

**КАБІНЕТ МІНІСТРІВ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ І
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ**

Кафедра надійності техніки

**Методичні вказівки
Збірник
задач і завдань по теорії надійності
складної сільськогосподарської техніки**

Київ – 2014

УДК 631.

Збірник включає задачі кількісної оцінки надійності визначення показників по результатам статистичної обробки відмов сільськогосподарської техніки. Він охоплює основні етапи роботи машини, як невідновлюємих і відновлюємих систем, що допускають сервісні і ремонтні обслуговування.

Кожному розділу задач і завдань попередньо представлені короткі теоретичні відомості стосовно підходу до їх рішень. Всі задачі мають відповіді, деякі з них допускають декілька способів вирішення, про що вказується в завданні.

Ухвалено вченою радою факультету інженерії агробіосистем Національного університету біоресурсів і природокористування України, протокол, № 3 від 28 листопада 2014 р.

Укладачі: Бойко А.І., Савченко В.М., Міненко С.В. Новицький А. В., Ружи́ло З. В., Банний О.О., Сиволапов В.А., Морозовська З.А.

Рецензенти: Тарасенко С.Є., Мельник В.І.

Навчальне видання
Методичні вказівки

Збірник

**задач і завдань по теорії надійності
складної сільськогосподарської техніки**

з дисциплін „Надійність технічних систем” та „Надійність технічних систем обладнання лісового комплексу”

Укладачі: Бойко А.І., Савченко В.М., Міненко С.В. Новицький А. В., Ружи́ло З. В., Банний О.О., Сиволапов В.А., Морозовська З.А.

для студентів, які навчаються за напрямами підготовки 8.10010203 – „Механізація сільського господарства”

Зав. видавничим центром НУБіП України А.П. Колесніков

Видання здійснено за авторським редагуванням

Підписано до друку 17.12.14.

Формат 60x84 1/16.

Ум. друк. арк. 1,7

Обл.-вид. арк.1,7

Наклад 50 пр.

Зам. № .

Видавничий центр НУБіП України.

вул. Героїв Оборони, 15, Київ, 03041

Тел. 527-80-49.

1. Мета і задачі дисципліни.

Метою вивчення дисципліни є надання студентам необхідного обсягу знань вивчення дисципліни є підготовка студентів до самостійної інженерної діяльності з питань:

- розробки фізичних і математичних моделей технічних систем;
- аналіз напрямків створення та експлуатації сучасної техніки і технологій, як складних технічних систем;
- прогнозування, оцінювання, усунування причин виникнення відмов;

Відповідно до мети викладання дисципліни студенти мають вивчити та досконало знати:

- математичний апарат аналізу надійності технічних систем;
- основні показники надійності технічних систем і методи їх визначення;
- основи системного аналізу;
- розраховувати основні показники надійності;

В ході вивчення дисципліни студенти набувають навичок:

- застосування методик якісного аналізу надійності технічних систем;
- застосування кількісних методів розрахунку надійності технічних систем.

Задачі мають різні рівні складності: від простих для придбання практичних навичок, до більш складних, які можуть використовуватися при пропонуванні завдань для самостійної роботи.

Дане видання направлено на розширення і поглиблення теоретичних знань по надійності складних технічних систем і набуття навичок вирішення задач, визначення рівня надійності сучасних багатоопераційних сільськогосподарських машин.

Збірник адресовано насамперед студентам старших курсів технічних вищих навчальних закладів де вивчаються відповідні дисципліни. Матеріали збірника можуть бути також використані спеціалістами в галузі надійності техніки, а також працівниками зайнятими проблемами підвищення надійності машин і технічних систем.

Література

1. Гранкін С.Г. Надійість сільськогосподарської техніки / С.Г. Гранкін, В.С. Малахов, М.І. Черновол, В.Ю. Черкун. – К., Урожай. – 1998. – 208 с.
2. Дзюба Л. Основи надійності машин / Л. Дзюба, Ю. Зима, Є. Лютий. – Львів, Логос. – 2003. – 203 с.
3. Єрмолов Л.С. Основи надійності сільськогосподарської техніки / Л.С. Єрмолов, В.М. Кряжков, В.Е. Черкун – М., Колос. –1982. – 247.
4. Пронников А.С. Надежность машин / А.С. Пронников. – М.: Машиностроение, 1978. – 592 с.
5. Сухарев Э.А. Эксплуатационная надёжность машин. Теория, методология, моделирование / Э.А. Сухарев. – Ровно. – 2006. – 80 с.

Інтенсифікація сільськогосподарського виробництва обумовлює необхідність впровадження нових технологій, які в свою чергу потребують розробку більш складних багатофункціональних машин. Одною з невід'ємних характеристик таких машин, яка визначає їх придатність до використання є надійність. Параметри надійності займають важливе місце на всіх етапах циклу машин від їх створення до списання і утилізації. Особливо це відчутно в умовах ринкової економіки де вони відіграють одну з найважливіших ролей і багато в чому визначають конкурентоспроможність і потребу в машин споживачами.

Навики в вирішенні практичних завдань кількісної оцінки параметрів надійності сприяють кращому розумінню теоретичного матеріалу і розширюють можливість ефективного використання здобутків цієї науки для вирішення проблем забезпечення необхідного рівня надійності машин і їх комплексів.

Книга складається з шести розділів, кожен з яких починається теоретичними відомостями стосовно задач представлених в розділах. Приведені основні поняття і робочі формули для вирішення послідовних задач. Задачі по своєму рівню суттєво відрізняються починаючи від самих простих, що вирішуються прямою підстановкою початкових даних, до значно складніших, які потребують вирішення відповідних систем стохастичних диференціальних рівнянь.

Збірник охоплює задачі різних класів, які відповідають різним практичним ситуаціям, що виникають при розробці (створенні) машин їх експлуатації і відновленні працездатності. На прикладі роботи машин в період до першої відмови показані можливості розрахунків показників надійності для систем, що невідновлюються. Крім того, що цей матеріал охоплює певний важливий період роботи машин, він є також необхідним для подальшого переходу до вивчення надійності відновлюємих систем. Вирішення задач для останніх відповідає основним реаліям експлуатації сільськогосподарської техніки. При цьому визначаються не тільки показники надійності, але також відкриваються можливості раціонального планування періодичності і кількості проведення технічних оглядів, сервісного обслуговування і ремонтів машин.

В збірник не ввійшли більш складні задачі і завдання по встановленню показників надійності і динаміці їх змін при старінні техніки або в період її припрацювання. За винятком прикладів відносно простих вирішень диференціальних рівнянь, інші, як правило, потребують виконання перетворень Лапласа і представляють скоріше науковий інтерес для проведення відповідних теоретичних досліджень. Не знайшли в необхідному об'ємі в збірнику задачі оптимізації формування (синтезу) систем найбільш надійних при введенні відповідних критеріїв і обмежень. Однак методам перебору сприятливих гіпотез або варіантів побудови структурних схем надійності показані раціональні підходи в формуванні тих чи інших конструктивних рішень складних систем сільськогосподарського призначення.

1. КІЛЬКІСНА ОЦІНКА НАДІЙНОСТІ ПО СТАТИСТИЧНИМ ДАНИМ ВИПРОБУВАНЬ

1.1. Теоретичні відомості

Для кількісної оцінки рівня надійності виробу використовується відповідні показники. Їх величини виходячи з експериментальних даних знаходяться згідно наступних формул:

Ймовірність безвідмовної роботи

$$P(t) = \frac{N_0 - n(t)}{N_0},$$

де N_0 - початкова кількість виробів поставлених на дослідження;

$n(t)$ - кількість виробів, що відмовила за період t

Ймовірність відмов

$$F(t) = 1 - P(t)$$

Частота відмов

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

де $\frac{n(\Delta t)}{\Delta t}$ - число відмов виробів за одиницю наробітку;

$n(\Delta t)$ - число відмовивших зразків в інтервалі від $-\frac{\Delta t}{2}$ до $+\frac{\Delta t}{2}$

Інтенсивність відмов

$$\lambda(t) = \frac{\frac{n(\Delta t)}{\Delta t}}{N_{\bar{n}\delta}},$$

де $N_{\bar{n}\delta}$ - середнє число справно працюючих виробів в інтервалі наробітку Δt

$$N_{\bar{n}\delta} = \frac{N_i + N_{i+1}}{2}$$

де N_i - число виробів, які справно працювали на початку інтервалу Δt ;

N_{i+1} - число виробів, які справно працювали на кінці інтервалу Δt .

Експоненціальний закон надійності

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

Інтенсивність відмов системи при експоненціальному закону надійності

$$\lambda_c = \sum_{i=1}^n \lambda_i,$$

де λ_i - інтенсивності відмов елементів (складових) системи;

n - кількість елементів (складових) в системі.

Середній наробіток на відмову

$$\bar{t} = \frac{1}{\lambda}$$

Коефіцієнт готовності

$$K_{\bar{a}} = \frac{t_p}{t_p + t_{\bar{a}}}$$

де t_p - час роботи системи;

$t_{\bar{a}}$ - час відновлення системи.

Дисперсія

$$D = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (t_i - \bar{t})^2$$

Середнє квадратичне відхилення

$$\sigma = \sqrt{D}$$

Коефіцієнт варіації

$$\gamma = \frac{\sigma}{\bar{t}}$$

1.2. Умови задач і відповіді

ЗАДАЧА 1.2.1

На випробування поставлено 30 однакових лемешів. За 12 га наробітку відмовило 7 лемешів. Знайти ймовірність безвідмовної роботи і ймовірність відмов на протязі означеного наробітку.

Відповідь:

Ймовірність безвідмовної роботи $P(t) = 0,77$;

Ймовірність відмов $F(t) = 0,23$.

ЗАДАЧА 1.2.2

На випробування поставлено 30 однакових лемешів. За 12 га відмовило 7, а за інтервал наробітку 12 га - 15 га відмовило ще 2 леміши. Визначити частоту і інтенсивність відмов в інтервалі наробітку 12 га - 15 га.

Відповідь:

Частота відмов $a_{(12-15)} = 0,02 \text{ } 1/_{\text{га}}$;

Інтенсивність відмов $\lambda_{(12-15)} = 0,03 \text{ } 1/_{\text{га}}$.

ЗАДАЧА 1.2.3

Кормоцех має у своєму складі 5 машин. Відмова будь-якої з них приводить до відмови всього кормоцеху.

Згідно результатів спостережень подрібнювач відмовив 19 разів на протязі 1021 год. роботи, змішувач – 13 разів на протязі 993 год., а всі інші машини на протязі 370 год. відмовили 4, 7 і 5 разів відповідно.

Знайти наробіток на відмову кормоцеху в цілому, якщо справедливий експоненціальний закон надійності для кожної з п'яти машин

Відповідь: $\bar{t} = 13,33 \text{ год.}$

ЗАДАЧА 1.2.4

Відомо, що інтенсивність відмов машини складає $0,03 \text{ } 1/_{\text{га}}$, а середній час відновлення дорівнює 10 год. визначити коефіцієнт готовності машини.

Відповідь: $K_2 = 0,77$.

ЗАДАЧА 1.2.5

Проводились спостереження за роботою 3^х однакових кормодробарок. При цьому зафіксовано, що перша дробарка відмовила 4 рази, друга – 7, а третя 5. Наробіток першої дробарки склав 203 год., другої 295, а третьої 232 год. Знайти середній наробіток дробарок на відмову.

Відповідь: $\bar{t} = 45,6$ год.

ЗАДАЧА 1.2.6

На дослідження поставленні 50 лемешів. За період випробувань 21 га всі вони при різних наробітках вийшли з ладу. Генеральна сукупність даних напрацювань лемешів приведена в таблиці.

№ лемешу	Наробіток, га	№ лемешу	Наробіток, га	№ лемешу	Наробіток, га	№ лемешу	Наробіток, га	№ лемешу	Наробіток, га
1.	13,2	11.	2,5	21.	2,9	31.	15,5	41.	7,0
2.	0,7	12.	9,4	22.	11,1	32.	17,7	42.	19,8
3.	12,8	13.	9,3	23.	6,6	33.	6,3	43.	18,1
4.	11,8	14.	7,1	24.	11,7	34.	15,8	44.	7,0
5.	14,1	15.	13,1	25.	3,3	35.	12,7	45.	20,7
6.	10,1	16.	3,1	26.	4,8	36.	7,8	46.	11,1
7.	14,8	17.	10,5	27.	11,7	37.	14,3	47.	5,3
8.	8,9	18.	11,1	28.	3,2	38.	5,9	48.	17,1
9.	12,6	19.	8,3	29.	5,5	39.	16,9	49.	14,5
10.	9,3	20.	10,8	30.	8,1	40.	12,4	50.	8,7

Побудувати гістограму розподілу наробітку розбивши загальний наробіток на 7 ділянок. Визначити середній наробіток на відмову лемешів. Знайти дисперсію, середньоквадратичне відхилення і коефіцієнт варіації.

2. НАДІЙНІСТЬ СИСТЕМ ПРИ ОСНОВНОМУ (ПОСЛІДОВНОМУ) З'ЄДНАНІ СКЛАДОВИХ ЕЛЕМЕНТІВ

2.1. Теоретичні відомості

Аналітичне визначення кількісних характеристик надійності в загальному вигляді:

Ймовірність безвідмовної роботи $P(t) = e^{-\int_0^t \lambda(t) dt}$

Ймовірність відмов $F(t) = 1 - P(t)$

Частота відмов (щільність ймовірності часу безвідмовної роботи) $a(t) = \frac{dF(t)}{dt} = -\frac{dP(t)}{dt}$

Інтенсивність відмов $\lambda(t) = \frac{a(t)}{P(t)}$

Середній час безвідмовної роботи $\bar{t} = \int_0^{\infty} P(t) dt$

Для експоненціального закону розподілу часу безвідмовної роботи:

Ймовірність безвідмовної роботи $P(t) = e^{-\lambda(t)}$

Ймовірність відмов $F(t) = 1 - e^{-\lambda(t)}$

Частота відмов $a(t) = \lambda \cdot e^{-\lambda(t)}$

Інтенсивність відмов $\lambda(t) = \lambda$

Середній час безвідмовної роботи $\bar{t} = \frac{1}{\lambda}$

Ймовірність безвідмовної роботи виражена через ймовірність відмов елементів при послідовному їх з'єднанні

$$P_c(t) = \prod_{i=1}^n P_i(t) = 1 - \sum_{i=1}^n F_i(t)$$

де n – кількість елементів в системі

2.2. Умови задач і відповіді

ЗАДАЧА 2.2.1

Машини кормозбирального комплексу (системи) мають в своєму складі 834 однакових деталей з інтенсивністю відмов кожної з них $0,21 \cdot 10^{-6} \text{ 1/год}$.

Необхідно знайти ймовірність безвідмовної роботи комплексу на протязі 50 годин і середній наробіток його до першої відмови, якщо справедливий експоненціальний закон надійності.

Відповідь:

$$P_{(50)} = 0,92$$
$$\bar{t} = 5714 \text{ год}$$

ЗАДАЧА 2.2.2

Комбікормовий агрегат (система) складається з 5 блоків, що подають компоненти суміші. Надійність блоків характеризується ймовірностями безвідмовної роботи і дорівнюють $P_1 = 0,98$, $P_2 = 0,99$, $P_3 = 0,95$, $P_4 = 0,97$, $P_5 = 0,96$.

Знайти ймовірність безвідмовної роботи системи.

Відповідь:

$$P = 0,85$$

ЗАДАЧА 2.2.3

Система подачі компонентів корму на змішування в комбікормовому агрегаті складається з трьох пристроїв. Інтенсивність відмов першого дорівнює $\lambda_1 = 0,11 \cdot 10^{-3} \text{ 1/год}$ і є величиною сталою. Інтенсивність відмов двох інших пристроїв залежить від часу і визначаються наступними формулами:

$$\lambda_2 = 0,28 \cdot 10^{-4} t;$$

$$\lambda_3 = 0,05 \cdot 10^{-6} t^{2,5}.$$

Розрахувати ймовірність безвідмовної роботи системи подачі компонентів корму на протязі 100 годин.

Відповідь:

$$P_c(t) = 0,65$$

ЗАДАЧА 2.2.4

Дробарка (система) включає в себе дозатор, подрібнювальну камеру і вигрузний транспортер. Середні наробітки до першої відмови цих підсистем складають: $t_1 = 180 год$, $t_2 = 410 год$, $t_3 = 590 год$. Справедливий експоненціальний закон надійності.

Знайти середній наробіток до першої відмови дробарки.

Відповідь: $\bar{t} = 103,1 год$.

ЗАДАЧА 2.2.5

Завантажувальний транспортер складається з двох основних пристроїв: полотна і приводу. Ймовірність безвідмовної роботи кожного з них на протязі 100 год. складає: $P_1(100) = 0,91$; $P_2(100) = 0,96$. Справедливий експоненціальний закон надійності.

Знайти середній наробіток до першої відмови транспортера (системи).

Відповідь: $\bar{t} = 714,3 год$

ЗАДАЧА 2.2.6*

Нерезервована система складається з 5 елементів. Інтенсивність їх відмов приведені в таблиці

№ елемента	Інтенсивність відмов $\lambda_i, год^{-1}$
1	0,00007
2	0,00005
3	0,00004
4	0,00006
5	0,00004

Визначити показники надійності системи:

- інтенсивність відмов;
- середній час безвідмовної роботи;
- ймовірність безвідмовної роботи;
- щільність розподілу часу безвідмовної роботи.

Показники надійності $P(t)$ і $f(t)$ отримати на інтервалі від 0 до 1000 год. з кроком 100 год.

Побудувати графіки $P(t)$ і $f(t)$

Відповідь: $\lambda_c = 0,00026 \text{ год}^{-1}$; $t_c = 3846 \text{ год}$; $P_c = e^{-0,00026 \cdot t}$;

$$f_c = \lambda_c \cdot e^{-\lambda_c t} = 0,00026 \cdot e^{-0,00026 \cdot t}.$$

3. РЕЗЕРВУВАННЯ СИСТЕМ ЩО НЕВІДНОВЛЮЮТЬСЯ

3.1. Теоретичні відомості

Ймовірність безвідмовної роботи пасивно резервованої системи визначається згідно приведеної формули при умові коли:

- ідеальне переключення;
- всі елементи ідентичні;
- інтенсивність відмов постійна;
- резервні елементи мають такі ж характеристики, як і нові;
- відмови статично не залежні.

$$P_c(t) = e^{-\lambda_0 t} \sum_{i=0}^m \frac{(\lambda_0 t)^i}{i!};$$

де $\lambda_0 = n \cdot \lambda_i$ – інтенсивність відмов основного ланцюга структурної схеми надійності системи;

n – кількість елементів основного ланцюга;

λ_i – інтенсивність відмов одного окремого елемента;

$m = \frac{n_{\text{д\acute{a}\text{c}\acute{a}\text{d}\acute{a}\text{i}\acute{e}\acute{o}}}}{n_{\text{д\acute{a}\text{c}\acute{a}\text{d}\acute{a}\text{d}\acute{a}\text{o}\text{'}\acute{e}\acute{o}}}}$ - кратність резервування;

$n_{\text{д\acute{a}\text{c}\acute{a}\text{d}\acute{a}\text{i}\acute{e}\acute{o}}}$ - кількість резервних елементів;

$n_{\text{д\acute{a}\text{c}\acute{a}\text{d}\acute{a}\text{d}\acute{a}\text{o}\text{'}\acute{e}\acute{o}}}$ - - кількість резервуючих елементів;

t – час експлуатації (наробіток);

i – текучий номер складової суми.

Середній наробіток до першої відмови:

$$\bar{t}_c = \bar{t}_0 (m + 1),$$

де: \bar{t}_0 - середній наробіток основного ланцюга структурної схеми надійності системи.

Ймовірність безвідмовної роботи системи при навантаженому (активному) резервуванні (рівнонадійні елементи):

$$P_c(t) = 1 - \left[1 - \prod_{i=1}^n P_i(t) \right]^{m+1};$$

де m – кратність резервування.

Розкладання функції e^x в ряд Макларена

$$e^x = 1 - x + \frac{x^2}{2!} - \frac{x^3}{3!} + \dots + \frac{x^n}{n!};$$

Середній наробіток до першої відмови при активному постійно включеному резервуванні

$$\bar{t} = t_0 \cdot \sum_{i=0}^m \frac{1}{i+1}$$

Ймовірність безвідмовної роботи системи при паралельному зєднанні (навантажений резерв)

Загальний випадок (різні елементи)

$$P_c = 1 - \prod_{i=1}^m (1 - P_{P_i(t)});$$

m – загальна кількість ланцюжків.

При однакових елементах

$$P_{c(t)} = 1 - [1 - P_i(t)]^m.$$

Ймовірність безвідмовної роботи системи при паралельному з'єднанні (ненавантажений резерв)

Загальний випадок (різні елементи)

$$P_c(t) = \prod_{i=1}^n \left[1 - \prod_{i=1}^m (1 + P_i) \right];$$

m – загальна кількість ланцюжків;

n – кількість елементів в ланцюжку.

При однакових елементах

$$P_c(t) = [1 - (1 - P_i)^m]^n;$$

Щільність розподілу часу безвідмовної роботи (частина відмов)

$$f(t) = \frac{P(t) - P(t + \Delta t)}{\Delta t};$$

$P(t)$ – ймовірність безвідмовної роботи на початку інтервалу;

$P(t + \Delta t)$ – ймовірність безвідмовної роботи в кінці інтервалу;

Δt – довжина інтервалу (наробіток).

Виграш надійності:

$$G_{P(t)} = \frac{P_{cp}(t)}{P_c(t)};$$

$$G_{F(t)} = \frac{F_{cp}(t)}{F_c(t)};$$

$$G_t = \frac{\bar{t}_p}{t}.$$

Дробна кратність резервування:

$$m = \frac{l - h}{h}$$

l – загальна кількість елементів у резервованій системі;

h – мінімальна кількість елементів, що забезпечує нормальну роботу системи.

Ймовірність безвідмовної роботи системи при дробній кратності:

$$P_c(t) = \sum_{i=0}^{l-h} C_l^i P_0^{l-i}(t) \sum_{j=0}^i (-1)^j C_i^j P_0^j(t);$$

$$C_i^j = \frac{e!}{i!(e-i)!};$$

$P_0(t)$ - ймовірність безвідмовної роботи основної або будь-якої резервної системи.

3.2. Умови задач і відповіді

ЗАДАЧА 3.2.1

Транспортер-сепаратор картоплезбирального комплексу складається з 638 однакових елементів. В запасні частини покладено ще три елементи на випадок заміни пошкоджених.

Необхідно визначити ймовірність безвідмовної роботи і наробіток до першої відмови транспортера на протязі 10000 год., якщо відомо, що інтенсивність відмов одного елемента дорівнює $0,2 \cdot 10^{-6}$ 1/год.

Під відмовою транспортера треба розуміти подію, коли він не може працювати, а запасні елементи вичерпані.

$$\text{Відповідь: } P_c(10000) = 0,96;$$

$$\bar{t}_c = 31250 \text{ год.}$$

ЗАДАЧА 3.2.2

Ймовірність безвідмовної роботи кормодробарки в складі кормоцеху на протязі 1000 год. дорівнює 0,9. Для підвищення надійності кормоцеху передбачена також дробарка, яка включається в роботу при відмові першої.

Необхідно розрахувати ймовірність безвідмовної роботи і середній наробіток до першої відмови кормоцеху як системи, яка складається з двох дробарок.

$$\text{Відповідь: } P_c(1000) = 0,99;$$

$$\bar{t}_c = 20000 \text{ год.}$$

ЗАДАЧА 3.2.3

Визначити ймовірність безвідмовної роботи системи з паралельно включеними двома і трьома елементами, якщо ймовірність безвідмовної роботи кожного з них складає 0,93.

$$\text{Відповідь: } P_{c2} = 0,995;$$

$$P_{c3} = 0,9997.$$

ЗАДАЧА 3.2.4

Система складається з двох елементів один з яких основний, а другий резервний заміщення. Другий (резервний) елемент включається в роботу тільки тоді, коли відмовив перший (основний). Ймовірність безвідмовної роботи кожного з елементів дорівнює 0,85.

Розрахувати ймовірність безвідмовної роботи системи.

Відповідь: $P_c(t) = 0,98$.

ЗАДАЧА 3.2.5

Ходова система легкового автомобіля складається з чотирьох основних і одного запасного коліс. Ймовірність безвідмовної роботи цих коліс дорівнюють $P_c(t) = 0,97$.

Розрахувати ймовірність досягнення автомобілем пункту призначення при відсутності запасного колеса і при його наявності. Визначити вигравш надійності по критерію ймовірності безвідмовної роботи.

Відповідь: $P_c(t) = 0,885$;

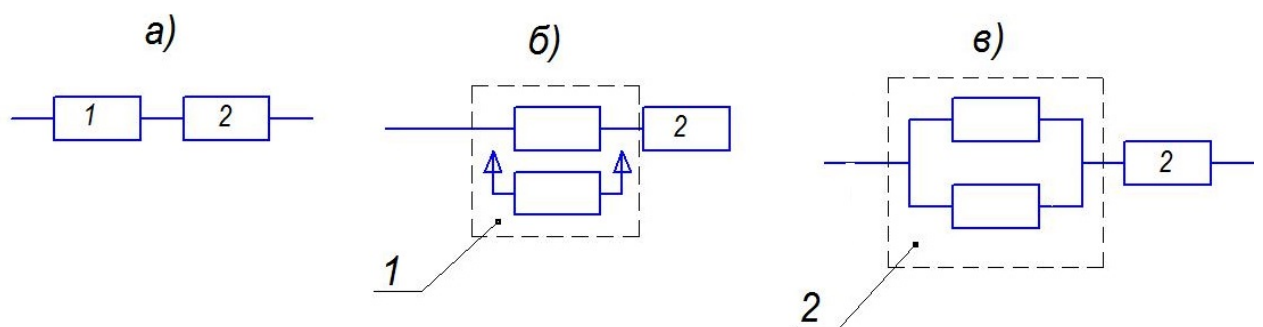
$P_{cp}(t) = 0,996$;

$G_{P(t)} = 1,13$.

ЗАДАЧА 3.2.6

Конструкторами може бути запропоновано три варіанти схеми побудови виробу. Всі елементи конструкцій мають середній наробіток на відмову $\bar{t}_a = 280$ год.

Який із варіантів кращий по надійності, якщо надійність оцінюється по середньому наробітку до першої відмови. Визначити вигравш надійності по цьому критерію.



Відповідь: $\bar{t}_a = 140$ год;

$\bar{t}_a = 186$ год;

$\bar{t}_a = 168$ год;

$G_{тб} = 1,34$;

$G_{тв} = 1,2$.

ЗАДАЧА 3.2.7

Система складається з 10 однакових по надійності елементів. Ймовірність безвідмовної роботи кожного з них за час t дорівнює $P(t) = 0,9$. резервом передбачено ще дві такі ж системи.

Якому способу резервування надати перевагу: роздільному чи загальному. Визначити виграш надійності.

Відповідь: $P_{c \text{ загальне}} = 0,73$;

$$P_{c \text{ роздільне}} = 0,99;$$

$$\text{виграш надійності } G_p = 1,36.$$

ЗАДАЧА 3.2.8

Шнек і його привід представляють головні складові роздавача кормів. Інтенсивність відмов привода дорівнює $2 \cdot 10^{-3} \text{ год}^{-1}$, а шнека $5 \cdot 10^{-3} \text{ год}^{-1}$.

Визначити ймовірність безвідмовної роботи системи на протязі 100 год експлуатації. Розрахувати її середній наробіток на відмову.

Відповідь: $P_c = 0,5$;

$$\bar{t}_c = 142,9 \text{ год.}$$

ЗАДАЧА 3.2.9

Система складається з чотирьох послідовно з'єднаних елементів. Ймовірності їх відмов дорівнюють $F_1 = 0,01$, $F_2 = 0,1$, $F_3 = F_4 = 0,04$.

Визначити виграш надійності якщо другий елемент системи доблювати таким же.

Відповідь: $G_p = 1,1$.

ЗАДАЧА 3.2.10

Система складається з двох паралельно включених елементів. Час експлуатації системи – 200 год. при однакових інтенсивностях відмов, що дорівнюють $2 \cdot 10^{-4} \text{ 1/год}$.

Знайти ймовірність безвідмовної роботи системи і її середній наробіток на відмову якщо справедливий експоненціальний закон надійності.

Відповідь: $P_c = 0,96$;

$\bar{t} = 5000$ год.

ЗАДАЧА 3.2.11*

Нерезервована система складається з п'яти елементів. Інтенсивність їх відмов приведені в таблиці.

Номер елемента	1	2	3	4	5
Інтенсивність відмов $\lambda_i, \text{год}^{-1}$	0,000 07	0,000 05	0,000 04	0,000 06	0,000 04

Справедливий експоненціальний закон.

Визначити показники надійності системи:

- інтенсивність відмов;
- середній час безвідмовної роботи;
- ймовірність безвідмовної роботи;
- щільність розділу часу безвідмовної роботи (частота відмов).

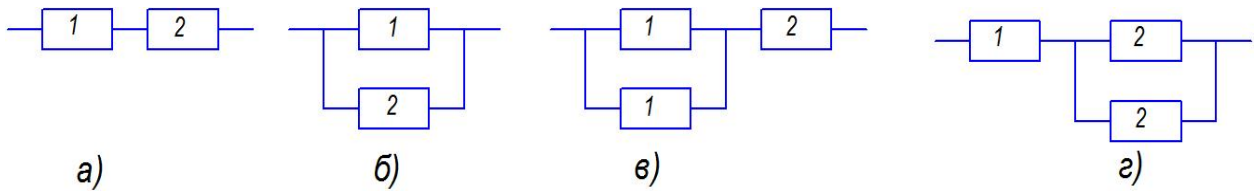
Показники надійності $P(t)$ і $f(t)$ отримати на інтервалі від 0 до 1000 год, з кроком 100 год. побудувати гістограму.

Відповідь: $\lambda_c = 2,6 \cdot 10^{-4}$ 1/год;

$\bar{t}_c = 3846$ год.

ЗАДАЧА 3.2.12

Знайти ймовірність безвідмовної роботи чотирьох схем з'єднань, якщо відомі значення ймовірностей безвідмовної роботи самих елементів: $P_1=0,9$; $P_2 = 0,6$.



Зробити аналіз результату.

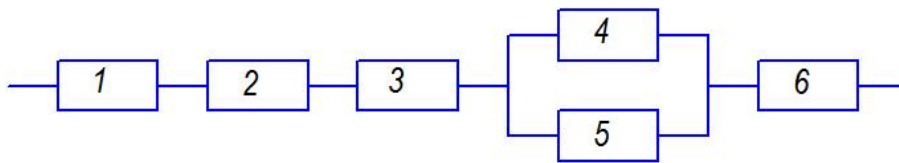
ЗАДАЧА 3.2.13

Є чотири послідовно з'єднані елементи ймовірності безвідмовних робіт яких складають: $P_1(t) = 0,95$; $P_2(t) = 0,81$; $P_3(t) = 0,99$; $P_4(t) = 0,95$. В резерві є ще один елемент з $P_5(t) = 0,81$. як його використати, щоб досягти найбільший рівень надійності системи.

Відповідь: $P_c = 0,84$.

ЗАДАЧА 3.2.14

Необхідно визначити ймовірність безвідмовної роботи сівалки за період в 1000 год. по варіанту структурно-логічної схеми представленої на рис.



1. Пневмосистема ($P_1 = 0,83$).
2. Трансмісія ($P_2 = 0,77$).
3. Висівний апарат ($P_3 = 0,7$).
- 4.5. Прикатуючі катки ($P_{4,5} = 0,9$).
6. Сошник ($P_6 = 0,72$).

Відповідь: $P_c = 0,32$.

ЗАДАЧА 3.2.15

Автомобільний двигун має чотири свічки запалення по одній на кожен циліндр. Інтенсивність відмов свічки $\lambda = 10^{-3}$ 1/год, а продовженість роботи двигуна за всю поїздку складає 20 год.

Передбачається, що автомобіль може їхати також при одному непрацюючому циліндрі. Яка ймовірність того, що автомобіль доставить вантаж

до місця призначення без заміни свічок. (Задачу вирішити із застосуванням кратного резервування).

Відповідь: $P_c(20) = 0,9977$.

ЗАДАЧА 3.2.16

Система електропостачання теплиці складається з чотирьох генераторів номінальна потужність кожного з них 18 кВт. Безаварійна робота теплиці ще можлива, якщо система електропостачання може забезпечувати споживача потужністю 30 кВт. Необхідно визначити ймовірність безвідмовної роботи системи енергопостачання протягом часу $t = 600$ год., середній час безвідмовної роботи t , частоту відмов $a(t)$ і інтенсивність відмов $\lambda(t)$, якщо інтенсивність відмов кожного з генераторів 10^{-3} 1/год.

ЗАДАЧА 3.2.17

Для підвищення точності вимірювання деякої величини застосована схема групування приладів з п'яти по три, тобто результат вимірювання вважається вірним за показаннями середнього від трьох приладів. Потрібно знайти ймовірність безвідмовної роботи $P_c(t)$, середній час безвідмовної роботи \bar{t} такої системи, а також частоту відмов $a(t)$ і інтенсивність відмов системи, якщо інтенсивність відмов кожного приладу $\lambda = 0,4 \cdot 10^{-3}$ 1/год.

Відповідь:

ЗАДАЧА 3.2.18

Машина складається з великої кількості елементів, серед яких 512 однакових ланок ланцюгів. Інтенсивність відмов ланок $\lambda = 1,97 \cdot 10^{-5}$ 1/год. Машина допускає невеликі перерви в роботі на час заміни пошкоджених ланок. Пошкоджені елементи не відновлюються, а запасні при зберіганні не пошкоджуються.

Скільки треба запасних ланок, для того щоб ймовірність безвідмовної роботи машини в наслідок відмов ланцюгів була не нижче 0,98 на протязі часу $t=100$ год.

Відповідь: не менше трьох.

ЗАДАЧА 3.2.19

Для підвищення надійності системи, що складається з $N=5600$ елементів застосовано дублювання кожного елемента з постійно включеним резервом. Якою повинна бути середня інтенсивність відмов елемента, якщо необхідно щоб ймовірність безвідмовної роботи системи на протязі часу $t=300$ год. була не нижче $P(t)=0,99$.

Відповідь: $\lambda_{\text{ср}} = 1/300 \ln \left[1 - \sqrt{1 - \sqrt[5600]{0,99}} \right]$;
 $\lambda_i \leq 4,45 \cdot 10^{-6}$.

ЗАДАЧА 3.2.20

Система складається з 1000 елементів. Тривалість її роботи 2000 год. елементи системи високонадійні $\lambda=0,2 \cdot 10^{-6}$ 1/год.

Підрахувати ймовірність безвідмовної роботи системи виходячи з експоненціального закону надійності. Визначити виграш (програш) надійності по критерію ймовірності відмов G_F якщо потрібно, щоб $F(t) \leq 0,01$. запропонувати структурне резервування для досягнення рівня $P=0,99$. При цьому визначити кількість необхідних систем.

Відповідь: $G_F = 33$;

Доцільне ненавантажене по елементне резервування з $m=2$.

3.1. РОЗРАХУНОК НАДІЙНОСТІ СКЛАДЕНИХ СИСТЕМ МЕТОДОМ ДЕКОМПОЗИЦІЇ СТРУКТУРНИХ СХЕМ.

3.2. Теоретичні відомості

Ймовірність безвідмовної роботи при активному резервуванні і нерівно надійних елементах.

$$P_c(t) = 1 - \prod_{i=0}^m F_i(t) = 1 - \prod_{i=0}^m [1 - P_i(t)];$$

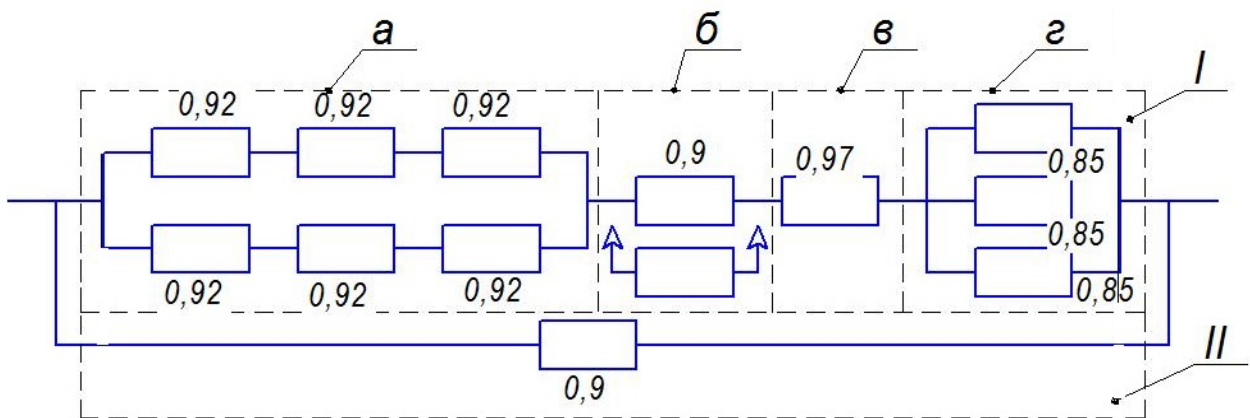
де: m – кількість ланцюгів в структурній схемі надійності системи.

4.2. Умови задач і відповіді

ЗАДАЧА 4.2.1

Структурна схема надійності гідравлічної системи управління жаткою сучасного зернозбирального комбайну представлена на рисунку, де позначені ймовірності роботи окремих її елементів.

Визначити ймовірність безвідмовної роботи гідравлічної системи.



Відповідь: $P_c(t) = 0,991$.

ЗАДАЧА 4.2.2

Визначити ймовірність успішного завершення поїздки на вантажному автомобілі зі спареними задніми колесами при ймовірності безвідмовної роботи кожного з них 0,95.

Відповідь: 0,898.

4. НАДІЙНІСТЬ ВІДНОВЛЕНИХ СИСТЕМ

4.1. Теоретичні відомості.

Рівняння динамічного балансу ймовірностей (рівняння Колмагорова)

$$\frac{dP_i(t)}{dt} = \sum_{j=1}^n \lambda_{ji}(t)P_j(t) - P_i(t)\sum_{i=1}^n \lambda_{ij}(t),$$

де $i = 1, 2, 3, \dots; j = 1, 2, 3$ – стани системи.

Правило Крамара

$$P_i = \frac{\Delta_i}{\Delta},$$

де: Δ – основна матриця;

Δ_i – матриця i -го стану.

Коефіцієнт готовності: $K_{\bar{A}} = \lim_{t \rightarrow \infty} K_{\bar{A}}(t);$

Коефіцієнт простою: $K_{\bar{I}} = \lim_{t \rightarrow \infty} K_{\bar{I}}(t),$

де: $K(t)$ – функція готовності;

$K_{II}(t)$ – функція простою.

Співвідношення: $K_{\bar{A}}(t) + K_{\bar{I}}(t) = 1$

$$K_{\bar{A}} + K_{\bar{I}} = 1$$

При декількох працездатних станах системи функція готовності:

$$K_{\bar{A}}(t) = \sum_{j=1}^n P_j(t);$$

де: n – число працездатних станів;

$P_j(t)$ – ймовірність j -го працездатного стану.

Функція простою

$$K_{\bar{I}}(t) = \sum_{j=1}^{m+1-n} P_j(t);$$

де: $P_j(t)$ – ймовірність j -го не працездатного стану;

$m+1$ – загальна кількість станів.

5.2. Умови задач і відповіді

ЗАДАЧА 5.2.1

Енергетична система теплиці має два автономних генератора. Генератори працюють по черзі і кожен з них по потужності задовольняє теплицю. При відмові одного генератора в роботу включається резервний, а той що відмовив – ремонтується. Відмови енергетичної системи настає коли відмовили обидва генератора, тобто припинено подачу електроенергії.

Допускається і можливий одночасний ремонт обох генераторів. Інтенсивність відмов генератора дорівнює λ , а інтенсивність відновлення – μ .

Визначити коефіцієнт готовності енергетичної системи якщо $\mu=10\lambda$. Передбачається експоненціальний розподіл часу безвідмовної роботи і часу відновлення генераторів.

Відповідь: $K_z = 0,98$.

ЗАДАЧА 5.2.2

Кормоцех має дві дробарки одна з яких використовується, а друга знаходиться у ненавантаженому резерві. При відмові першої друга включається в роботу, а перша підлягає ремонту. Інтенсивність відмов дробарки $\lambda=2 \cdot 10^{-3}$ 1/год., а відновлення $\mu=0,2$ 1/год. Знайти коефіцієнт готовності K_z системи.

Відповідь: $K_z=0,99$.

ЗАДАЧА 5.2.3

Дробарка має завантажувальний і розвантажувальний транспортери інтенсивності відмов яких однакові і дорівнюють $\lambda=10^{-2}$ 1/год. Інтенсивності відновлень складають $\mu=2$ 1/год. Дробарку обслуговує одна ремонтна бригада. При непрацездатності будь-якого з транспортерів дробарка вважається непрацездатною. Працездатна дробарка не виключається з роботи і в ній можуть відбуватися відмови.

Знайти коефіцієнт готовності K_z і коефіцієнт простою K_n дробарки.

Відповідь: $K_z = 0,99$;

$$K_n = 10^{-2}.$$

ЗАДАЧА 5.2.4

Система подачі корму складається з трьох живильників, два з яких включені послідовно в основну технологічну лінію, а третій знаходиться в стані ненавантаженого резерву. Відомо також, що інтенсивністю відмов другого живильника (λ_2) можна знехтувати в порівнянні з інтенсивностями відмов першого і третього $\lambda_1 = \lambda_3 \gg \lambda_2$. При відмовах можливе тільки почергове (послідовне) відновлення живильників.

Потрібно визначити K_z і K_n , причому $\lambda = \mu$.

Відповідь: $K_z = 0,6666$;

$K_n = 0,3333$.

6. ЕВРИСТИЧНІ МЕТОДИ ВИЗНАЧЕННЯ ПОКАЗНИКІВ НАДІЙНОСТІ

6.1. Теоретичні відомості

Перебір гіпотез

$$P_c(t) = \sum_{i=1}^k P_i(t);$$

де: $P_i(t)$ – ймовірність сприятливої гіпотези;

k – кількість сприятливих гіпотез.

6.2. Умови задач і відповіді

ЗАДАЧА 6.2.1

Автомобільний двигун має чотири свічки запалення по одній на кожен циліндр. Інтенсивність відмов свічки $\lambda = 10^{-3}$ 1/год., а продовженість роботи двигуна за всю поїздку складає 20 год.

Передбачається, що автомобіль може їхати також при одному не працюючому циліндрі. Яка ймовірність того, що автомобіль доставить вантаж до місця призначення без заміни свічок (задачу вирішити методом перебору гіпотез).

Відповідь: $P_c(20) = 0,9977$.