системи v_c і елемента v_o при резервуванні заміщенням зв'язані співвідношенням:

$$v_c = \frac{v_o}{\sqrt{1 + K}}. \quad (8)$$

При розподілу наробітку до відмови системи за законом Вейбулла його параметр форми b_c однозначно визначається величиною коефіцієнта варіації v_c . Ця залежність при $0,1 < v_c < 1$ з достатньою для практичного використання точністю описується наближеним виразом:

$$b_c = \frac{1,126}{v_c} + \frac{0,011}{v_c^2} - 0,137, \quad (9)$$

звідки випливає, що

$$b_c = \frac{1,126}{v_o} \sqrt{1 + K} + \frac{0,011}{v_o^2} (1 + K) - 0,137. \quad (10)$$

Параметр масштабу розподілу наробітку до відмови системи, виходячи з (6), визначається по формулі:

$$a_c = \frac{T_c}{\Gamma\left(1 + \frac{1}{b_c}\right)} = \frac{(1 + K)T_o}{\Gamma\left(1 + \frac{1}{b_c}\right)}. \quad (11)$$

При зроблених припущеннях імовірність безвідмовної роботи системи з одного працюючого і K резервних (запасних) елементів, що послідовно включаються в роботу при настанні відмов на заданому інтервалі наробітку T , визначається з виразу:

$$R_c(T) = \exp \left\{ - \left[\frac{T \cdot \Gamma\left(1 + \frac{1}{b_c}\right)}{T_o (1 + K)} \right]^{b_c} \right\}, \quad (12)$$

в якому параметр b_c визначається за формулою (10).

Імовірність безвідмовної роботи елемента $R_o(T)$ на інтервалі T можна також визначати за формулою (12). Поклавши в ній $K=0$, отримаємо вираз:

$$R_o(T) = \exp \left\{ - \left[\frac{T \cdot \Gamma \left(1 + \frac{1}{b_o} \right)}{T_o} \right]^{b_o} \right\}, \quad (13)$$

в якому параметр форми b_o у відповідності з (10) визначається по формулі:

$$b_o = \frac{1,126}{v_o} + \frac{0,011}{v_o^2} - 0,137. \quad (14)$$

Величина $R_c(t)$ визначає імовірність того, що за період T не наступить стан, при якому подальше відновлення системи (ремонт) стане вже неможливим через відсутність резервних елементів. Імовірність того, що у будь-який момент часу система не знаходитиметься в стані відновлення за наявності резервних елементів, визначається величиною коефіцієнта готовності K_c .

Імовірність того, що ще не витрачені резервні елементи і система не знаходиться в стані відновлення, визначається добутком вказаних вище ймовірностей і є комплексним показником надійності резервованих способом заміщення систем, який називають коефіцієнтом оперативної готовності $K_{oz}(T)$:

$$K_{oz}(T) = K_c \cdot R_c(T). \quad (15)$$

Величина цього показника відповідає заданому інтервалу часу роботи T , із збільшенням якого коефіцієнт оперативної готовності монотонно зменшується. З його допомогою можна визначити кількість працездатних машин до кінця періоду T :

$$N_p(T) = N \cdot K_{oz}(T),$$

де N - загальна кількість машин.

Порядок виконання роботи

Вихідні статистичні дані про наробітки між відмовами t_i і час відновлення t_{vi} системи (машини), що складається з трьох умовних елементів (агрегатів) з послідовним з'єднанням (рис. 1а) вибирають з табл. 1. Вони повинні містити задану кількість наробітків системи між відмовами t_i і таку ж кількість значень часу відновлення t_{vi} .

Далі по формулах (1), (2) і (3) визначають показники надійності системи: середній наробіток на відмову T_{oc} , середній час відновлення T_{ec} і коефіцієнт готовності K_c . Коефіцієнт готовності K_c припускає можливість необмеженої кількості відновлень (або кількості запасних елементів).

Дані про наробітки між відмовами і час відновлення системи

№ п/п	Наробітки між відмовами	Час відновлення
	t_i , ГОД.	$t_{\text{вi}}$, ГОД.
0	41, 20, 97, 104, 53	2,1; 2,4; 8,6; 5,6; 4,3
1	88, 76, 302, 176, 12	6,3; 7,0; 2,3; 2,8; 8,1
2	34, 84, 168, 28, 96	5,5; 3,6; 7,0; 5,0; 3,7
3	205, 72, 28, 136, 173	3,4; 5,4; 10,2; 3,3; 4,7
4	44, 80, 35, 192, 306	2,5; 5,6; 6,4; 6,9; 7,7
5	67, 224, 111, 260, 79	1,3; 3,4; 10,2; 2,2; 3,9
6	93, 244, 319, 188, 56	1,9; 4,9; 2,8; 5,8; 12,1
7	133, 216, 107, 32, 39	7,5; 6,4; 9,4; 1,5; 11,0
8	84, 360, 148, 248, 16	3,5; 1,1; 13,4; 3,9; 8,7
9	37, 112, 49, 196, 201	6,6; 1,8; 1,6; 11,6; 5,4

На наступному етапі проводять оцінку надійності системи на заданий період часу T у разі, коли кількість можливих відновлень обмежено кількістю наявних резервних елементів. Вихідні дані для проведення такої оцінки відповідно до вказівок викладача вибирають з таблиці 2.

Таблиця 2

Вихідні дані про надійність елементів

№	Коефіцієнти варіації наробітку до відмови			Середні наробітки між відмовами, год.		
	ν_{01}	ν_{02}	ν_{03}	T_{01}	T_{02}	T_{03}
0	0,4	0,5	0,6	200	500	300
1	0,5	0,4	0,7	400	200	300
2	0,6	0,5	0,8	500	400	200
3	0,4	0,7	0,5	200	300	500
4	0,5	0,8	0,4	400	500	200
5	0,6	0,4	0,7	300	200	400
6	0,4	0,6	0,8	500	300	200
7	0,5	0,6	0,8	300	500	400
8	0,6	0,4	0,5	500	200	400
9	0,8	0,4	0,7	200	400	500

За допомогою цих даних по формулі (14) визначають параметри b_{01} , b_{02} і b_{03} , а потім по формулі (13) для заданого періоду $T=100$ год. визначають імовірність безвідмовної роботи елементів системи $R_{01}(T)$, $R_{02}(T)$ і $R_{03}(T)$ і по формулі (4) - імовірність безвідмовної роботи нерезервованої системи $R_{nc}(T)$.

Потім з урахуванням знайдених значень $R_{01}(T)$, $R_{02}(T)$, і $R_{03}(T)$ відбирають

найраціональніші варіанти (не менше двох) резервованої системи заміщенням за допомогою трьох резервних елементів із схем на рис. 2 так, щоб забезпечити максимальну імовірність безвідмовної роботи системи.

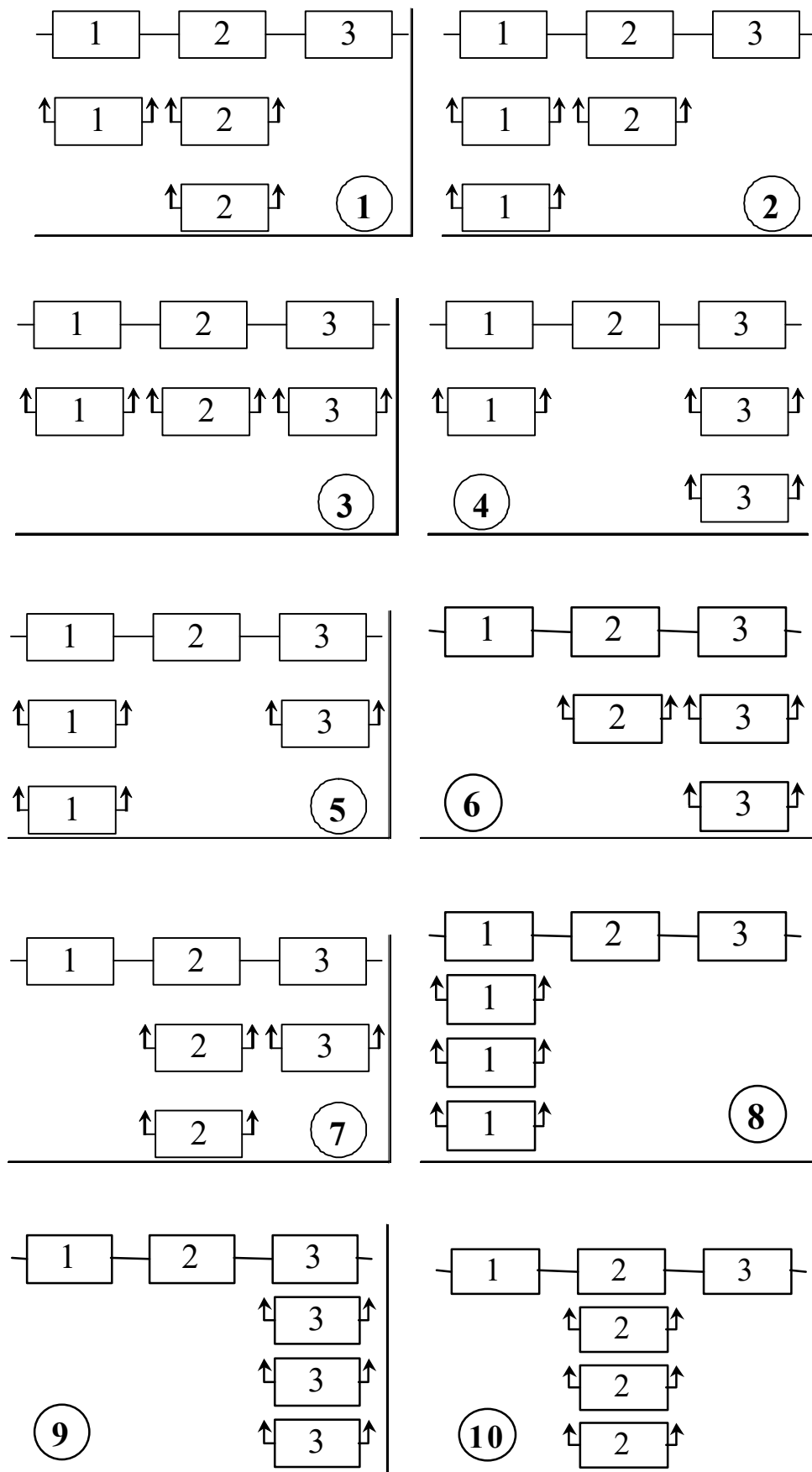


Рис. 2. Варіанти резервування елементів в системі

Для відібраних варіантів схем, використовуючи формули (4) і (5), розраховують величини імовірності безвідмовної роботи системи, спочатку вважаючи, що резервні елементи утворюють паралельне з'єднання з основними (постійне резервування). Порівнюючи альтернативні варіанти схем, вибирають остаточний варіант з найбільшою імовірністю безвідмовної роботи системи з постійним резервуванням, і потім по формулах (10), (12) і (4) для вибраного варіанту схеми резервування визначають імовірність безвідмовної роботи системи $R_c(T)$ при резервуванні заміщенням. Цей показник характеризує надійність системи при миттєвій заміні елементів, що відмовили, резервними.

По формулі (15) розраховують коефіцієнт оперативної готовності $K_{oc}(T)$, що враховує реальний час заміни елементів і обмеженість їх кількості, і будують графіки зміни $K_{oc}(T)$ і $R_c(T)$ при збільшенні T . З графіка функції $K_{oc}(T)$ визначають період роботи \tilde{T} , що відповідає заданому значенню коефіцієнта оперативної готовності \tilde{K}_{oc} .

Приклад

Таблиця 3

Вихідні дані до розрахунку коефіцієнта готовності

Наробітки між відмовами t_i , год.	41	76	168	136	306	67	244	107	248	201	$T_{\Sigma}=1594$
Час відновлення $t_{\delta i}$, год.	2,1	7,0	5,0	4,7	3,6	3,4	6,9	10,2	5,8	1,8	$T_{\delta\Sigma}=50,5$

Відповідно до формул (1), (2), (3):

$$\text{середній наробіток на відмову } T_{oc} = \frac{T_{\Sigma}}{n_{\Sigma}} = \frac{1594}{10} = 159,4 \text{ год.};$$

$$\text{середній час відновлення } T_{\delta c} = \frac{T_{\delta\Sigma}}{n_{\Sigma}} = \frac{50,5}{10} = 5,05 \text{ год.};$$

$$\text{коефіцієнт готовності } K_c = \frac{T_{oc}}{T_{oc} + T_{\delta c}} = \frac{159,4}{159,4 + 5,05} = 0,969.$$

З таблиці 2 згідно свого варіанту вибираємо вихідні дані і заносимо їх до таблиці 4 розрахунку імовірності безвідмовної роботи елементів.

Визначаємо параметр форми b_o по формулі:

$$b_o = \frac{1,126}{v_o} + \frac{0,011}{v_o^2} - 0,137.$$

Вихідні дані і результати розрахунку імовірності безвідмовної роботи елементів

№ елемента	T_o , год.	v_o	b_o	$\Gamma\left(1 + \frac{1}{b_o}\right)$	$R_o(100)$
1	450	0,5	2,16	0,8856	0,9706
2	200	0,7	1,49	0,9033	0,7364
3	400	0,6	1,77	0,8900	0,9324

Приклад:

$$b_{o1} = \frac{1,126}{0,5} + \frac{0,011}{0,5^2} - 0,137 = 2,16.$$

Визначаємо гамма-функцію $\Gamma(x)$ за її аргументом за допомогою додатка А.

$$\Gamma_1\left(1 + \frac{1}{b_{o1}}\right) = \Gamma_1\left(1 + \frac{1}{2,16}\right) = \Gamma_1(1,46) = 0,8856.$$

Визначаємо імовірність безвідмовної роботи елемента $R_o(T)$ на інтервалі T , поклавши в ній $K=0$ за формулою (13).

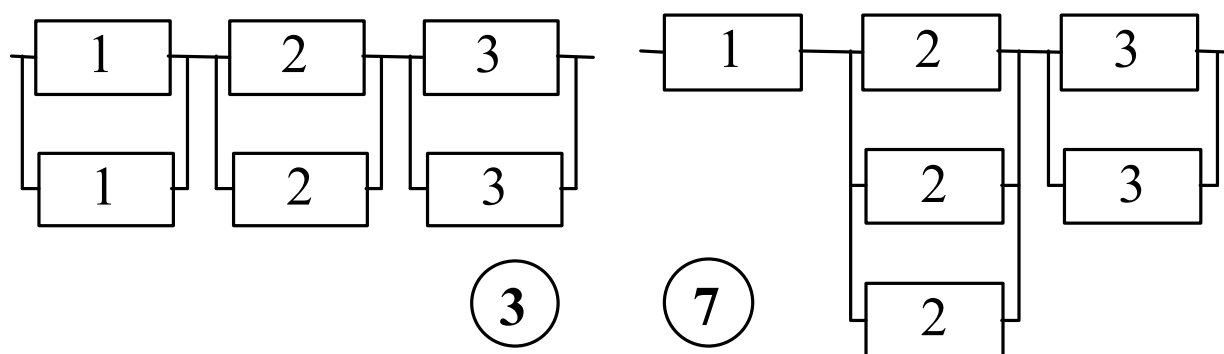
$$R_{o1}100 = \exp\left\{-\left[\frac{100 \cdot 0,8856}{450}\right]^{2,16}\right\} = \exp(-0,03) = 0,97.$$

Визначаємо імовірність безвідмовної роботи нерезервованої системи за формулою:

$$R_{nc} = R_{o1} \cdot R_{o2} \cdot R_{o3},$$

$$R_{nc}(100) = 0,9706 \cdot 0,7364 \cdot 0,9324 = 0,6664$$

Обираємо варіанти постійного резервування



Визначаємо імовірність безвідмовної роботи по варіанту 3.

В даному випадку усі три елементи з'єднані послідовно та кожен з них

має постійне резервування за паралельним з'єднанням, отже використовуємо наступні залежності:

$$R_c = 1 - (1 - R_1) \cdot (1 - R_1) = 1 - (1 - R_1)^2;$$

$$R_c = R_1 \cdot R_2 \cdot R_3;$$

$$R_{C1} = 1 - (1 - 0,9706)^2 = 0,9991; \quad R_{C2} = 1 - (1 - 0,7364)^2 = 0,9305;$$

$$R_{C3} = 1 - (1 - 0,9324)^2 = 0,9954; \quad R_{C^*} = 0,9991 \cdot 0,9305 \cdot 0,9954 = 0,9254.$$

Визначаємо імовірність безвідмовної роботи по варіанту 7.

В даному випадку всі три елементи з'єднані послідовно, але тільки другий та третій мають постійне резервування за паралельним з'єднанням, отже враховуючи, що другий елемент має два резервних елемента, а другий - один, використовуємо наступні залежності:

$$R_{c1} = R_1;$$

$$R_{c2} = 1 - (1 - R_2) \cdot (1 - R_2) \cdot (1 - R_2) = 1 - (1 - R_2)^3;$$

$$R_{c3} = 1 - (1 - R_3) \cdot (1 - R_3) = 1 - (1 - R_3)^2;$$

$$R_c = R_1 \cdot R_2 \cdot R_3;$$

$$R_{C2} = 1 - (1 - 0,7364)^3 = 0,9817;$$

$$R_{C3} = 1 - (1 - 0,9324)^2 = 0,9954;$$

$$R_{C^*} = 0,9706 \cdot 0,9817 \cdot 0,9954 = 0,9485.$$

Порівнюючи імовірності безвідмовних робіт, беремо більшу та ведемо подальший розрахунок для більшої імовірності безвідмовної роботи:

$$R_c^{3*} = 0,9254 < R_c^{7*} = 0,9485.$$

Отже, подальший розрахунок ведемо для системи зі схемою варіанту 7.

Перший елемент не має жодного резервного елемента, отже йому відповідають усі дані в таблиці 4.

Для другого елемента при $K=2$ і $T=100$ год.:

Визначаємо параметр форми по формулі:

$$b_c = \frac{1,126}{v_o} \sqrt{1+K} + \frac{0,011}{v_o^2} \cdot (1+K) - 0,137.$$

$$b_2 = \frac{1,126}{0,7} \sqrt{3} + \frac{0,011}{0,49} \cdot 3 - 0,137 = 2,72.$$

Значення гамма-функції з таблиці (додаток А):

$$\Gamma\left(1 + \frac{1}{2,72}\right) = 0,8893.$$

Імовірність безвідмовної роботи по формулі (12):

$$R_{c2}(100) = \exp \left[- \left(\frac{100 \cdot 0,8893}{200 \cdot 3} \right)^{2,72} \right] = 0,9945.$$

Для третього елемента при $K=1$ та $T=100$ год. маємо

$$b_3 = \frac{1,126}{0,6} \sqrt{2} + \frac{0,011}{0,36} \cdot 2 - 0,137 = 2,58;$$

$$\Gamma \left(1 + \frac{1}{2,58} \right) = 0,8879;$$

$$R_{c3}(100) = \exp \left[- \left(\frac{100 \cdot 0,8879}{400 \cdot 2} \right)^{2,58} \right] = 0,9966.$$

Імовірність безвідмовної роботи системи при $T=100$ год.

$$R_C(100) = 0,9706 \cdot 0,9945 \cdot 0,9966 = 0,962.$$

Визначаємо коефіцієнт оперативної готовності системи при $T=100$ год. за формулою:

$$K_{oz}(T) = K_z \cdot R_c(T);$$

$$K_{oz}(100) = 0,969 \cdot 0,962 = 0,9322.$$

Величини $R_c(T)$ і $K_{oz}(T)$ при значеннях $T=150$ год. і $T=200$ год. розраховуємо аналогічно і заносимо в табл. 5.

Таблиця 5

Результати розрахунків $R_c(T)$ і $K_{oz}(T)$

T , год.	0	100	150	200
R_{c1}	1	0,9706	0,9308	0,8751
R_{c2}	1	0,9945	0,9834	0,9640
R_{c3}	1	0,9966	0,9903	0,9796
R_c	1	0,9620	0,9065	0,8264
K_{oz}	0,969	0,9322	0,8784	0,8008

Будуємо графіки $R_c(T)$ і $K_{oz}(T)$ і визначаємо період роботи, рівний $\tilde{T} = 130$ год., що відповідає заданому значенню $\tilde{K}_{oz} = 0,9$ (рис. 3). На графіку наносимо постійний рівень $K_z = 0,969$.

Отримані показники комплексно характеризують надійність ремонтної системи.

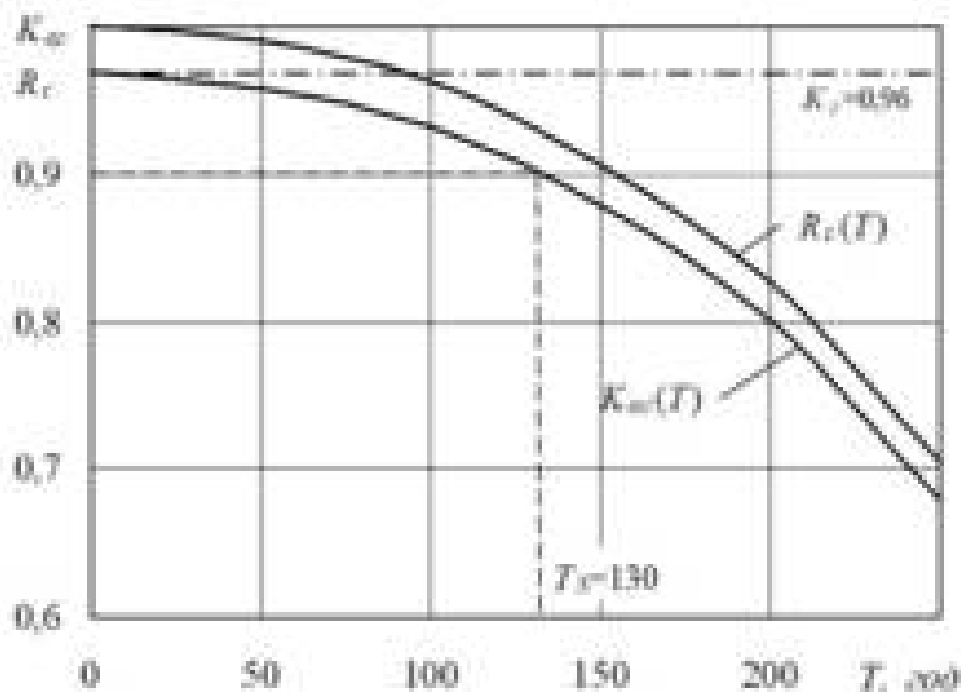


Рис. 3. *Графіки імовірності безвідмовної роботи і коефіцієнта оперативної готовності системи*

Питання для самоконтролю

1. Які показники надійності застосовують для ремонтованих об'єктів?
2. Які властивості об'єкту характеризує коефіцієнт готовності K_2 і як він визначається?
3. Які структурні схеми застосовують при з'єднанні елементів в системі?

Рекомендована література

1. Міцність та надійність машин: Навчальний посібник /В.Я.Анілович, О.С.Грінченко, В.В.Карабін, В.О.Літвінов, В.Л.Литвиненко, за ред. В.Я.Аніловича. –К., Урожай, 1996. 288с.
2. Анілович В.Я., Грінченко А.С., Литвиненко В.Л. Надежность машин в задачах и примерах /За ред В.Я.Аніловича. – Харьков: Око, 2001. – 320с.
3. Грінченко А.С. Механическая надежность мобильных машин: оценка, моделирование, контроль – Х.:Віровець А.П. «Апостроф», 2012. – 259 с.
4. Надійність машин: Практикум / Грінченко О.С., Кухтов В.Г., Алфьоров О.І., Савченко В.Б., Калінін Є.І., Іванов В.І., Юр'єва Г.П.; За ред. О.С. Грінченка, В.Г. Кухтова. – Х.: ТОВ «Планета-принт», 2018. 140 с.

Гамма-функція

x	Г(x)	x	Г(x)	x	Г(x)	x	Г(x)
1,00	1,00000	1,25	0,90640	1,50	0,88623	1,75	0,91906
01	0,99433	26	0,90440	51	0,88659	76	0,92137
02	0,98884	27	0,90250	52	0,88704	77	0,92376
03	0,98355	28	0,90072	53	0,88757	78	0,92623
04	0,97844	29	0,89904	54	0,88818	79	0,92877
1,05	0,97350	1,30	0,89747	1,55	0,88887	1,80	0,93138
06	0,96874	31	0,89600	56	0,88964	81	0,93408
07	0,96415	32	0,89464	57	0,89049	82	0,93685
08	0,95973	33	0,89338	58	0,89142	83	0,93969
09	0,95546	34	0,89222	59	0,89243	84	0,94261
1,10	0,95135	1,35	0,89115	1,60	0,89352	1,85	0,94561
11	0,94740	36	0,89018	61	0,89468	86	0,94869
12	0,94359	37	0,88931	62	0,89592	87	0,95184
13	0,93993	38	0,88854	63	0,89724	88	0,95507
14	0,93642	39	0,88785	64	0,89864	89	0,95838
1,15	0,93304	1,40	0,88726	1,65	0,90012	1,90	0,96177
16	0,92980	41	0,88676	66	0,90167	91	0,96523
17	0,92670	42	0,88636	67	0,90330	92	0,96877
18	0,92373	43	0,88604	68	0,90500	93	0,97240
19	0,92089	44	0,88581	69	0,90678	94	0,97610
1,20	0,91817	1,45	0,88566	1,70	0,90864	1,95	0,97988
21	0,91558	46	0,88560	71	0,91057	96	0,98374
22	0,91311	47	0,88563	72	0,91258	97	0,98768
23	0,91075	48	0,88575	73	0,91467	98	0,99171
24	0,90852	49	0,88595	74	0,91683	99	0,99581
1,25	0,90640	1,50	0,88623	1,75	0,91906	2,00	1,00000

Значення гамма-функції для $x < 1$ і $x > 2$ можуть бути обчислені відповідно за допомогою формул:

$$\Gamma(x) = \frac{\Gamma(x+1)}{x}; \quad \Gamma(x) = (x-1) \cdot \Gamma(x-1).$$

Навчальне видання

ОЦІНЮВАННЯ І ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НАДІЙНОСТІ РЕЗЕРВОВАНИХ СИСТЕМ

Методичні вказівки до виконання практичної роботи
з дисципліни "Основи надійності машин"

Укладачі:

ГРІНЧЕНКО Олександр Степанович

АЛФЬОРОВ Олексій Ігорович

САВЧЕНКО Володимир Борисович

ІВАНОВ Володимир Іванович

Формат 60×84 1/16. Гарнітура Times New Roman.

Папір для цифрового друку. Друк принтерний.

Умов. друк. арк. 0,5

Наклад 100 примірників.

Харківський національний технічний університет
сільського господарства імені Петра Василенка
61002, м. Харків, вул. Алчевських, 44