Міністерство освіти і науки України
Центральноукраїнський національний технічний університет

Факультет будівництва, транспорту та енергетики
Кафедра експлуатації та ремонту машин

НАДІЙНІСТЬ ТЕХНІКИ В АГРОПРОМИСЛОВОМУ КОМПЛЕКСІ

Методичні рекомендації до виконання практичник робіт

2024

Міністерство освіти і науки України
Центральноукраїнський національний технічний університет

Факультет будівництва, транспорту та енергетики
Кафедра експлуатації та ремонту машин

НАДІЙНІСТЬ ТЕХНІКИ В АГРОПРОМИСЛОВОМУ КОМПЛЕКСІ

Методичні рекомендації до виконання практичних робіт для здобувачів денної та заочної форми навчання спеціальності 208 “Агроінженерія”

***Затверджено** на засіданні кафедри «Експлуатація та ремонт машин»*
Протокол №1 від 30.08.2024 р.

2024

Надійність техніки в агропромисловому комплексі: Методичні рекомендації до виконання практичних робіт для здобувачів денної та заочної форми навчання спеціальності 208 “Агроінженерія” /Упорядники: Є.К.Солових, С.Є.Катеринич, А.Є.Солових. – Кропивницький: ЦНТУ РВЛ, 2024. - 78 с.

Упорядники:
Солових Євген Костянтинович, професор, д.т.н.;
Катеринич Станіслав Євгенійович, доцент, к.т.н.;
Солових Андрій Євгенович, доцент, к.т.н.

Відповідальний за випуск Є.К.Солових, професор, д.т.н.

Рецензенти:
В.В.Аулін, професор, д.т.н. (Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, Україна);
Ю.В.Кулєшков, професор, д.т.н. (Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, Україна).

Загальні положення

Надійність – одна з головних проблем сучасної техніки, яка вимірюється на всіх етапах її життєдіяльності від ідеї до утилізації.

Інженерний аналіз показників надійності дає змогу виявляти недоліки при проектуванні, виробництві, дослідженні, експлуатації та ремонту техніки в АПК.

Надійність техніки в АПК – дисципліна інтегруюча і належить до інженерних наук, незважаючи на те, що її фізичною основою є трибофатика, а основними математичними методами є теорія імовірностей і математична статистика. Оволодіння основами надійності сільськогосподарських машин і технологічного обладнання та апаратів по переробці сільськогосподарської продукції сприяє досягненню високої ефективності їх використання, економії паливно-енергетичних ресурсів, робочого часу та коштів. Таким чином, вивчення таких навчальних дисциплін, як "Надійність машин", "Надійність сільськогосподарської техніки", "Надійність машин та обладнання", "Надійність і ремонт сільськогосподарської техніки" та інших, в загальному циклі підготовки спеціалістів інженерних спеціальностей є одним з центральних і найважливіших моментів.

Вивчення зазначених дисциплін повинно навчити майбутніх спеціалістів кваліфіковано виявляти та аналізувати причини відмов; проводити випробування і визначати кількісні та якісні показники надійності машин; розробляти і впроваджувати у виробництво заходи щодо забезпечення і підвищення надійності машин на всіх етапах їх існування.

Інформація про надійність машин або їх окремих агрегатів у період експлуатації збирається на автопідприємствах, господарствах, майстернях ремонтних підприємствах. Статистична обробка на ПЕОМ та аналіз цієї інформації дає можливість дати оцінку міжремонтного і залишкового ресурсів окремих сполучень, агрегатів або машин взагалі та прогнозних характеристик їх технічного стану, потребу у запчастинах і багато інших важливих показників.

Практична робота № 1.
МАТЕМАТИЧНИЙ АПАРАТ ТЕОРІЇ НАДІЙНОСТІ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ ТЕХНІКИ

1.1. Основні теоретичні положення і розрахункові залежності

Ймовірність деякої випадкової події А за класичною схемою обчислюється за виразом:

$$p(A) = m/n, \tag{1.1}$$

де m - число випробувань, при яких настає подія А; n - загальне число випробувань.

Для підрахунку імовірностей за цією схемою використовується метод комбінаторики.

Припустимо, що є вибірка обсягом n(a_1, a_2,....,a_n), в якій елемент a_1 можна вибрати $к_1$ способами, елемент a_2 – $к_2$ способами, елемент a_n – $к_n$ способами. Всю вибірку згідно правила добутку можна створити $к_1 \cdot к_2 \cdot \ldots \cdot к_n$ способами.

Число угруповань з даних n елементів по m у кожній визначається за формулою сполучень:

$$C_n^m = \frac{n!}{m!(n-m)!} \tag{1.2}$$

Якщо події А і В такі, що при кожному випробуванні може з'явитися тільки одна з них, чи жодної, а разом з’явитися вони не можуть, то такі події називаються несумісними і для них справедлива теорема додавання імовірностей:

$$p(A \text{ чи } B) = p(A) + p(B). \tag{1.3}$$

* - Теоретичні відомості до практичних занять підготовлені за допомогою літературного джерела [16].

Якщо події А і В такі, що настання однієї з них не змінює імовірності настання іншої, то вони називаються незалежними. Для таких подій справедлива теорема множення ймовірностей:

$$p(A\ i\ B) = p(A) \cdot p(B). \tag{1.4}$$

Ймовірність події А, обчислена за умови, що мала місце подія В , називається умовної і позначається p(A/ B)

Допустимо, що деяка подія А може виникнути разом з однією з подій H_1,H_2,....Hn, що утворюють повну групу несумісних подій (гіпотез), причому:

$$\sum_{i=1}^{n} \rho(H_i) = 1 \tag{1.5}$$

У цьому випадку ймовірність події А обчислюється як сума добутків ймовірностей кожної гіпотези на ймовірність події А при цій гіпотезі (формула повної ймовірності):

$$p(A) = \sum_{i=1}^{n} p(H_i) \cdot p(A / H_i).. \tag{1.6}$$

Якщо до досліду ймовірності гіпотез H_i були рівні $p(H_i)$, а в результаті іспитів відбулася подія А, то нові умовні ймовірності гіпотез $p(H_i/A)$, названими післядослідними чи апостеріорними, визначаються за формулою Байєса:

$$p\left(H_i / A\right) = \frac{p\left(A / H_i\right) \cdot p(H_i)}{p(A)}, \tag{1.7}$$

де p(A) обчислюється по формулі (6); $p(A/H_i)$ - умовні ймовірності події А, відомі апріорі.

Якщо при проведенні n іспитів (випробувань) подія А наступила рівно k разів, то ймовірність $p_n(k)$ при цьому визначається за формулою Бернуллі:

$$\rho_n(\kappa) = C_n^{\kappa} \cdot \rho^{\kappa} \cdot g^{n-\kappa} \tag{1.8}$$

де C^k_n - число сполучень з n елементів по k; p - ймовірність появи події А в одному іспиті (випробуванні); q = 1- p - ймовірність протилежної події.

При великому числі іспитів імовірність p_n(к) визначається за формулою Пуассона:

$$p_n(K) = \frac{\lambda^K}{K!} exp(-\lambda), \tag{1.9}$$

де λ = pn - інтенсивність появи події А в серії іспитів.

Ймовірність появи події А рівно k раз на заданому інтервалі часу t визначається за узагальненою формулою Пуассона

$$\rho_к(t) = \frac{(\lambda t)^K}{K!} exp(-\lambda t), \tag{1.10}$$

де λ - інтенсивність появи події А в одиницю часу.

Досить мале значення α ймовірності події, що в умовах певного дослідження вважають практично неможливим, називають рівнем значимості. Звичайно приймають α =0,01...0,10. Область значень, у якій ймовірність дорівнює чи менше рівня значимості, називається критичною.

Статистичними числовими характеристиками випадкової величини x є математичне очікування M[x] і дисперсія D[x]=Var(x).

На підставі закону великих чисел при n→∞ середнє арифметичне значення $\bar{x}$ випадкової величини прагне до її математичного очікування, тобто

$$\bar{x} \xrightarrow[n\to\infty]{} M[x].$$

Позитивний квадратний корінь з дисперсії називається середнім квадратичним відхиленням випадкової величини:

$$\sigma_x = \sqrt{D[x]} = \sqrt{Var(x)}. \tag{1.11}$$

При множені випадкової величини на постійне число C її дисперсія збільшується на C^2:

$$Var(Cx) = C^2 Var(x). \tag{1.12}$$

Дисперсія добутку двох незалежних випадкових величин х і у обчислюється за формулою:

$$Var(xy) = Var(x) \cdot Var(y) + \bar{x}^2 Var(y) + \bar{y}^2 Var(x), \qquad (1.13)$$

де $\bar{x}\, i\, \bar{y}$ - середні значення випадкових величин.

Співвідношення, що встановлює зв'язок між можливими значеннями випадкової величини і їхніх імовірностей, називається законом розподілу випадкової величини.

Для дискретних випадкових величин закон розподілу задають у вигляді ряду чи розподілу відповідної формули. Наприклад, біноміальний розподіл описується формулою Бернуллі (1.8), а розподіл Пуассона співвідношеннями (1.9) чи (1.10).

Закон розподілу неперервної випадкової величини задається аналітично за допомогою функції щільності ймовірностей (щільності розподілу) f(x). В теорії надійності машин широко використовуються три таких закони - нормальний, Вейбулла-Гніденка та експонентний.

Щільність ймовірності для закону нормального розподілу (ЗНР) має вигляд

$$f(x) = \frac{exp\left(-\frac{(x-\bar{x})^2}{2\sigma^2}\right)}{\sigma_x \cdot \sqrt{2\pi}}, \qquad (1.14)$$

де $\bar{x}$ і σ_x - параметри розподілу.

Основна властивість ЗНР полягає в наступному: розсіювання випадкової величини х з ймовірністю р =0,997 укладається на ділянці $\bar{x}$ ± $3\sigma_x$ (правило 3-х сигм); при р= 0,955 - на ділянці $\bar{x}$ ± $2\sigma_x$, (правило 2-х сигм); при р = 0,685 - на ділянці $\bar{x}$ ±σ_x .

Використовуючи правило 3-х сигм можна наближено визначити σ_x:

$$\sigma_x = \frac{x_{\max} - x_{\min}}{6}. \tag{1.15}$$

Для оцінки розсіювання випадкової величини при ЗНР часто використовується безрозмірна величина - коефіцієнт варіації:

$$V = \sigma_x / \overline{x}, \tag{1.16}$$

а для визначення значення випадкової величини, що відповідає заданому рівню ймовірності p = γ, вводиться числова характеристика U_γ, - квантиль (Додаток Б).

Ймовірність улучення випадкової величини x в довільний проміжок (a, b) визначається за формулою:

$$p(a \prec x \prec b) = \frac{1}{\sigma_x\sqrt{2\pi}} \int_a^в e^{-\frac{\left(x - x^{-2}\right)}{2\sigma_x^2}} dx = 0{,}5\left[\Phi\left(\frac{b - \overline{x}}{\sigma_x}\right) - \Phi\left(\frac{a - \overline{x}}{\sigma_x}\right)\right], \tag{1.17}$$

де $\Phi\left(\frac{x - \overline{x}}{\sigma_x}\right) = \Phi(z) = \frac{2}{\sqrt{2\pi}} \int_0^z e^{\frac{-t^2}{2}} dt$ - подвійна функція Лапласа, або інтеграл ймовірності (Додаток Б).

Щільність ймовірності для закону розподілу Вейбулла-Гнеденка (ЗРВ) у загальному випадку має вигляд:

$$f(x) = \frac{m}{x_0}\left(\frac{x - x_{зм}}{x_0}\right)^{m-1} \cdot e^{-\left(\frac{x - x_{зм}}{x_0}\right)^m}, \tag{1.18}$$

де m і x_0 - параметри розподілу, $x_{зм}$ - зміщення від початку координат графіка ЗРВ.

Значення функції f(x) в залежності від m і $\left(\frac{x - x_{см}}{x_0}\right)$ знаходять за значеннями редукованого РВ $f_р(x)$, причому $f(x) = f_р(x)/x_0$.

При використанні ЗРВ коефіцієнт варіації визначається за залежністю:

$$V = \sigma_x / (\bar{x} - x_{зм}), \qquad (1.19)$$

де $\bar{x}$ і σ_x - статистичні числові характеристики РВ.

Для обчислення x_0 застосовують співвідношення:

$$x_0 = \frac{\sigma_x}{C_m}; x_0 = \frac{\bar{x} - x_{зм}}{b_m} \qquad (1.20)$$

де b_m і C_m - коефіцієнти Вейбулла.

Значення b_m, C_m , а також параметр m знаходять за відомим коефіцієнтом V за допомогою Додатка 5.

Часто в розрахунках приймають $x_{зм}$= 0, тоді рівність (18) набуває вигляду:

$$f(x) = \frac{m}{x_0}\left(\frac{x}{x_0}\right)^{m-1} \cdot e^{-(x/x_0)^m}. \qquad (1.21)$$

При використанні РВ також існує числова характеристика $H^{в}_{(1-\gamma)}$ – квантиль.

Щільність ймовірності для закону експоненціального розподілу (ЗЕР) описується співвідношенням:

$$f(x) = \lambda \cdot e^{-\lambda x}, \qquad (1.22)$$

де λ- параметр ЗЕР.

Для ЗЕР маємо:

$$\bar{x} = \sigma_x = 1/\lambda, \qquad (1.23)$$

коефіцієнт варіації дорівнює V = 1,0.

1.2. Приклади розв’язання задач .

Задача 1. Технологічна ланка складається з 4 агрегатів . Ймовірність безвідмовної роботи і- го агрегату за час роботи τ дорівнює p_i, ймовірність відмови $q_i=1- p_i$, (і =1, 2, 3, 4). Знайти ймовірності наступних подій :

A = {всі агрегати працюють безвідмовно};

B = {перший агрегат відмовив, інші працюють};

C = {один агрегат відмовив, інші працюють};

D = {відмовило рівно два агрегати з чотирьох};

E = {відмовило не менш двох агрегатів}

Розв'язання

Подія A. Оскільки відмова якого-небудь агрегату не залежить від відмови інших агрегатів, то на підставі теореми множення ймовірностей маємо:

$$p(A) = p_1 \cdot p_2 \cdot p_3 \cdot p_4.$$

Подія B. Оскільки є конкретна вказівка, що відмовив саме перший агрегат, то на підставі теореми множення ймовірностей знаходимо:

$$p(B) = q_1 \cdot p_2 \cdot p_3 \cdot p_4 = (1 - p_1)p_2 \cdot p_3 \cdot p_4.$$

Подія C. Через те, що відмовив один з чотирьох агрегатів, невідомо який, то потрібно розглянути спочатку ймовірності відмови кожного агрегату, а потім узяти до уваги, що ці варіанти відмов є несумісними. Тоді на підставі теореми додавання одержимо:

$$p(C) = q_1 \cdot p_2 \cdot p_3 \cdot p_4 + p_1 \cdot q_2 \cdot p_3 \cdot p_4 + p_1 \cdot p_2 \cdot q_3 \cdot p_4 + p_1 \cdot p_2 \cdot p_3 \cdot q_4.$$

Подія D. Спочатку потрібно розглянути всі можливі варіанти відмовлень двох агрегатів з чотирьох, а потім за допомогою теореми додавання знайти шукану ймовірність:

$$p(D) = q_1 \cdot q_2 \cdot p_3 \cdot p_4 + p_1 \cdot p_2 \cdot q_3 \cdot q_4 + p_1 \cdot q_2 \cdot p_3 \cdot q_4 +$$
$$+ q_1 \cdot p_2 \cdot q_3 \cdot q_4 + p_1 \cdot q_2 \cdot q_3 \cdot p_4 + q_1 \cdot p_2 \cdot p_3 \cdot q_4.$$

Подія Е. Провівши обґрунтування рішення наведеного у попередньому випадку, одержимо:

$$p(E) = p(D) + q_1 \cdot q_2 \cdot q_3 \cdot p_4 + q_1 \cdot q_2 \cdot p_3 \cdot q_4 + \\ + q_1 \cdot p_2 \cdot q_3 \cdot q_4 + p_1 \cdot q_2 \cdot q_3 \cdot q_4 + q_1 \cdot q_2 \cdot q_3 \cdot q_4.$$

Задача 2. Робота двигуна контролюється двома приладами. При наявності двох справних приладів за період T двигун відмовляє з ймовірністю $q_{1,2}$, при роботі тільки першого приладу - з ймовірністю q_1; при роботі тільки другого - з імовірністю q_2; при двох несправних приладах - з ймовірністю q_0.

У першого приладу ймовірність безвідмовної роботи p_1, у другого - p_2. Знайти ймовірність безвідмовної роботи двигуна.

Розв'язання.

Розглянемо наступні гіпотези: $H_{1.2}$ - працюють обидва прилади; H_1 - працює тільки перший прилад (другий несправний); H_2 - працює тільки другий прилад (перший несправний); H_0 - обидва прилади вийшли з ладу. Подія А = (безвідмовна робота двигуна). Знайдемо ймовірності зазначених гіпотез використавши теорему множення імовірностей:

$$p(H_{1.2}) = p_1 \cdot p_2; \qquad p(H_1) = p_1(1 - p_2); \qquad p(H_2) = p_2(1 - p_1);$$
$$p(H_0) = (1 - p_1)(1 - p_2).$$

Умовні ймовірності події А при цих гіпотезах можна вважати заданими:

$$p(A / H_{1.2}) = 1 - q_{1.2}; \quad p(A / H_1) = 1 - q_1; \quad p(A / H_2) = 1 - q_2;$$
$$p(A / H_0) = 1 - q_0.$$

За формулою повної ймовірності, маємо:

$$p(A) = p_1 \cdot p_2 \cdot (1 - q_{1.2}) + p_1(1 - p_2)(1 - q_1) + p_2(1 - p_1)(1 - q_2) + (1 - p_1)(1 - p_2)(1 - q_0).$$

Задача 3. При вивченні якості виготовлених запасних частин до двигуна, наприклад СМД-62 виявилося, що частка браку дорівнює 2% всієї продукції. Визначити ймовірність того, що в партії, що містить 200 деталей, кількість бракованих дорівнює 5.

Розв'язання.

Використовуємо формулу Пуассона. За умовою задачі p = 0,02; n =200; m=5; тоді $\lambda = np = 200 \cdot 0{,}02 = 4$.

Знайдемо шукану ймовірність:

$$p_{200}(5) = \frac{\lambda^m}{m!} \cdot e^{-\lambda} = \frac{4^5}{5!} \cdot e^{-4} = 0{,}038.$$

Задача 4. Відомо, що величина зношування гальмівних накладок автомобіля, наприклад КаМАЗ підкоряється РВ. Статистичні числові характеристики ЗРВ наступні: $\bar{x}$ = 5,9 мм; σ_x =2,8 мм; зміщення кривої розподілу від початку координат $x_{см}$ =0,3 мм.

Знайти вираз для щільності розподілу таких f(x).

Розв'язання.

Визначимо коефіцієнт варіації для ЗРВ:

$$V = \frac{2{,}8}{5{,}9 - 0{,}3} = 0{,}5.$$

За таблицею додатку і відомим V знаходимо характеристики ЗРВ: m=2,1; b_m=0,886; C_m=0,443.

За виразом (1.20) обчислюємо величину x_0: $x_0 = \dfrac{2{,}8}{0{,}443} = 6{,}32.$

Тоді на підставі залежності (1.18), маємо:

$$f(x) = 0{,}33\left(\frac{x - 0{,}3}{6{,}32}\right)^{1.1} \cdot e^{-\left(\frac{x-0{,}3}{6{,}32}\right)^{2.1}}.$$

1.3. Задачі для самостійного розв'язання

Задача 1. З наявних в агропідприємстві 6 автомобілів, будь-які 3 використовують для перевезення посівного матеріалу. Ймовірність їх безвідмовної роботи складає $\mathbf{p_i}$. Знайти ймовірність наступних подій:

а) Всі автомобілі працюють безвідмовно;

б) Один автомобіль відмовив, інші працюють;

в) Відмовило два автомобілі з трьох.

Вихідні дані обрати з таблиці 1.1, згідно варіанту.

Таблиця 1.1

Вихідні дані до задачі 1

Варіант	p_1	p_2	p_3	p_4	p_5	p_6
1	0,85	0,78	0,75	-	-	-
2	-	0,81	0,83	0,84	-	-
3	-	-	0,75	0,78	0,82	-
4	-	-	-	0,68	0,70	0,85
5	0,84	-	0,82	0,76	-	-
6	-	0,83	-	0,69	0,81	-
7	-	-	0,86	-	0,75	0,82
8	0,81	-	-	0,67	-	0,75
9	0,69	0,76	-	-	0,83	-
10	-	0,70	0,83	-	-	0,81
11	-	0,84	-	0,67	-	0,75
12	0,85	-	0,65	-	0,77	-
13	0,69	0,83	-	-	-	0,74
14	-	0,81	-	0,65	0,66	-
15	-	-	0,78	0,67	-	0,84
16	0,84	-	0,86	0,74	-	-
17	0,68	-	-	-	0,67	0,85
18	-	0,84	0,76	-	0,82	-
19	0,75	-	0,76	-	-	0,84
20	-	0,74	-	0,65	0,85	-
21	-	-	0,69	0,85	-	0,73
22	0,82	0,81	0,69	-	-	-
23	-	0,79	0,68	-	0,85	-
24	-	-	-	0,68	0,84	0,76
25	0,82	0,70	0,65	-	-	-
26	-	0,84	0,7	-	0,80	-
27	0,81	0,80	-	0,79	-	-
28	-	-	0,69	0,78	-	0,83
29	0,85	0,68	-	-	0,75	-
30	-	-	0,85	0,66	0,78	-

Задача 2. Якість роботи вихлопної системи автомобіля контролюється двома датчиками. При наявності двох справних датчиків за період Т система відмовляє з імовірністю $q_{1,2}$, при роботі тільки першого датчика – з імовірністю q_1 , при роботі тільки другого датчика – з імовірністю q_2 , при двох несправних датчиках – з імовірністю q_0 . Знайти ймовірність безвідмовної роботи вихлопної системи автомобіля.

Вихідні дані обрати з таблиці 1.2, згідно варіанту.

Таблиця 1.2

Вихідні дані до задачі 2

Варіант	$q_{1,2}$	q_1	q_2	q_0
1	0,05	0,10	0,15	0,40
2	0,10	0,25	0,30	0,45
3	0,06	0,11	0,16	0,41
4	0,09	0,24	0,29	0,42
5	0,07	0,12	0,17	0,43
6	0,08	0,23	0,28	0,44
7	0,06	0,13	0,18	0,45
8	0,05	0,22	0,27	0,41
9	0,09	0,14	0,19	0,40
10	0,10	0,21	0,26	0,44
11	0,08	0,15	0,20	0,42
12	0,09	0,20	0,21	0,43
13	0,05	0,16	0,25	0,40
14	0,07	0,19	0,22	0,45
15	0,08	0,17	0,23	0,41
16	0,06	0,18	0,24	0,43
17	0,10	0,23	0,29	0,42
18	0,07	0,13	0,19	0,44
19	0,08	0,20	0,22	0,40
20	0,06	0,10	0,16	0,44
21	0,05	0,11	0,17	0,43
22	0,09	0,22	0,28	0,41
23	0,10	0,14	0,20	0,42
24	0,05	0,15	0,21	0,45
25	0,08	0,25	0,15	0,42
26	0,06	0,16	0,26	0,40
27	0,07	0,22	0,30	0,41

28	0,09	0,13	0,20	0,43
29	0,10	0,15	0,22	0,45
30	0,05	0,23	0,30	0,44

Задача 3. Парк агрофірми налічує **n** автомобілів. Ймовірність працездатного стану кожного з них складає **p** . Знайти ймовірність того, що польові роботи будуть виконані в строк, якщо для цього необхідно відрядити в поле не менше **m** автомобілів.

Вихідні дані обрати з таблиці 1.3, згідно варіанту.

Таблиця 1.3

Вихідні дані до задачі 3

Варіант	**p**	**n**	**m**
1	0,65	8	5
2	0,66	9	5
3	0,67	10	7
4	0,68	11	7
5	0,69	12	8
6	0,70	8	4
7	0,71	9	6
8	0,72	10	6
9	0,73	11	8
10	0,74	12	9
11	0,75	8	5
12	0,76	9	5
13	0,77	10	6
14	0,78	11	7
15	0,79	12	8
16	0,80	8	5
17	0,81	9	5
18	0,82	10	6
19	0,83	11	8
20	0,84	12	8
21	0,85	8	4
22	0,70	9	5
23	0,71	10	6
24	0,72	11	8
25	0,73	12	9
26	0,74	8	5
27	0,75	9	5

28	0,69	10	7
29	0,68	8	4
30	0,67	12	8

Задача 4 Відомо, що величина зношування тракторної шини підкорюється закону розподілу Вейбула-Гнєденка (ЗРВ). Статистичні числові характеристики наступні: $\bar{u}$ – середня величина зносу протектора; σ_u – квадратичне відхилення зносу від його середнього значення; $u_{зм}$ – зміщення від початку координат. Знайти вигляд диференційного рівняння ЗРВ, а також обчислити щільність імовірності при величині зносу **u**.

Вихідні дані обрати з таблиці 1.4, згідно варіанту.

Таблиця 1.4

Вихідні дані до задачі 4

Варіант	$\bar{u}$, **мм**	σ_u, **мм**	$u_{зм}$, **мм**	**u, мм**
1	8,0	4,0	0,39	10,1
2	7,9	3,9	0,40	9,2
3	7,8	3,8	0,38	8,3
4	7,7	3,7	0,37	7,4
5	7,6	3,5	0,34	10,5
6	7,5	3,6	0,35	7,6
7	7,4	3,3	0,36	8,7
8	7,3	3,4	0,33	9,8
9	7,2	3,6	0,37	10,9
10	7,1	4,1	0,37	7,1
11	7,0	4,2	0,36	8,2
12	6,9	3,9	0,31	9,3
13	6,8	3,7	0,30	10,4
14	6,7	3,8	0,32	7,2
15	6,6	3,3	0,39	8,3
16	6,5	3,2	0,40	9,4
17	6,4	3,8	0,37	10,5
18	6,3	3,6	0,35	7,3
19	6,2	3,1	0,38	8,4
20	6,1	2,9	0,41	9,5
21	6,0	2,5	0,24	10,6
22	5,9	2,7	0,31	7,4
23	5,8	2,8	0,35	8,5
24	5,7	2,9	0,33	9,6
25	5,6	3,5	0,29	10,7
26	5,5	3,2	0,25	7,5

27	5,4	3,1	0,22	8,6
28	5,3	3,0	0,21	9,7
29	5,2	2,1	0,50	10,8
30	5,1	2,0	0,49	9,9

Практична робота №2.
СТАТИСТИЧНЕ І ТЕОРЕТИЧНЕ ВИЗНАЧЕННЯ ПОКАЗНИКІВ НАДІЙНОСТІ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ ТЕХНІКИ

2.1. Основні теоретичні положення і розрахункові залежності

В теорії надійності технічний об'єкт в цілому називають технічною системою, а його складові частини - блоками технічної системи. Системи і блоки систем можуть бути відновлюваними (ремонтованими) і невідновлюваними (неремонтованими).

Подію, що полягає в повній чи частковій втраті працездатності системи чи блоку, називають відмовою. Відмови бувають функціональні, коли система чи блок припиняють виконувати свої функції, і параметричні, коли значення показника надійності виходить за встановлену межу.

Тривалість справної роботи технічної системи чи блоку називається напрацюванням. Напрацювання може вимірятися в різних одиницях: м, км, м^2, м^3, кг, машино-годинах (м.-год.) та ін.

Показники надійності автомобілів підрозділяються на 4 групи: 1 – показники безвідмовності; 2 – показники довговічності; 3 – показники ремонтопридатності; 4 – показники збереженості.

До першої групи відносяться:

а) одиничні показники:

$\lambda(t)$ - інтенсивність відмов;

$P(t)$ - ймовірність безвідмовної роботи;

$Q(t)$ - ймовірність відмови;

$\bar{T}$ - середнє напрацювання до відмови;

$\omega(t)$ - параметр потоку відмов;

$\bar{t}_м$ - середнє напрацювання на відмову;

б) комплексні показники:

$К_г$ - коефіцієнт готовності;

$К_{ТВ}$ - коефіцієнт технічного використання.

До другої групи показників відносяться:

T_γ - гамма-відсотковий ресурс;

$T_р$ - середній ресурс;

$T_с$ - термін служби;

$T_{втк}$ - планове напрацювання на функціональну відмову.

Третя група показників це:

$\bar{t}_в$ - середній час відновлення;

$\bar{T}_{ПР}$- середня тривалість непланових поточних ремонтів;

$S_{пит.ТО}$ - питома сумарна трудомісткість технічного обслуговування;

$К_г$ і $К_{ТВ}$ - комплексні показники.

Четверта група - показники збереженості:

$\bar{t}_{зб}$ - середній термін зберігання.

Показники надійності, визначені за результатами спостережень проведених в умовах експлуатації чи спеціальних випробуваннях, називаються статистично визначеними.

Інтенсивність відмов статистично обчислюється за виразом:

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

де $\overline{N} = (N_i + N_{i+1})/2$;

N_i; N_{i+1} - відповідно число блоків, елементів (деталей), що справно працюють напочатку і наприкінці інтервалу випробувань Δt; $n(\Delta t)$ - число блоків, що відмовили за час Δt.

Ймовірність безвідмовної роботи дорівнює:

$$P(t) = \frac{N_0 - n(\Delta t)}{N_0}, \tag{2.1}$$

де N_0 - загальне число випробуваних елементів.

Ймовірність відмовлення визначають за виразом:

$$Q(t) = 1 - P(t) = \frac{n(\Delta t)}{N_0}. \tag{2.2}$$

Середнє напрацювання до відмови знаходять по формулі:

$$\overline{T} = \sum_{i=1}^{n} t_i / n, \tag{2.3}$$

де n - число блоків, елементів (деталей), що відмовили, за період іспитів випробувань, t_i - напрацювання до відмови i-го елементу (деталі).

Параметр потоку відмов дорівнює:

$$\omega(t) = \frac{\Delta n^*(t)}{N_0 \cdot \Delta t}, \tag{2.4}$$

де N_0 - число відновлюваних елементів, що спостерігаються на проміжку часу Δt; Δn*(t) - число відмов елементів, включаючи відмови після їх відновлення.

Середнє напрацювання на відмову обчислюють за виразом:

$$\bar{t} = \frac{\sum_{i=1}^{N_0} t_i}{\sum_{i=1}^{N_0} n_i(\Delta t)} \tag{2.5}$$

де $\sum_{i=1}^{N_0} t_i$ - сумарне напрацювання N_0 відновлюваних елементів за період Δt; $\sum_{i=1}^{N_0} n_i(\Delta t)$ - загальне число відмов N_0 елементів.

Середній час відновлення знаходять по формулі:

$$\bar{t}_в = \frac{\sum_{i=1}^{N_0} t_{вi}}{\sum_{i=1}^{N_0} m_i} \qquad (2.6)$$

де $\sum_{i=1}^{N_0} t_{вi}$ - загальний час відновлення N_0 елементів; $\sum_{i=1}^{N_0} m_i$ - загальне число відновлень N_0 елементів.

Величину, зворотну $\bar{t}_в$, називають інтенсивністю відновлення:

$$\mu_в = 1/\overline{t_в} \qquad (2.7)$$

Комплексні показники $К_Г$ і $К_{ТВ}$ відповідно дорівнюють:

$$K_T = \frac{\bar{t}}{\bar{t} + \bar{t}_в}. \qquad (2.8)$$

$$K_{TB} = \frac{\bar{t}}{\bar{t} + \bar{t} + \bar{t}_{TO}}. \qquad (2.9)$$

Середній термін зберігання $\bar{t}_{зб}$ встановлюють експериментальним шляхом. Єдиної методики визначення цього показника не розроблено.

Всі ресурсні показники (2 група), а також показники працездатності $Т_{тр}$ і S, відносяться до нормативних, які встановлюються заводами-виготовлювачами машин. Для їхнього обчислення використовуються спеціальні методи.

Перший закон надійності для невідновлюваних елементів (деталей):

$$P(t) = \int_t^{\infty} f(t)dt, \qquad (2.10)$$

де f(t) - щільність розподілу напрацювань.

Другий закон надійності для невідновлюваних блоків має наступний вид:

$$P(t) = e^{-\int_0^t \lambda(t)dt}. \qquad (2.11)$$

Середнє напрацювання до відмови і ймовірність безвідмовної роботи зв'язані між собою співвідношенням:

$$\overline{T} = \int_{0}^{\infty} p(t)dt. \tag{2.12}$$

За теоремою В. А. Кузнєцова [8] для найпростіших потоків відмов відновлюваних (елементів) параметр потоку відмов прагне до постійного значення, (інтенсивності відмов відповідних невідновлюваних елементів):

$$\lim \omega_{t \to \infty}(t) = \Lambda, \tag{2.13}$$

де Λ - приведена інтенсивність відмов відновлюваного (елемента).

Для визначення Λ іноді використовують формулу Блекуелла [8]:

$$\Lambda = 1/\left(\bar{t} + \overline{t_{в}}\right). \tag{2.14}$$

У такому випадку на підставі (2.11) ймовірність безвідмовної роботи відновлюваного блоку дорівнює:

$$P(t) = e^{-\Lambda t}, \tag{2.15}$$

а середнє напрацювання до відмови на підставі (2.12) прийме таке значення:

$$\overline{T} = 1/\Lambda. \tag{2.16}$$

Показники безвідмовності невідновлюваних (елементів) при НР напрацюванні з параметрами $\bar{t}$ і σ_t, обчислюються по наступним співвідношенням:

$$P(t) = 1 - F(z); \tag{2.17}$$

$$Q(t) = F(z); \tag{2.18}$$

$$\lambda(t) = f(t)/P(t) = \varphi(z)/\sigma_t \cdot [1 - F(z)]; \tag{2.19}$$

$$\overline{T} = \overline{t}, \tag{2.20}$$

де $z = \left(t - \bar{t}\right)/\sigma_t$; t- поточне напрацювання;

$$F(z) = 0{,}5[1 + \Phi(z)]; \quad \Phi(z) = \frac{2}{\sqrt{2\pi}} \int_0^z e^{\frac{t^2}{2}} dt$$ - подвійна функція Лапласа (Додаток Д);

$$\Phi(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{z^2}{2}\right)$$ - центрована щільність ймовірності НР (Додаток Д).

Наробіток t_γ , що відповідає ймовірності безвідмовної роботи; P(t) = γ , при НР знаходять з рівності:

$$t_\gamma = \bar{t} - U_\gamma \cdot \sigma_t, \tag{2.21}$$

де U_γ - квантиль стандартного НР (Додаток Д).

Показники безвідмовності невідновлюваних (елементів), у яких напрацювання має РВ із параметрами m і t_0 (при $t_{см} = 0$), можна визначити за наступними виразами:

$$p(t) = exp\left[-(t/t_0)^m\right]; \tag{2.22}$$

$$Q(t) = 1 - exp\left[-(t/t_0)^m\right]; \tag{2.23}$$

$$\lambda(t) = \frac{m}{t_0}\left(\frac{t}{t_0}\right)^{m-1} \tag{2.24}$$

$$\overline{T} = b_m \cdot t_0, \tag{2.25}$$

де b_m - коефіцієнт Вейбулла (Додаток Д).

Для обчислення p(t) і Q(t) використовують Додаток Д. У випадках РВ при $t_{см} \neq 0$ у виразах (2.22) - (2.25) замість t потрібно брати ($t - t_{зм}$).

Показники безвідмовності невідновлюваних блоків при ЕР напрацюванні з параметром λ визначають за виразами:

$$p(t) = exp(-\lambda t); \tag{2.26}$$

$$Q(t) = 1 - exp(-\lambda t); \tag{2.27}$$

$$\overline{T} = 1/\lambda. \tag{2.28}$$

При обчисленні P(t) і Q(t) використовують Додаток Д, де $x=\lambda t$.

За залежностями (2.26) - (2.28) визначаються показники надійності так званих "нестаріючих" (елементів).

Спільну функцію щільності ймовірності двох чи декількох незалежних випадкових змінних називають композицією розподілів.

Якщо розглянути, наприклад, два НР $f_1(t)$ і $f_2(t)$ з параметрами $\overline{t_1}, \sigma_{1t}, \overline{t_2}, \sigma_{2t}$ то їхня композиція $f_{12}(t)$ буде рівною:

$$f_{1.2}(t) = f_1(t) \cdot f_2(t). \tag{2.29}$$

Функція $f_{12}(t)$ є двовимірним НР, параметри якого визначаються по формулах:

$$\bar{t}_{1.2} = \bar{t}_1 + \bar{t}_2; \quad \sigma_{1.2t} = \sqrt{\sigma_{1t}^2 + \sigma_{2t}^2}. \tag{2.30}$$

Розташовуючи значеннями $\overline{t_{12}}$ і σ_{12t} для композиції розподілів $f_{12}(t)$, можна по співвідношеннях (2.29) - (2.30) визначати шукані показники надійності при наявності декількох незалежних випадкових напрацювань, що мають НР.

Припустимо, що є N незалежних напрацювань $t_i(i=1,2,...,N)$, розподілених за довільними законами $f_1(t), f_2(t),...,f_N(t)$. Ймовірності відмов позначимо через $Q_i(t)$. Знайдемо композицію щільності розподілу мінімальних значень для випадкових напрацювань t_i, а також відповідну ймовірність відмов Е. С. Вентцеля і Л. А.Овчарова отрима такі співвідношення [18]:

$$f(t)_{\min} = \sum_{i=1}^{N} \frac{f_t(t)}{1 - Q_t(t)} \prod_{i=1}^{N} [1 - Q_t(t)]; \tag{2.31}$$

$$Q(t)_{\min} = 1 - \prod_{i=1}^{N} [1 - Q_t(t)]. \tag{2.32}$$

2.2 Приклади розв’язання задач

Задача 1. Середнє напрацювання на відмову відновлюваного блоку $t_{ср}$ = 620 м.-год, а середній час відновлення $t_в$=10 чол. год. Визначити ймовірність безвідмовної роботи блоку при t= 600 м.-год.

Розв'язання.

Скористаємося формулою (2.14) і знайдемо приведену інтенсивність відмовлень:

$$\Lambda = \frac{1}{620+10} = \frac{1}{630} год^{-1}.$$

Тоді шукана ймовірність визначиться по залежності (2.15) з допомогою Додатку Д:

$$p(600) = e^{-\frac{600}{630}} = e^{-0,952} = 0,39.$$

Задача 2. Напрацювання дизельних двигунів однієї моделі до першої відмови описуються НР з параметрами: $\bar{t}$=4000 м.-год., σ_1 =1000 м.-год. Визначити p(t) і λ(t) при t_1 =2000 м.-год., а також середнє напрацювання до відмовлення $T_{ср}$.

Розв'язання.

Використовуючи залежності (2.17); (2.19) і (2.20), отримаємо p=(2000) = 0,5[1-$\Phi_{(z)}$], де z= $\frac{2000-4000}{1000} = -2.$ З Додатку Д знаходимо Ф(2) = 0,954. Враховуємо, що Ф(-2) = -Ф(2).

Остаточно маємо: p (2000) = 0,5(1+0,954) = 0,977.

Тепер обчислимо λ(2000). З Додатку Д, припускаючи, що z = x , знаходимо φ (-2) = φ (2) = 0,054.

Тоді $\lambda(2000) = \frac{0,054}{100 \cdot 0,977} = 0,55 \cdot 10^{-4} год^{-1}$

Згідно (2.20) одержуємо Т= $\bar{t}$ = 4000 м.-год.

Задача 3. Яким повинно бути середнє напрацювання невідновлюваного блоку до відмови, щоб протягом його роботи від 0 до t = 10 тис. мото-год. ймовірність безвідмовної роботи складала б 0,95 Закон розподілу напрацювання - експоненціальний.

Розв'язання.

Використовуємо формули (2.26) і (2.27). Оскільки $T_{ср}$ = 1/λ, то $p(t_1) = e^{-t_1/T_{сер}}$ Логарифмуючи останнє співвідношення, одержимо

$$\ln\ p(t_1) = -t_1 / T_{сер}.$$

Враховуючи що $p(t_1)$ = 0,95, будемо мати $T_{сер}$ = -10/ ln0,95= 195тис.мото-год.

Задача 4. У результаті випробувань встановлено, що інтенсивність відмов невідновлюваної складової частини автомобіля описується відношенням $\lambda(t) = \lambda_0 + \beta t^m$.

Знайти залежність для p(t).

Розв'язання.

Перетворимо вираз (2.11) таким чином:

$$p(t) = \exp\left[-\int_0^t \lambda(t)dt\right] = \exp[-\Omega(t)],$$

де Ω(t) - ведуча функція.

Для даної задачі можна записати:

$$\Omega(t) = \int_0^t \left(\lambda_0 + \beta t^m\right)dt = \lambda_0 \cdot t + \frac{\beta}{m+1}t^{m+1} + C.$$

Тоді $p(t) = \exp\left[-\left(\lambda_0 t + \frac{\beta}{m+1}t^{m+1} + C\right)\right]$, або остаточно:

$$p(t) = \exp\left(-\frac{\beta}{m+1}t^{m+1}\right) \cdot \exp[-(\lambda_0 \cdot t + C)] = p_1(t) \cdot p_2(t).$$

Складова $p_1(t)=\exp\left(-\frac{\beta}{m+1}t^{m+1}\right)$ відповідає РВ з параметрами $(m+1)$ і $\sqrt[m+1]{\frac{m+1}{\beta}}$. Вона характеризує рівень надійності на ділянці припрацювання (0≤t≤t $_п$).

Складова $p_2(t)=\exp[-(\lambda_0\cdot t+C)]$ відповідає ЕР з інтенсивністю відмов λ_0 і зміщенням С. Вона характеризує період нормальної експлуатації при t > $t_п$.

Задача 5. (Цифровий матеріал - умовний). Розрахувати показники надійності складного валу, відмови якого відбуваються по двох незалежних причинах: втомленість і зношування. Руйнування через втомленість виникають у матеріалі валу і на його шліцах і підкоряються РВ

$$f_1(t)=\frac{m}{t_0}\left(\frac{t}{t_0}\right)^{m-1}\cdot\exp\left[-\left(t/t_0\right)^m\right]$$

де m =1,5; t_0 = 170м.-год.

Статистичні числові характеристики РВ наступні: $\bar{t_1}$= 145 м-год; σ_{t1}=100м.-год.

Зносні відмови спостерігаються по шліцах вала і підкоряються НР:

$$f_2(t)=\frac{1}{\sigma_{t2}\sqrt{2\pi}}\exp\left[-\left(t-\bar{t}_2\right)^2/2\sigma_{t2}^2\right],$$

де $\bar{t_2}$ =200 м-год., σ_{t2} = 40 м-год.

Знайти вираз і побудувати графік для композиції розподілів мінімальних значень напрацювань до відмови від втомленості і зносу, а також визначити найбільш небезпечний руйнівний процес у вала, ймовірність відмови при t* = 260 м.-год і мінімальне середнє значення напрацювання.

Розв'язання.

Скористаємося рівністю (2.31) і введемо в нього замість ймовірності відмовлення $Q_i(t)$ ймовірність безвідмовної роботи $p_i(t)$, припускаючи, що $p_i(t) = 1 - Q_i(t)$. Тоді одержимо

$$f(t)_{\min} = \frac{f_1(t)}{p_1(t)} \cdot p_1(t) \cdot p_2(t) + \frac{f_2(t)}{p_2(t)} \cdot p_1(t) \cdot p_2(t) = f_1(t) \cdot p_2(t) + f_2(t) \cdot p_1(t).$$

На підставі заданих виразів для f_1 (t) і f_2 (t) і співвідношень (2.17) і (2.22) знайдемо розрахункову залежність

$$f(t)_{\min} = \frac{m}{t_0}\left(\frac{t}{t_0}\right)^{m-1} \cdot e^{-(t/t_0)^m}\left[1 - F\left(\frac{t-\bar{t}_2}{\sigma_{t2}}\right)\right] + \frac{1}{\sigma_{t2} \cdot \sqrt{2\pi}} e^{-\left[\frac{(t-\bar{t}_2)^2}{2\sigma_{t2}^2} + \left(\frac{t}{t_0}\right)^m\right]}.$$

Результати обчислень $f_1(t)$; $f_2(t)$ і $f(t)_{min}$, помножені на ширину прийнятого інтервалу Δt = 40 м.-год. приведені в табл 2.1 і на рис.2.1.

Використовуючи відомі співвідношення математичної статистики і дані табл.2.5., обчислимо мінімальне середнє значення напрацювання валу до відмови:

$$\bar{t}_{\min} = \sum_{N=1}^{9} f(t_{NC})_{\min} \cdot \Delta t \cdot t_{NC} \Big/ \sum_{N=1}^{9} f(t_{NC})_{\min} \cdot \Delta t = 115{,}834 / 0{,}9757 \approx 119 \text{ м.-год.}$$

Таблиця 2.1

Результати обчислень

№ інтер-валу N	Середина інтервалу напрацювання t_{NC} , м.-год.	$f_1(t)\cdot\Delta t$	$f_1(t)\cdot p_2(t)\cdot\Delta t$	$f_2(t)\cdot\Delta t$	$f_2(t)\cdot p_1(t)\cdot\Delta t$	$f_{min}(t)\cdot\Delta t$
1	20	0,1266	0,1266	0,0004	0,0003	0,1269
2	60	0,1822	0,1822	0,0009	0,0007	0,1829
3	100	0,1806	0,1795	0,0175	0,0106	0,1902
4	140	0,1545	0,1442	0,1295	0,0571	0,2013
5	180	0,1204	0,0478	0,3521	0,1068	0,1545
6	220	0,0875	0,0279	0,3521	0,0702	0,0981
7	260	0,0601	0,0040	0,1295	0,0163	0,0203
8	300	0,0393	0,0002	0,0175	0,0013	0,0015
9	340	0,0246	0	0,0009	0	0
	Σ	0,9758	0,7124	1 0	0,2633	0,9757

Отже, розрахункове значення $\bar{t}_{min}$ для вала з врахуванням сукупності зносних і втомлених руйнувань значно менше, ніж відповідні показники $\bar{t}_1$ і $\bar{t}_2$ для кожного руйнівного процесу окремо.

Ймовірність втрати працездатності валу (відмова) при t* =260 м.-год визначимо за виразом (2.32):

$$1 - f_{\min}(t)\cdot\Delta t, \quad 2 - f_2(t)\cdot\Delta t, \quad 3 - f_1(t)\cdot\Delta t.$$

$Q(t^*)_{\min} = 1 - e^{-(t^*/t_0)} \cdot [1 - F(Z^*)]$, де Z*=(t*-$\overline{t_2}$)$/\sigma_{t2}$; $F(Z^*) = 0{,}5[1 + \Phi(Z^*)]$, $\Phi(Z^*)$ - здвоєна функція Лапласа.

В результаті обчислень отримуємо: $Z^* = \dfrac{260-200}{40} = 1{,}5$; Ф(Z*)=0,86; F(Z*)=0,933. Тоді $Q(t^*)_{\min} = 1 - e^{-(260/170)^{1,5}} \cdot (1-0{,}933) = 1 - 0{,}151 \cdot 0{,}067 = 0{,}99$.

Нарешті, виявимо найбільш небезпечний руйнівний процес, що відбувається у валі.

В отриманому співвідношенні для $f(t)_{\min}$ перший відклик визначає частку відмов від втомленості, а другий - вид зношування.

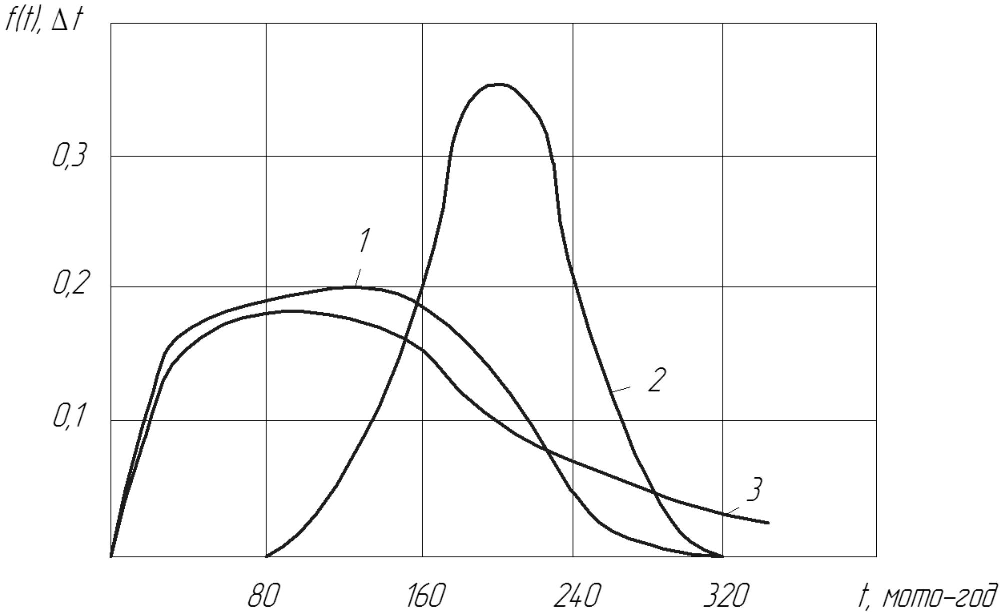

Рис 2.1. Графіки функцій щільності розподілу наробітків.

Аналізуючи дані табл.2.5 можна помітити, що на частку втомлених поломок приходиться близько 71% усіх відмов. Отже, у розглянутій задачі сталі руйнування через втомленість є найбільше небезпечними.

2.3 Задачі для самостійного розв’язання

Задача 1. Середнє напрацювання на відмову відновленого диску зчеплення склало $t_{ср}$, середній час відновлення склав $t_в$. Визначити ймовірність безвідмовної роботи корзини зчеплення при напрацюванні t.

Вихідні дані обрати з таблиці 2.2 згідно варіанту.

Таблиця 2.2

Вихідні дані до задачі 1

Варіант	$t_{ср}$, **год**	$t_в$, **люд-год**	**t, год**
1	201	1,10	195
2	191	1,20	185
3	181	1,30	175
4	202	1,40	196
5	192	1,50	186
6	182	1,60	176
7	203	1,70	184
8	193	1,80	181
9	183	1,90	175
10	204	1,15	196
11	194	1,25	182
12	184	1,35	170
13	205	1,45	187
14	195	1,55	175
15	185	1,65	163
16	206	1,75	177
17	196	1,85	182
18	186	1,95	174
19	207	1,14	180
20	197	1,24	172
21	187	1,34	175
22	208	1,44	169
23	198	1,54	173
24	188	1,64	168
25	209	1,74	192
26	199	1,84	167
27	189	1,94	176
28	179	1,17	154
29	169	1,18	151
30	168	1,19	149

Задача 2. Закон нормального розподілу, що описує напрацювання двигунів типу ЯМЗ до першої відмови має наступні параметри : $\bar{t}$ – середня величина напрацювання м.-год., $\boldsymbol{\sigma_1}$ – середнє квадратичне відхилення, м.-год. Визначити ймовірність безвідмовної роботи і інтенсивність відмов, а також середнє напрацювання до відмови, якщо відомо, що напрацювання становить $\mathbf{t_1}$ м.-год.

Вихідні дані обрати з таблиці 2.3, згідно варіанту.

Таблиця 2.3

Вихідні дані до задачі 2

Варіант	$\bar{t}$	$\boldsymbol{\sigma_1}$	$\mathbf{t_1}$
1	3650	980	2100
2	4120	1100	2250
3	3640	800	2110
4	3630	810	2190
5	3780	820	2180
6	3920	830	2120
7	4020	890	2170
8	4130	880	2130
9	3680	870	2160
10	3700	860	2150
11	3760	1010	2140
12	3740	1020	2130
13	4050	1030	2120
14	4210	1040	2110
15	4180	1050	2090
16	3940	990	2080
17	3920	970	2070
18	4010	960	2060
19	3840	950	2000
20	3860	940	2010
21	3770	930	2020
22	3810	910	2030
23	3880	920	2040
24	4110	1080	2050
25	3990	1070	2210
26	3740	1060	2230
27	3950	1090	2240
28	3810	1120	2220
29	3890	1130	2250
30	3780	1140	2240

Задача 3. Ймовірність безвідмовної роботи невідновлюваного блоку шестерен коробки зміни передач автомобілю підкоряються експоненційному закону розподілу і дорівнює **p(t)** на протязі часу напрацювання **t**. Визначити середнє напрацювання блоку шестерен до відмови та напрацювання при якому ймовірність відмови складає q_1.

Вихідні дані обрати з таблиці 2.4, згідно варіанту.

Таблиця 2.4

Вихідні дані до задачі 3

Варіант	**p(t)**	**t**	**q_1**
1	0,90	3650	0,15
2	0,91	4120	0,16
3	0,92	3640	0,19
4	0,93	3630	0,18
5	0,89	3780	0,12
6	0,87	3920	0,15
7	0,88	4020	0,14
8	0,84	4130	0,17
9	0,85	3680	0,16
10	0,86	3700	0,15
11	0,80	3760	0,22
12	0,79	3740	0,25
13	0,81	4050	0,23
14	0,82	4210	0,22
15	0,83	4180	0,29
16	0,75	3940	0,28
17	0,76	3920	0,27
18	0,77	4010	0,26
19	0,73	3840	0,31
20	0,78	3860	0,25
21	0,74	3770	0,28
22	0,70	3810	0,29
23	0,71	3880	0,30
24	0,69	4110	0,32
25	0,68	3990	0,36
26	0,64	3740	0,37
27	0,63	3950	0,39
28	0,66	3810	0,35
29	0,65	3890	0,40
30	0,67	3780	0,41

Практична робота №3.

ВИЗНАЧЕННЯ ЙМОВІРНОСТІ СПРАВНОГО СТАНУ СКЛАДНИХ ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ

3.1. Основні теоретичні положення і розрахункові залежності

Для визначення ймовірності справного стану складної системи, що включає кілька блоків (елементів), складається так звана структурна схема надійності системи (ССНС). При цьому зображення блоків умовно здійснюють у вигляді прямокутників, що утворюють послідовний, паралельний чи змішаний ланцюг. Тип з'єднання блоків (елементів) залежить від їхнього впливу на працездатність системи і часто не збігається з монтажним з'єднанням.

Результуючу надійність системи визначають за відомими значеннями показників надійності окремих блоків, що входять у ССНС. Причому, як правило в ССНС включаються тільки ті блоки, експлуатаційна надійність яких мінімальна - так звані "слабкі ланки" системи.

В залежності від виду блоків, що входять у ССНС, усі технічні системи можна поділити на два класи: системи без відновлення і системи з відновленням. До першого класу звичайно відносять системи, відновлення яких безпосередньо після відмови вважається недоцільним і неможливим; до другого класу - системи, у яких відновлення виконується безпосередньо після відмови.

Ймовірність справного стану систем першого класу $p^1_c(t)$ дорівнює ймовірності безвідмовної роботи системи $P_c(t)$, тобто $p^1_c(t) = P_c(t)$.

Ймовірність справного стану систем другого класу $p^{11}_c(t)$ характеризується функцією готовності $Г(t)$, що дорівнює сумі ймовірностей перебування системи в працездатному стані як при відсутності відмови на розглянутому інтервалі часу t, так і після усунення до моменту t одного і більше відмов. При цьому припускаємо, що $p^{11}_c(t)$ $=Г(t)$ для усталеного режиму роботи (f→ ∞), маємо $p^{11}_{и}(\infty)$ =Г(∞) = $К_г$, де $К_г$ - коефіцієнт готовності.

В залежності від типу сполучення блоків у ССНС складні системи розподіляють на наступні групи: а) з основним (послідовним) з’єднанням; б) з резервним (паралельним) з'єднанням; в) зі змішаним з’єднанням.

Якщо відмова системи настає при відмові одного з її блоків, то вона має основне, або послідовне сполучення блоків (Рис. 3.1).

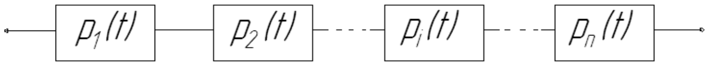

Рис. 3.1. Основне (послідовне) сполучення блоків

Розрахункова формула для імовірності безвідмовної роботи такої системи на підставі теореми множення ймовірностей має вигляд:

$$P_c^{осн}(t) = \prod_{i=1}^{n} p_i(t) \tag{3.1}$$

Якщо напрацювання окремих блоків підкоряються ЗЕР, то

$$P_c^{осн}(t) = e^{-\Lambda_c^{0сн} \cdot t}, \tag{3.2}$$

тобто напрацювання всієї системи також описується ЕР.

Аналогічний висновок можна зробити в тому випадку, якщо напрацювання блоків підкоряється ЗРВ.

При будь-якому законі розподілу напрацювання блоків інтенсивність відмов системи $\Lambda_c^{осн}$ визначається за формулою:

$$\Lambda_c^{осн} = \sum_{i=1}^{n} \lambda_i, \tag{3.3}$$

де λ_i - інтенсивність відмови і -го блоку

Залежність (3.3) є фундаментальною властивістю систем з основним з’єднанням.

Середній час безвідмовної роботи системи дорівнює

$$T_{ср}^{осн} = 1/\Lambda_c^{осн}. \tag{3.4}$$

Резервуванням називається метод підвищення надійності системи шляхом введення в неї резервних (запасних) блоків, що є надлишковими по відношенню до основних блоків і можуть виконувати їх функції. При наявності одного запасного блоку резервування називається дублюванням.

Усі резервні блоки (чи елементи) включаються в роботу тільки паралельно з основними (Рис.3.2).

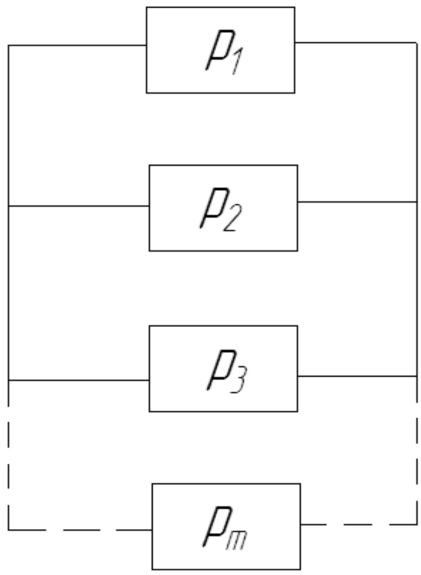

Рис. 3.2. Резервне паралельне з'єднання блоку.

Найбільшого поширення одержали два види резервування: 1) постійне резервування з навантаженим (включеним) резервом (ПР); 2) резервування заміщенням з не навантаженим резервом (РЗ).

Якщо дублюється робота всієї системи, резервування називається загальним (ОПР чи ОРЗ); при дублюванні окремих основних блоків - роздільним (РПР чи РРЗ). Для систем з ОПР ймовірність безвідмовної роботи розраховується за виразом:

$$P_c^{onp}(t) = 1 - \mathop{\Pi}_{i=1}^{m}\left[1 - \rho_i(t)\right] \tag{3.5}$$

Якщо всі блоки рівнодійні, то

$$\mathrm{P}_c^{onp}(t) = 1 - \left[1 - \rho(t)\right]^m \tag{3.6}$$

У такому випадку при заданій ймовірності безвідмовної роботи системи $P^{опр}_c(t_З) \geq P_З$ необхідне число резервних блоків буде дорівнювати:

$$m-1=\frac{\ln(1-P_3)}{\ln[1-p(t_3)]}-1 \qquad (3.7)$$

Якщо напрацювання рівнодійних блоків описується ЕР з параметром λ, то одержимо

$$\mathrm{P}_c^{опр}(t)=1-(1-\ell^{-\lambda\cdot t})^m \qquad (3.8)$$

При малих значеннях λ· t формула (3.8) прийме вигляд:

$$\mathrm{P}_c^{опр}(t)\cong \mathrm{I}-(\lambda\cdot t)^m \qquad (3.9)$$

Інтенсивність відмов системи дорівнює:

$$\Lambda_c^{опр}(t)=m\cdot\lambda^m\cdot t^{m-1}, \qquad (3.10)$$

тобто при постійній інтенсивності відмов окремих блоків інтенсивність відмов резервованої системи є функцією наробітку.

Середнє напрацювання системи до відмови дорівнює:

$$\mathrm{T}_c^{опр}=\frac{1}{\lambda}\cdot\sum_{i=1}^{m}\frac{1}{i} \qquad (3.11)$$

Виходячи з формули (3.11), число резервних блоків не повинно бути більш трьох.

При будь-якому законі розподілу напрацювання однотипних блоків маємо:

$$\Lambda_c^{опр}(t)=\frac{m\cdot\lambda\cdot p(t)\cdot[1-p(t)]^{m-1}}{1-[1-p(t)]^m}. \qquad (3.12)$$

Обчислення $\mathrm{T}_{ср}^{опр}$ проводять по наступній наближеній формулі

$$\mathrm{P}(\mathrm{T}_{ср}^{зпр})=1/(m+1). \qquad (3.13)$$

Наприклад, для РВ маємо:

$$\ell^{-}(\mathrm{T}_{ср}^{зпр}/t_0)^{m0}=1/(\mathrm{m}+1), \qquad (3.14)$$

де t_0 і m_0 - параметри РВ.

В результаті логарифмування знаходимо

$$\mathrm{T}_{ср}^{зпр}\cong t_0\cdot[\ln(m+1)]^{1/m_0}. \qquad (3.15)$$

Для систем з ОРЗ ймовірність безвідмовної роботи системи дорівнює

$$\mathrm{P}_c^{зрз}(t) = 1 - \frac{\prod_{i=1}^{m}\left[1 - \rho_1(t)\right]}{m!}. \qquad (3.16)$$

При рівнонадійних блоках, напрацювання яких підкоряється ЕР з параметром λ, маємо:

$$\mathrm{P}_c^{зрз}(t) = 1 - \frac{(1 - e^{-\lambda \cdot t})^m}{m!}; \qquad (3.17)$$

$$\Lambda_c^{зрз}(t) = \lambda \cdot \frac{(\lambda \cdot t)^{m-1}}{(m - \mathrm{I})!} \cdot \left[\sum_{\kappa=0}^{m-1} \frac{(\lambda \cdot t)^{\kappa}}{\kappa!}\right]^{-1}; \qquad (3.18)$$

$$\mathrm{T}_{cp}^{зрз} = m / \lambda. \qquad (3.19)$$

Надійність систем, що містять окремі блоки з роздільним резервуванням (РПР чи РРЗ), розраховується з використанням формул загального резервування (ОПТ чи ОРЗ).

Системи зі змішаним з’єднанням мають найбільше поширення в техніці тому, що дозволяють здійснювати резервування слабких за надійністю блоків чим зменшують ймовірність відмов.

На рис.3.3 показана ССНС зі змішаним з'єднанням блоків (*a* - основних блоків і b - з роздільним постійним резервуванням).

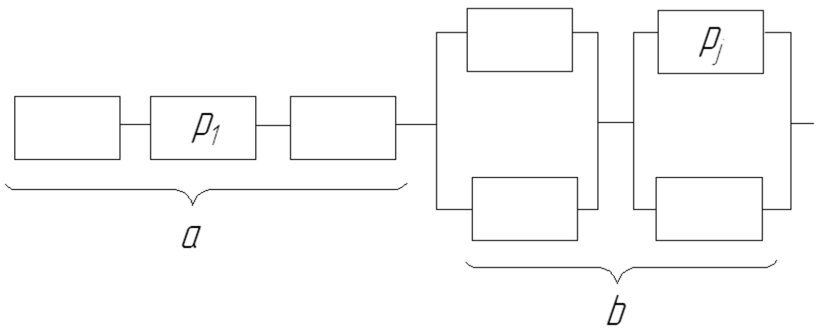

Рис. 3.3. Змішане з'єднання блоків

Для приведеної системи при $p_i(t) = p_j(t) = p(t)$ одержимо:

$$\mathrm{P}_c^{зм}(t) = p^a(t) \cdot \left\{1 - \left[1 - p(t)\right]^2\right\}^b \qquad (3.20)$$

Якщо періоди функціонування і відновлення таких систем описуються ЕР з параметрами Λ_c і M_c, то функція готовності $Г(t)$ визначається по наступним співвідношенням:

для нестаціонарного режиму, при $t \le t_1$:

$$Г(t) \cong 1 - \Lambda_c \cdot t; \tag{3.21}$$

для стаціонарного режиму, при $t > t_1$:

$$Г(t) \cong K_Г = M_c / (\Lambda_c + M_c), \tag{3.22}$$

причому

$$t_1 = -\frac{1}{\Lambda_c} \cdot \ln K_Г. \tag{3.23}$$

Система з дублюванням, що складається з одного основного блоку і одного резервного, називається парою.

Припустимо, що в парі обидва блоки рівно надійні, процеси їхнього функціонування і відновлення описуються ЕР з параметрами λ_0 і μ_0.

Параметр λ_0 характеризує середню інтенсивність відмов; параметр μ_0 - інтенсивність відновлення.

Перший випадок з навантаженим (включеним) резервом. Вираз для функції готовності при цьому має вигляд:

$$Г_1(t) = 1 - \frac{\lambda_0^2}{(\lambda_0 + \mu_0)^2} \cdot \left[1 + \frac{1}{\lambda_0 + \mu_0} \cdot \left(S_2 \cdot e^{S_1 t} - S_1 \cdot e^{S_2 t} \right) \right], \tag{3.24}$$

де $S_1 = -(\lambda_0 + \mu_0)$; $S_2 = -2 \cdot (\lambda_0 + \mu_0)$.

Позначимо $\rho = \lambda_0/\mu_0$ і покладемо $t \to \infty$, тоді

$$\lim_{t \to \infty} Г_1(t) = K_Г^{(1)} = \frac{1 + 2 \cdot \rho}{(1 + \rho)^2}. \tag{3.25}$$

Середній час напрацювання на відмову системи буде дорівнювати:

$$t_{cp}^{(1)} = \frac{\mu_0 + 3 \cdot \lambda_0}{2 \cdot \lambda_0^2} \tag{3.26}$$

У другому випадку-з ненавантаженим (холодним) резервом:

$$\Gamma_2(t) = 1 - \frac{\lambda_0^2}{(\lambda_0 + \mu_0)^2} \cdot \left[1 + \frac{1}{\sqrt{\mu_0^2 + 4 \cdot \lambda_0 \cdot \mu_0}} \cdot \left(S_2 \cdot e^{S_1 t} - S_1 \cdot e^{S_2 t} \right) \right], \qquad (3.27)$$

де $S_{1.2} = -\frac{2 \cdot \lambda_0 + 3 \cdot \mu_0 \mp \sqrt{\mu_0^2 + 4 \cdot \lambda_0 \cdot \mu_0}}{2}$.

При t → ∞

$$\lim_{t \to \infty} \Gamma_2(t) = K_\Gamma^{(2)} = \frac{2 \cdot (1 + p)}{(1 + p)^2 + 1} \qquad (3.28)$$

Нарешті

$$t_c^{(2)} = \frac{\mu_0 + 2 \cdot \lambda_0}{\lambda_0^2} \qquad (3.29)$$

3.2. Приклади розв´язання задач

Задача 1. На спеціальному колісному тягачі встановлено два дизелі. Один з них є постійно включеним резервом. Інтенсивність відмов дизелів λ = $0{,}5 \cdot 10^{-4}$ год$^{-1}$. Закон розподілу напрацювань - експоненціальний. Відновлення дизелів не враховувати. Визначити ймовірність справного стану тягача за період t_1 = 2000 м. - год, а також його середнє напрацювати до відмови й інтенсивність відмов.

Розв'язання.

Використовуємо співвідношення (3.8) й знайдемо

$$\mathrm{P}_c^{зпр}(2000) = 1 - (1 - e^{-0{,}510^{-4} \cdot 2000})^2 = 0{,}991.$$

Обчислення $\mathrm{T}_c^{опр}$ зробимо за допомогою залежності (3.11) при m = 2:

$$\mathrm{T}_c^{пр} = \frac{1}{0{,}5 \cdot 10^{-4}} \cdot \left(1 + \frac{1}{2} \right) = 30000 м. - год.$$

За формулою (3.10) одержимо

$$\Lambda_c^{зпр}(2000) = 2 \cdot (0{,}5 \cdot 10^{-4})^2 \cdot 2000 = 10^{-5} год^{-1}$$

Задача 2. ССНС складається з 4-х основних рівнонадійних неремонтируємих блоків (Рис.3.4). Періоди функціонування блоків підкоряються ЕР з параметром $\lambda = 10^{-5}$ год.$^{-1}$

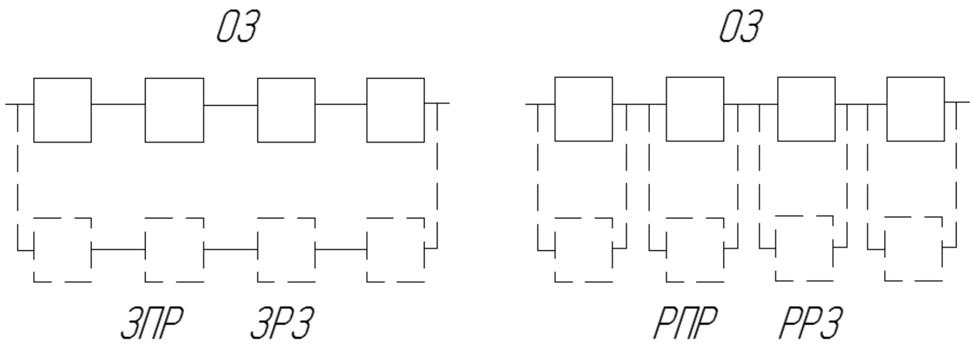

Рис. 3.4. Розрахункові ССНС

Визначити результуючу надійність і інтенсивність відмов системи при $t_1 = 10000$ год для наступних випадків: 1. Система має основне з'єднання блоків без резервування (ОЗ); 2. Система має загальне постійне резервування (ЗПР); 3. Система має загальне резервування заміщенням (ЗРЗ); 4. Система має роздільне постійне резервування кожного блоку (РПР); 5. Система має роздільне резервування заміщенням кожного блоку (ЗРЗ).

Розв'язання.

Обчислимо по формулі (2.27) ймовірність безвідмовної роботи одного блоку при $t_1 = 10000$ год.

$$p(t_1) = \exp\left(10^{-5} \cdot 10^4\right) \cong 0{,}9$$

Далі розглянемо розв'язання для окремих випадків.

1-й випадок. Використовуючи залежності (3.1) і (3.3), одержимо

$$\mathrm{P}_c^{осн}(t_1) = \left[p(t_1)\right]^4 = 0{,}9^4 = 0{,}656, \quad \Lambda_c^{осн} = 4 \cdot \lambda = 4 \cdot 10^{-5} год^{-1}$$

2-й випадок. По співвідношеннях (3.6) і (3.10) при m = 2, знаходимо:

$$p_c^{зпр}(t_1) = 1 - \left(1 - p_c^{осн}\right)^2 = 1 - (1 - 0{,}656)^2 = 0{,}882;$$

$$\Lambda_c^{зпр}(t_1) = 2 \cdot \left(\Lambda_c^{осн}\right)^2 \cdot t_1 = 2 \cdot \left(4 \cdot 10^{-5}\right)^2 \cdot 10000 = 3{,}2 \cdot 10^{-5} год^{-1}.$$

3-й випадок. Використовуючи залежності (3.16) і (3.18), маємо:

$$p_c^{зрз}(t_1) = 1 - \frac{\left(1 - P_c^{осн}\right)^2}{2!} = 1 - \frac{(1 - 0{,}656)^2}{2!} = 0{,}941,$$

$$\Lambda_c^{зрз}(t_1) = \frac{\left(\Lambda_c^{осн}\right)^2 \cdot t_1}{1 + \Lambda_c^{осн} \cdot t_1} = \frac{\left(4 \cdot 10^{-5}\right)^2 \cdot 10000}{1 + 4 \cdot 10^{-5} \cdot 10000} = 1{,}14 \cdot 10^{-5} год^{-1}.$$

4-й випадок Для обчислення $P_c^{рпр}(t_1)$ спочатку по формулі (3.6) знайдемо ймовірність безвідмовної роботи для однієї пари блоків з постійним резервуванням:

$P_n^{пр}(t_1) = 1 - [1 - p(t_1)]^2$, а потім, приймаючи кожну таку пару за основний умовний блок, по залежності (3,1) одержимо:

$$P_c^{рпр}(t_1) = \left\{1 - [1 - p(t_1)]^2\right\}^4 = \left[1 - (1 - 0{,}9)^2\right]^4 = 0{,}961$$

Аналогічно при обчисленні $\Lambda_c^{рпр}(t_1)$ спочатку по залежності (3.10) знайдемо інтенсивність відмов для однієї пари блоків

$$\lambda_n^{пр}(t_1) = 2 \cdot \lambda^2 \cdot t_1$$

а потім по формулі (3,3) остаточно одержимо

$$\Lambda_c^{рпр}(t_1) = 4 \cdot \left(2 \cdot \lambda^2 \cdot t_1\right) = 8 \cdot \left(10^{-5}\right)^2 \cdot 10000 = 0{,}8 \cdot 10^{-5} год^{-1}.$$

5-й випадок Вихідні передумови такі ж, як у попередньому випадку, тільки за умови, що пари блоків мають резервне заміщення.

По формулі (3.6) знаходимо

$$P_n^{рз}(t_1) = 1 - \frac{[1 - p(t_1)]^2}{2!},$$

тоді на підставі (3.1):

$$P_n^{ррз}(t_1) = \left\{1 - \frac{[1 - p(t_1)]^2}{2!}\right\}^4 = \left[1 - \frac{(1 - 0{,}9)^2}{2}\right]^4 = 0{,}980$$

Аналогічно по залежностях (3,18) і (3,3) маємо:

$$P_n^{pз}(t_1) = \frac{\lambda^2 \cdot t_1}{1 + \lambda \cdot t_1};$$

$$\Lambda_c^{pрз}(t_1) = 4 \cdot \left[\lambda_n^{pз}(t_1)\right] = \frac{4 \cdot \lambda^2 \cdot t_1}{1 + \lambda \cdot t_1} = \frac{4 \cdot \left(10^{-5}\right)^2 \cdot 10000}{1 + 10^{-5} \cdot 10000} = 0{,}36 \cdot 10^{-5} год^{-1}.$$

Задача 3. На рис. 3.5, приведена ССНС, складена для пускорегулюючої апаратури динамометричного стенду оцінки тягових якостей автомобіля. Ймовірності безвідмовної роботи невідновлюваних блоків зазначені безпосередньо на схемі.

Визначити ймовірність безвідмовної роботи системи.

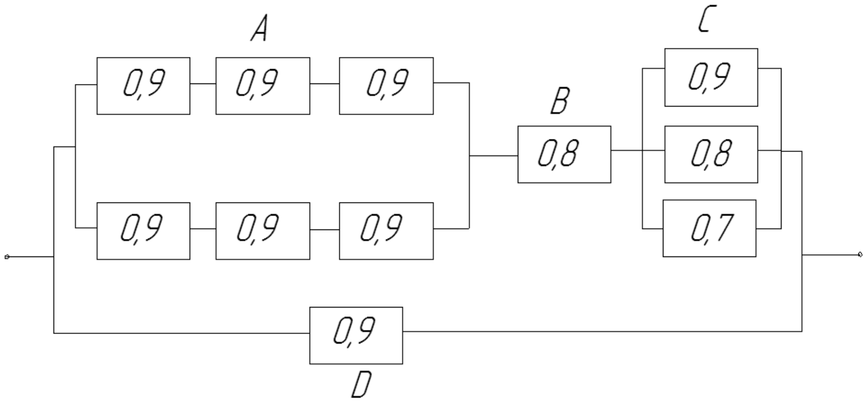

Рис.3.5. Розрахункова структурна схема надійності системи.

Розв'язання

Система складається з двох паралельних ланцюгів (АВС і Д) різної надійності

Визначимо результуючу надійність блоків А:

$$P_A^{пр} = 1 - \left(1 - 0{,}9^3\right)^2 \cong 0{,}93.$$

Блок В є нерезервований.

Для блоків С маємо:

$$P_C^{пр} = 1 - (1 - 0{,}9) \cdot (1 - 0{,}8) \cdot (1 - 0{,}7) = 0{,}994.$$

Тоді для ланцюга АВС одержуємо:

$$P_{ABC}^{пр} = P_A^{пр} \cdot P_B \cdot P_C^{пр} = 0{,}93 \cdot 0{,}8 \cdot 0{,}994 = 0{,}74\,.$$

Остаточно знаходимо:

$$P_{сист}^{пр} = 1-(1-P_{ABC}^{пр})\cdot(1-P_{Д}) = 1-(1-0{,}74)\cdot(1-0{,}9) = 0{,}974.$$

Задача 4. ССНС складається з трьох основних блоків. Система повинна справно працювати на проміжку часу t_0=100 год з ймовірністю $p(t_0)$=0,8.

Процеси функціонування відновлення блоків описуються ЕР.

Визначити результуючу надійність системи, якщо інтенсивності відмовлень блоків мають такі значення: Λ_1 = $293\cdot10^{-5}$; Λ_2 = $144\cdot10^{-5}$; Λ_3 = $35\cdot10^{-5}$ год$^{-1}$. У разі потреби застосувати резервування і відновлення ($t_в$ = 5 год).

Розв'язання.

По формулах (2,16) і (3,4) визначимо ймовірність безвідмовної роботи і середній час справної роботи основних блоків без резервування і відновлення при t_0= 100год:

$$T_1 = \frac{1}{\Lambda_1} = 341 год;\; T_2 = \frac{1}{\Lambda_2} = 694 год;\; T_3 = \frac{1}{\Lambda_3} = 2860 год.$$

$$P_1(t_0)e^{-\Lambda_1 t_0} = e^{-293\cdot10^{-5}100} = 0{,}746;$$

$$P_2(t_0)e^{-\Lambda_2 t_0} = e^{-144\cdot10^{-5}100} = 0{,}866;$$

$$P_3(t_0)e^{-\Lambda_3 t_0} = e^{-3510\cdot10^{-5}100} = 0{,}966.$$

По формулі (3.3) знайдемо інтенсивність відмов основної системи:

$$\Lambda_c^{осн} = \Lambda_1 + \Lambda_2 + \Lambda_3 = 472\cdot10^{-5} год^{-1}.$$

По рівності (3.2) розрахуємо ймовірності справної роботи основної системи; обчислення зведемо в табл.3.1.

Таблиця 3.1

Результати виконаних обчислень

t ,год	0	10	20	40	60	80	100
$P_c^{осн}(t)$	1	0,954	0,910	0,828	0,754	0,685	0,625

Аналіз отриманих даних показує, що основна система не задовольняє вимогам надійності. Необхідно прийняти міри для її підвищення. "Слабкою ланкою" по надійності є перший блок. Тому будемо підвищувати його надійність різними способами.

1-й спосіб - постійне дублювання без відновлення. Використовуючи залежність (3,5), одержимо:

$$P_1^{пр}(t_0) = 1 - [1 - p_1(t_0)]^2 = 1 - (1 - 0{,}746)^2 = 0{,}935.$$

Тоді на підставі (3.1)

$$P_c^{рпр}(t_0) = p_1^{рпр}(t_0) \cdot p_2(t_0) \cdot p_3(t_0) = 0{,}935 \cdot 0{,}866 \cdot 0{,}966 = 0{,}782$$

тобто, система не задовольняє вимогам.

2-й спосіб - резервування заміщенням (дублювання) без відновлення. Використовуючи залежність (3,16), одержимо:

$$P_1^{ррз}(t_0) = 1 - \frac{[1 - p_1(t)]^2}{2!} = 1 - \frac{(1 - 0{,}746)^2}{2!} = 0{,}968.$$

Тоді на підставі (3.1)

$$P_c^{ррз}(t_0) = p_1^{ррз}(t_0) \cdot p_2(t_0) \cdot p_3(t_0) = 0{,}968 \cdot 0{,}866 \cdot 0{,}966 = 0{,}810.$$

У цьому випадку система задовольняє вимогам.

3-й спосіб - постійне дублювання з відновленням. Середній час відновлення першого блоку дорівнює $t_в$ = 5год, тобто інтенсивність відновлення $\mu_в$ =0,2 год$^{-1}$.

За залежністю (3,26) визначимо середнє напрацювання на відмову:

$$t_{ср}^{(1)} = \frac{\mu_B + 3 \cdot \Lambda_1}{2 \cdot \Lambda_1^2} = \frac{0{,}2 + 3 \cdot 293 \cdot 10^{-5}}{2 \cdot (293 \cdot 10^{-5})^2} = 0{,}122 \cdot 10^5 \, год.$$

На підставі (2,16) і (2,17), маємо:

$$P_1^{pnp+B}(t_0) = e^{-t_0 \,/\, t_{cp}^{(t)}} = e^{-100 \,/\, 0{,}122 \cdot 10^5} = 0{,}992.$$

Тоді по співвідношенню (3,1) знаходимо:

$$P_c^{pnp+B}(t_0) = p_1^{pnp+B}(t_0) \cdot p_2(t_0) \cdot p_3(t_0) = 0{,}992 \cdot 0{,}866 \cdot 0{,}966 = 0{,}830.$$

Цей спосіб також задовольняє вимогам і є більш кращим, ніж попередній; приймаємо його для реалізації.

Використовуючи формули (3,3) і (3,4), одержимо середній час справної роботи системи:

$$T_c^{pnp+B} = 1/\left(1/t_{cp}^{(1)} + 1/T_2 + 1/T_3\right) = 1/\left(1/0{,}122 \cdot 10^5 + 1/694 + 1/2860\right) = 534 \text{год}.$$

Задача 5. Визначити результуючу надійність гідросистеми автомобіля при відсутності резервування, при однократному та двократному постійному резервуванні блока 3 (рис. 3.6). Ймовірність безвідмовної роботи всіх блоків гідросистеми однакова $p_i = p = 0{,}9$.

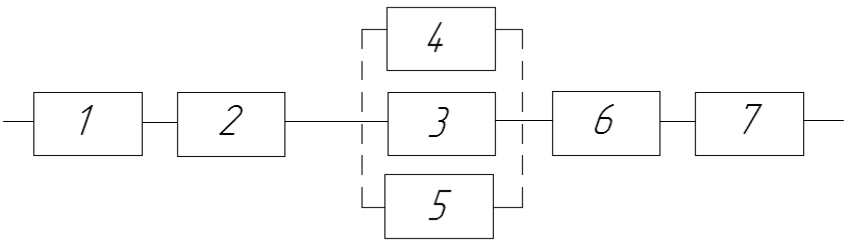

Рис. 3.6. Структурна схема надійності гідросистеми автомобіля.

Розв'язання.

1. При відсутності резервування згідно залежності (3.1) ймовірність безвідмовної роботи гідросистеми:

$$P_г^{осн} = p_1 \cdot p_2 \cdot p_3 \cdot p_6 \cdot p_7 = p^5 = 0{,}9^5 = 0{,}590$$

2. При однократному постійному резервуванні блоку 3 на підставі (3.1); (3.5); (3.20) ймовірність безвідмовної роботи гідросистеми:

$$P_г^{п.р.(1)} = p_1 \cdot p_2 \cdot \left[1-(1-p_3)\cdot(1-p_4)\right] \cdot p_6 \cdot p_7 = p^4\left[1-(1-p)^2\right] = 0{,}650$$

3. При двократному постійному резервуванні блоку 3 аналогічно випадку 2 маємо:

$$P_{г}^{п.р.(2)} = p_1 \cdot p_2 \cdot \left[1-\left(1-p_3\right)\cdot(1-p_4)\cdot(1-p_4)\right]\cdot p_6 \cdot p_7 = p^4\left[1-\left(1-p\right)^3\right] = 0{,}655$$

Задача 6. Визначити показники надійності системи електропостачання, наприклад, критого току при напрацюванні t_1=1 рік. Для підвищення надійності системи прокладено два кабелі по 10 кВт. Інтенсивність відмов системи Λ_c=0,2 /рік; інтенсивність відновлення – M_c = 365 1/рік. Розрахунок провести для наступних випадків: 1) один кабель без резервування; 2)два кабелі при постійному дублюванні; 3)два кабелі при резервуванні заміщенням.

Розв’язання.

Випадок 1. При t→∞, функція готовності Г(t) згідно (3.22) дорівнює

$$\Gamma\left(t\right) \cong K_\Gamma = M_c / \left(\Lambda_c + M_c\right) = 365/(0{,}2+365) = 0{,}9995$$

Середнє напрацювання до відмови на підставі (3.4) буде складати:

$T_{ср} = 1/\Lambda_c = 1/0{,}2 = 5$ років.

Випадок 2. Використавши залежність (3.26) маємо:

$$t_{ср}^{пр} = \frac{M_c}{2\cdot\Lambda_c^2} = \frac{365}{2\cdot 0{,}2^2} = 4562 \text{ роки.}$$

Еквівалентна інтенсивність відмов буде дорівнювати:

$$\Lambda_c^{пр} = 1/t_{ср}^{пр} = 2\cdot\Lambda_c^2 / M_c\,.$$

Тоді залежність для ймовірності безвідмовної роботи буде мати вигляд:

$$P_и^{пр}(t) = \left[-\Lambda_c^{пр}\cdot t\right] = \exp\left[-\frac{2\cdot\Lambda_c^2}{M_c}\cdot t\right].$$

При t_1=1рік маємо: $P_и^{пр}(t_1) = \exp\left[-\frac{2\cdot 0.2^2\cdot 1}{365}\right] = 0.9998$

Випадок 3. Використавши залежність (3.29) отримаємо:

$$t_{ср}^{пр} = \frac{M_c}{\Lambda_c^2} = \frac{365}{0{,}2^2} = 9125 \text{ років.}$$

Еквівалентна інтенсивність відмов:

$$\Lambda_c^{рз} = 1/t_{ср}^{рз} = \Lambda_c^2 / M_c$$

Тоді інтенсивність безвідмовної роботи розраховується за виразом:

$$P_и^{рз}(t) = \left[-\Lambda_c^{рз} \cdot t\right] = \exp\left[-\frac{\Lambda_c^2}{M_c} \cdot t\right].$$

При t_1=1рік маємо: $P_и^{рз}(t_1) = \exp\left[-\frac{0.2^2 \cdot 1}{365}\right] = 0.9999$.

3.3 Задачі для самостійного розв'язання

Задача 1. Система автоматичного вприскування палива двигуна автомобіля має **m** однакових датчиків контролю, з яких один є постійно включеним, а інші резервні. Інтенсивність відмов датчиків **λ**. Визначити ймовірність точного вприску палива за період $\mathbf{t_1}$, а також її середнє напрацювання до відмови та інтенсивність відмов при експоненціальному законі розподілу напрацювань.

Вихідні дані обрати з таблиці 3.2, згідно варіанту.

Таблиця 3.2

Вихідні дані до задачі 1

Варіант	**$\lambda \times 10^{-4}$ год$^{-1}$**	**t_1, год**	**m**
1	0,51	2010	2
2	0,62	2020	3
3	0,73	2030	2
4	0,84	2090	3
5	0,95	2080	2
6	0,46	2070	3
7	0,37	2050	2
8	0,52	2060	3
9	0,63	2040	2
10	0,74	2095	3
11	0,85	2085	2
12	0,96	2015	3
13	0,47	2035	2
14	0,38	2025	3
15	0,53	2045	2
16	0,64	2055	3
17	0,75	2100	2

18	0,86	2105	3
19	0,97	2195	2
20	0,48	2155	3
21	0,39	2160	2
22	0,54	2145	3
23	0,65	2140	2
24	0,76	2130	3
25	0,87	2135	2
26	0,98	2165	3
27	0,49	2170	2
28	0,40	2175	3
29	0,55	2125	2
30	0,67	2180	3

Задача 2. Агрегат для мийки автомобілів складається з наступних основних блоків: редуктор, насос, шланги, система розпилювачів. Інтенсивність відмов кожного відповідно становить $\boldsymbol{\lambda_р, \lambda_н, \lambda_ш, \lambda_с}$. Ймовірність безвідмовної роботи на протязі часу $\mathbf{t_1}$ становить $\mathbf{p_р(t_1), p_н(t_1), p_ш(t_1), p_с(t_1)}$. Період функціонування блоків підкоряється експоненціальному закону розподілу. Визначити ймовірність безвідмовної роботи агрегату при напрацюванні $\mathbf{t_1, t_2}$ і середнє напрацювання на відмову.

Вихідні дані обрати з таблиці 3.3, згідно варіанту

Таблиця 3.3

Вихідні дані до задачі 2

Варіант	$\lambda_р \times 10^{-5}$ год$^{-1}$	$\lambda_н \times 10^{-5}$ год$^{-1}$	$\lambda_ш \times 10^{-5}$ год$^{-1}$	$\lambda_с \times 10^{-5}$ год$^{-1}$	t_1, год	t_2, год	$p_р(t_1)$	$p_н(t_1)$	$p_ш(t_1)$	$p_с(t_1)$
1	1,97	1,40	1,00	0,51	400	2010	0,990	0,980	0,970	0,960
2	1,87	1,41	1,02	0,62	200	2020	0,991	0,981	0,971	0,961
3	1,76	1,49	1,04	0,73	250	2030	0,992	0,982	0,972	0,962
4	1,99	1,45	1,06	0,84	300	2090	0,993	0,983	0,973	0,963
5	1,88	1,42	1,08	0,95	450	2080	0,994	0,984	0,974	0,964
6	1,86	1,47	1,10	0,46	350	2070	0,995	0,985	0,975	0,965
7	1,85	1,45	1,01	0,37	200	2050	0,990	0,986	0,976	0,966
8	1,93	1,46	1,03	0,52	250	2060	0,991	0,987	0,977	0,967
9	1,91	1,50	1,05	0,63	400	2040	0,992	0,988	0,978	0,968
10	1,92	1,59	1,07	0,74	450	2095	0,993	0,989	0,979	0,969
11	1,94	1,58	1,09	0,85	250	2085	0,994	0,980	0,970	0,960
12	1,89	1,57	1,11	0,96	200	2015	0,995	0,981	0,971	0,961
13	1,88	1,52	1,12	0,47	230	2035	0,991	0,982	0,972	0,962
14	1,86	1,54	1,13	0,38	240	2025	0,992	0,983	0,973	0,963
15	1,87	1,53	1,14	0,53	280	2045	0,993	0,984	0,974	0,964
16	1,78	1,56	1,20	0,64	320	2055	0,994	0,985	0,975	0,965
17	1,79	1,51	1,19	0,75	360	2100	0,995	0,986	0,976	0,966
18	1,95	1,55	1,17	0,86	410	2105	0,991	0,987	0,977	0,967

19	1,94	1,60	1,16	0,97	420	2195	0,992	0,988	0,978	0,968
20	1,93	1,70	1,15	0,48	480	2155	0,993	0,989	0,979	0,969
21	1,75	1,69	1,30	0,39	290	2160	0,994	0,980	0,970	0,960
22	1,73	1,61	1,25	0,54	280	2145	0,995	0,981	0,971	0,961
23	1,81	1,68	1,24	0,65	250	2140	0,990	0,982	0,972	0,962
24	1,99	1,62	1,23	0,76	350	2130	0,991	0,983	0,973	0,963
25	1,82	1,63	1,27	0,87	340	2135	0,992	0,984	0,974	0,964
26	1,78	1,64	1,26	0,98	360	2165	0,993	0,985	0,975	0,965
27	1,79	1,67	1,28	0,49	380	2170	0,994	0,986	0,976	0,966
28	1,80	1,65	1,29	0,40	410	2175	0,995	0,987	0,977	0,967
29	1,90	1,66	1,21	0,55	420	2125	0,990	0,988	0,978	0,968
30	1,99	1,71	1,22	0,67	440	2180	0,991	0,989	0,979	0,969

Задача 3. Автомобільна система електронного запалювання складається з чотирьох блоків датчиків **A, B, C, D**, що мають імовірність безвідмовної роботи $\mathbf{p_1, p_2, p_3, p_4, p_5, p_6}$. Структурна схема надійності системи датчиків наведена на рис.2.8. Визначити ймовірність безвідмовної роботи системи.

Вихідні дані обрати в таблиці 3.4, згідно варіанту.

Таблиця 3.4

Вихідні дані до задачі 3

Варіант	$\mathbf{p_1}$	$\mathbf{p_2}$	$\mathbf{p_3}$	$\mathbf{p_4}$	$\mathbf{p_5}$	$\mathbf{p_6}$	**Схема за рис.3.1**
1	0,90	0,70	0,97	0,75	0,97	0,68	1
2	0,91	0,71	0,96	0,73	0,95	0,69	2
3	0,92	0,72	0,95	0,74	0,94	0,71	3
4	0,80	0,72	0,95	0,69	0,93	0,72	1
5	0,81	0,73	0,94	0,68	0,92	0,73	2
6	0,82	0,74	0,93	0,76	0,91	0,74	3
7	0,71	0,75	0,92	0,78	0,89	0,75	1
8	0,72	0,76	0,91	0,79	0,88	0,76	2
9	0,70	0,77	0,90	0,77	0,87	0,77	3
10	0,93	0,79	0,89	0,71	0,86	0,78	1
11	0,94	0,79	0,87	0,72	0,85	0,79	2
12	0,95	0,80	0,86	0,81	0,84	0,80	3
13	0,83	0,81	0,85	0,85	0,84	0,81	1
14	0,84	0,82	0,85	0,83	0,83	0,81	2
15	0,85	0,83	0,84	0,87	0,83	0,82	3
16	0,72	0,84	0,83	0,86	0,82	0,83	1
17	0,73	0,85	0,82	0,84	0,81	0,83	2
18	0,74	0,85	0,81	0,82	0,81	0,84	3
19	0,75	0,86	0,80	0,83	0,80	0,84	1

20	0,86	0,87	0,79	0,80	0,79	0,85	2
21	0,96	0,89	0,79	0,81	0,78	0,86	3
22	0,76	0,90	0,77	0,88	0,77	0,87	1
23	0,97	0,91	0,76	0,89	0,76	0,88	2
24	0,87	0,92	0,75	0,95	0,75	0,89	3
25	0,77	0,93	0,74	0,97	0,74	0,91	1
26	0,79	0,94	0,73	0,84	0,73	0,92	2
27	0,89	0,95	0,72	0,91	0,72	0,93	3
28	0,95	0,95	0,72	0,92	0,71	0,94	1
29	0,85	0,96	0,71	0,94	0,69	0,95	2
30	0,79	0,97	0,70	0,93	0,68	0,97	3

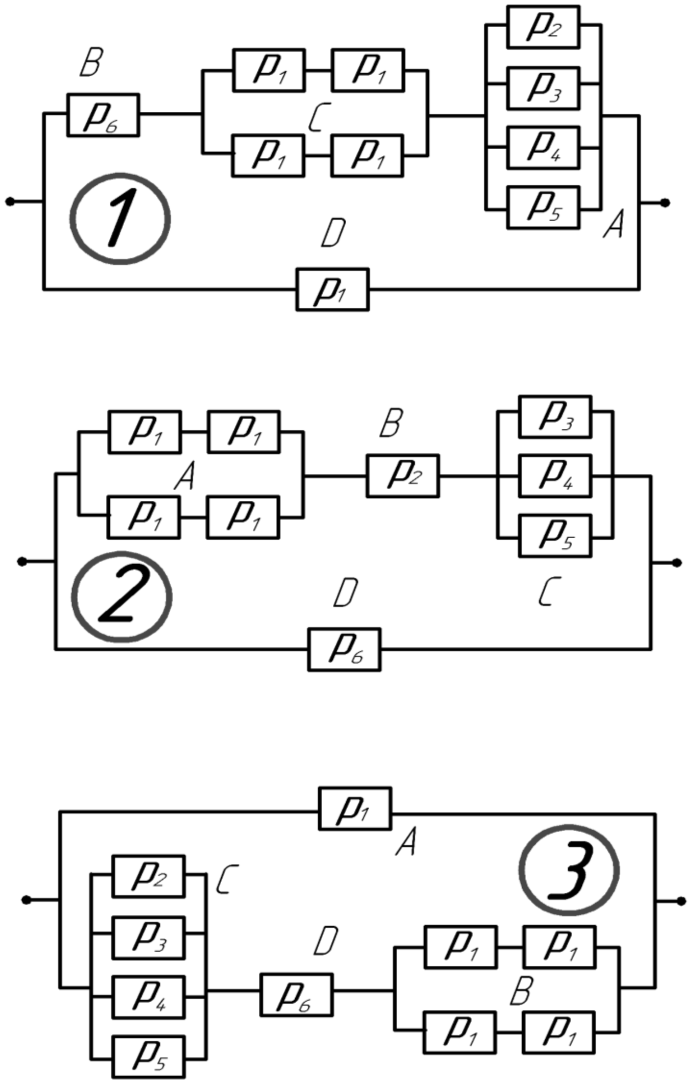

Рис.3.7. Схеми з’єднання блоків датчиків системи електронного запалювання.

Задача 4. При проектуванні гідроприводу навісних систем спеціальних автомобілів для підвищення її надійності встановлено два трубопроводи високого тиску від гідронасоса до гідроциліндра з яких один основний, інший резервний. Інтенсивність відмов трубопроводу $\boldsymbol{\Lambda_т}$; інтенсивність відновлення $\mathbf{M_т}$; напрацювання гідроприводу $\mathbf{t_1}$. Визначити середній час напрацювання гідроприводу на відмову та ймовірність безвідмовної роботи у випадках: а) в роботі гідроприводу задіяний тільки основний трубопровід; б) задіяні два трубопроводи при постійному дублюванні; в) задіяні два трубопроводи при резервуванні заміщенням.

Вихідні дані обрати в таблиці 3.5, згідно варіанту.

Таблиця 3.5

Вихідні дані до задачі 4

Варіант	$\Lambda_т \times 10^{-4}$, год$^{-1}$	$M_т$, $\times 10^{-3}$, год$^{-1}$	t_1, год
1	0,90	0,70	1010
2	0,91	0,71	950
3	0,92	0,72	1020
4	0,80	0,72	910
5	0,81	0,73	960
6	0,82	0,74	970
7	0,71	0,75	1030
8	0,72	0,76	1040
9	0,70	0,77	930
10	0,93	0,79	920
11	0,94	0,79	905
12	0,95	0,80	995
13	0,83	0,81	955
14	0,84	0,82	1050
15	0,85	0,83	1065
16	0,72	0,84	1025
17	0,73	0,85	1045
18	0,74	0,85	1085
19	0,75	0,86	985
20	0,86	0,87	925
21	0,96	0,89	905
22	0,76	0,90	1005
23	0,97	0,91	1035
24	0,87	0,92	965
25	0,77	0,93	975
26	0,79	0,94	905
27	0,89	0,95	1000
28	0,95	0,95	900
29	0,85	0,96	950
30	0,79	0,97	1050

Задача 5. Блок керування тиском в шинах сучасних автомобілях має чотири послідовно з'єднаних елементи, ймовірність безвідмовної роботи яких становить $\mathbf{p_1}$, $\mathbf{p_2}$, $\mathbf{p_3}$, $\mathbf{p_4}$. Визначити результуючу ймовірність безвідмовної роботи блоку керування в наступних випадках: а) без резервування елементів блоку; б) при однократному постійному резервуванні елемента **2** елементом **5** з ймовірністю безвідмовної роботи $\mathbf{p_5}$; в) при двократному постійному резервуванні елемента 3 елементами 5 і 6, ймовірність безвідмовної роботи елемента 6 - $\mathbf{p_6}$. Графічно зобразити структурну схему надійності блоку керування для кожного з зазначених випадків.

Вихідні дані обрати з таблиці 3.6, згідно варіанту.

Таблиця 3.6

Вихідні дані до задачі 5

Варіант	p_1	p_2	p_3	p_4	p_5	p_6
1	0,90	0,70	0,97	0,75	0,97	0,68
2	0,91	0,71	0,96	0,73	0,95	0,69
3	0,92	0,72	0,95	0,74	0,94	0,71
4	0,80	0,72	0,95	0,69	0,93	0,72
5	0,81	0,73	0,94	0,68	0,92	0,73
6	0,82	0,74	0,93	0,76	0,91	0,74
7	0,71	0,75	0,92	0,78	0,89	0,75
8	0,72	0,76	0,91	0,79	0,88	0,76
9	0,70	0,77	0,90	0,77	0,87	0,77
10	0,93	0,79	0,89	0,71	0,86	0,78
11	0,94	0,79	0,87	0,72	0,85	0,79
12	0,95	0,80	0,86	0,81	0,84	0,80
13	0,83	0,81	0,85	0,85	0,84	0,81
14	0,84	0,82	0,85	0,83	0,83	0,81
15	0,85	0,83	0,84	0,87	0,83	0,82
16	0,72	0,84	0,83	0,86	0,82	0,83
17	0,73	0,85	0,82	0,84	0,81	0,83
18	0,74	0,85	0,81	0,82	0,81	0,84
19	0,75	0,86	0,80	0,83	0,80	0,84
20	0,86	0,87	0,79	0,80	0,79	0,85
21	0,96	0,89	0,79	0,81	0,78	0,86
22	0,76	0,90	0,77	0,88	0,77	0,87
23	0,97	0,91	0,76	0,89	0,76	0,88
24	0,87	0,92	0,75	0,95	0,75	0,89
25	0,77	0,93	0,74	0,97	0,74	0,91
26	0,79	0,94	0,73	0,84	0,73	0,92
27	0,89	0,95	0,72	0,91	0,72	0,93
28	0,95	0,95	0,72	0,92	0,71	0,94
29	0,85	0,96	0,71	0,94	0,69	0,95
30	0,79	0,97	0,70	0,93	0,68	0,97

Практична робота №4.
ОЦІНКА НАДІЙНОСТІ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ ТЕХНІКИ ЗА ДАНИМИ ВИПРОБУВАНЬ

4.1. Основні теоретичні положення і розрахункові залежності

Як правило, дослідження надійності технічних об'єктів, що знаходяться в експлуатації, з економічних міркувань проводиться на окремих партіях однотипних підконтрольних автомобілів або їх агрегатів, що утворюють вибірку з генеральної сукупності. В результаті одержують наближені оцінки показників надійності, можуть бути двох видів: точкові та інтервальні.

Оцінка якого-небудь показника представлена одним значенням називається точковою.

Інтервальна оцінка являє собою деякий інтервал Δ_α, що називається довірчим. Усередині інтервалу з заданої ймовірності α, що також називається довірчою, знаходиться шукане значення показника надійності. На практиці приймають α = 0,9 чи 0,95.

При будь-якому законі розподілу напрацювання довірчий інтервал описується рівнянням:

$$\Delta_\alpha = \left(\bar{t} - t_\beta \cdot \sigma_k ; \bar{t} + t_\beta \cdot \sigma_k\right), \tag{4.1}$$

де $\sigma_\kappa = \sigma_t / \sqrt{n_b}$; $\bar{t}$ - точкова оцінка показника надійності у вигляді середнього значення; σ_t - середнє квадратичне відхилення показника; t_β - квантиль розподілу Стьюдента; n_b - обсяг вибірки.

Значення t_β в залежності від довірчої ймовірності α і обсягу вибірки n_b приведені в Додатку Д.

Крайні значення Δ_α називають відповідно нижньою і верхньою довірчими границями розсіювання показника надійності; величину $\varepsilon = t_\beta \cdot \sigma_\kappa$ - абсолютною випадковою помилкою спостерігача.

При нормальному розподілі (НР) напрацювання довірчий інтервал описується наступним виразом:

$$\Delta_\alpha = \left(\bar{t} - U_\beta \cdot \sigma_t ; \bar{t} + U_\beta \cdot \sigma_t\right), \tag{4.2}$$

де U_β - квантиль НР (Додаток Д).

Зіставляючи чисельні розрахунки по залежностях (4,1) і (4,2), можна помітити, що в другому випадку інтервал l_β значно вужчий, тобто достовірність статистики поліпшена.

Визначення мінімального числа об'єктів спостереження n_b (обсягу вибірки) при заданий довірчій ймовірності β і відносній точності $\delta = \varepsilon / \bar{t}$ зручно проводити за методом проф. В. М. Міхліна [62], (додатковий список літератури) сутність якого полягає в наступному:

1. За результатами попередніх випробувань обчислюють середнє значення $\bar{t}$ напрацювання об'єктів до відмови і середнє квадратичне відхилення σ_t.

2. Визначають коефіцієнт варіації V.

3. За величиною V, визначають закон розподілу напрацювання: при 0≥V≥0,33 - НР, при V > 0,33 частіше РВ, іноді НР при V = 1,0 – ЕР.

4. Вибирають задану відносну точність випробувань δ у межах 0,05...0,25 і довірчу ймовірність β у межах 0,80...0,95.

5. Визначаєть обсяг вибірки n_b* для випадку якщо загальне число об'єктів, що працюють у даній зоні, N≥10000 за допомогою Додатку Д.

6. Проводять корегування числа n_b* в бік зменшення за відомим графіком, якщо N < 10000; у протилежному випадку приймають $n_b = n_b$*.

В багатьох випадках замість Додатку Д зручніше використовувати для знаходження n_b* номограми Б. Ф. Хазова.

Застосовують наступну послідовність пошуку по цих номограмах:

$$(V) \to (\varepsilon) \to (\alpha) \to (n_b*).$$

За результатами випробувань на надійність, партії підконтрольних машин (чи агрегатів) здійснюють побудову статистичного (емпіричного) розподілу напрацювання. Потім для нього підбирається адекватний теоретичний розподіл, за допомогою якого можна з великою точністю визначати показники надійності машин, що входять в генеральну сукупність.

Відповідна обчислювальна процедура включає слідуючи етапи:

- ранжування вихідної інформації про надійність у вигляді варіаційного ряду;

- подання статистичного ряду у вигляді интервальної таблиці частот;

- побудова гістограми частоти відмов і полігона частот (графіка статистичного розподілу);

- визначення виду і параметрів апроксимуючого теоретичного розподілу;

- перевірка збігу теоретичного і статистичного розподілів за критеріями узгодження.

Розглянемо докладно ці етапи.

Припустимо, що досліджується напрацювання блоків певного типу, яка характеризується випадковою величиною t.

У заданій вибірці n_b величина t має реалізації t_1, t_2,...t_n, які є вихідними даними.

Розташувавши отримані значення t_i у порядку зростання від t_{min} до t_{max}, одержимо упорядкований варіаційний ряд.

Після цього приступають до побудови так званого статистичного ряду у виді інтервальної таблиці частот. Для цього спочатку визначають розмах варіювання R:

$$R = t_{\max} - t_{\min} . \tag{4.3}$$

Далі R поділяють на декілька інтервалів, число яких підраховується по формулі Старджесса [62]:

$$\mathrm{N}_R = 1 + 3{,}3 \cdot \ln(n_b). \tag{4.4}$$

Результат округлюється убік збільшення до найближчого цілого числа. Звичайно обмежуються 8 - 20 інтервалами угруповання. Ширина кожного інтервалу приймається постійною і рівною

$$\Delta t_N = R / N_R . \qquad (4.5)$$

Розриви в інтервалах не допускаються.

У залежності від кількості і ширини інтервалів вибірка може бути згрупована в різні статистичні ряди.

Типова таблиця частот заповнюється в наступному порядку.

В 1-му стовпці вказують границі інтервалів Δt_i; у 2-му - значення середин інтервалів t_{NC}, у 3-му - підраховують кількість значень m_N величини t, що приходяться на кожен інтервал. У нашому випадку це число відмов. Якщо яке-небудь значення t_i, знаходиться на границі двох інтервалів, то його в однаковій мірі відносять до обох інтервалів, приймаючи за $0{,}5 \cdot t_i$.

У 4-му стовпці по кожному з інтервалів визначають накопичене число відмов:

$$m(t_{NC}) = \sum_{i=1}^{N_R} m_i . \qquad (4.6)$$

Параметр $m(t_{NC})$ характеризує число відмов до моменту t_{NC}.

У 5-му стовпці наводять число працездатних блоків

$$n_p(t_{NC}) = n_b - m(t_{NC}).. \qquad (4.7)$$

У 6-му стовпці наводять відносну частку відмов в інтервалі (частота відмов)

$$\omega_N = m_N / n_b . \qquad (4.8)$$

У 7-му стовпці подають дослідну ймовірність відмов блоків:

$$Q(t_{NC}) = \sum_{i=1}^{N_R} \omega_N = m(t_{NC}) \Big/ n_b . \qquad (4.9)$$

Отже, $Q(t_{NC})$ являє собою накопичену частоту відмов.

У 8-му стовпці наводять досвідчену ймовірність безвідмовної роботи блоків.

$$p(t_{NC}) = 1 - Q(t_{NC}) = n_p(t_{NC}) \Big/ n_b . \qquad (4.10)$$

У 9-му стовпці подають інтенсивність відмов блоків:

$$\lambda\left(t_{NC}\right)=m_V / N_{cp} \cdot \Delta t_1\,, \qquad (4.11)$$

де $N_{ср}$ = $(N_i + N_{i+1})/2$; N_i; N_{i+1} - число працездатних блоків (на початку і наприкінці інтервалу Δt_i.

У 10-ий стовпець заносять частоту відмов, що відповідає емпіричній (дослідній) щільності розподілу напрацювання:

$$f_e\left(t_{NC}\right)=m_N / n_b \cdot \Delta t_N \qquad (4.12)$$

В 11-й стовпець заносять значення щільності розподілу напрацювання для обраного надалі адекватного теоретичного розподілу $f_T(t_{NC})$.

Типова таблиця частот має такий вигляд (табл. 4.1).

Таблиця 4.1

Типова таблиця частот

№ інтервал	Δt_i	t_{NC}	m_N	$m(t_{NC})$	$n_p(t_{NC})$	ω_N	$Q(t_{NC})$	$p(t_{NC})$	$\lambda(t_{NC})$	$f_э(t_{NC})$	$f_T(t_{NC})$
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11

На основі числових значень таблиці частот (табл. 4.1) визначають уточнену величину середнього напрацювання $\bar{t}$ і відповідного середнього квадратичного відхилення σ_t за виразами:

$$\bar{t}=\sum_{N=1}^{N_R} t_{NC} \cdot \omega_N\,, \qquad (4.13)$$

$$\sigma_t=\sqrt{\sum_{N=1}^{N_R}\left(t_{NC}-\bar{t}\right)^2 \cdot \omega_N}\,. \qquad (4.14)$$

У дослідну інформацію про надійність машин іноді попадають різні помилкові значення, що не є представницькими для даної генеральної сукупності і можуть спотворити статистичні висновки. Якщо підозрілим є мінімальний (t_{min}) чи максимальний (t_{max}) по величині результат спостереження, то його називають тим, що різко, виділяється чи грубою помилкою.

Процедура знаходження грубої помилки ("промаху") проводиться за допомогою статистики t° = $\left|t_{\min(\max)} - \bar{t}\right| / \sigma_1$ де $\bar{t}$ і σ_1 - дослідні числові характеристики, і критерію $W_{n,a}$, де n = n_b - обсяг вибірки, α - рівень значимості. Якщо t° > $W_{n,a}$. то результат, що перевіряється, буде грубою помилкою і його треба вилучити з інформації.

Значення $W_{n,a}$ приведені в Додатку Д.

Після заповнення інтервальної таблиці частот статистичного ряду здійснюють її зображення у виді ступінчастого графіка, який називається гістограмою частоти відмов (рис. 4.1).

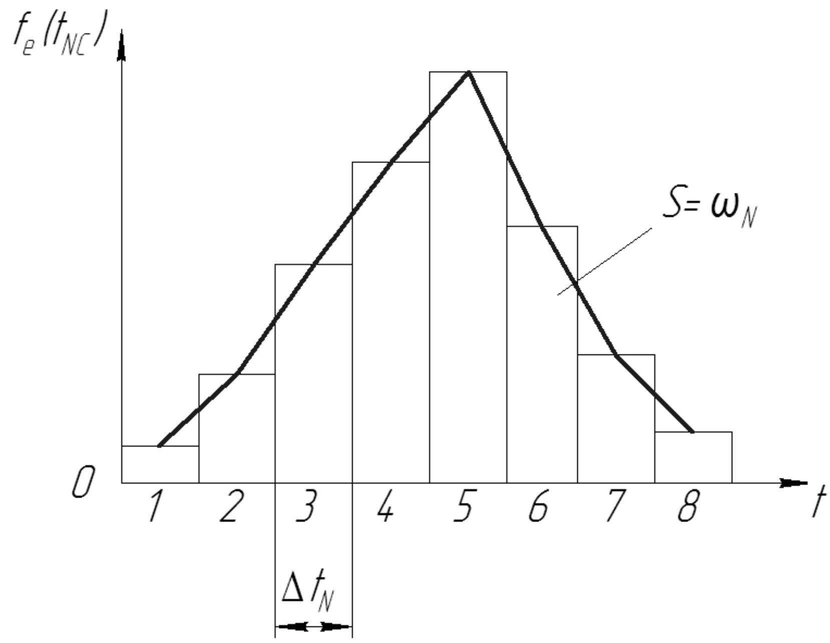

Рис. 4.1. Гістограма і графік статистичного розподілу.

Для цього по осі абсцис відкладають у масштабі інтервали N_R шириною Δt_N. Вибравши їх як основи, будують прямокутники з висотою рівної емпіричній щільності $f_e(t_{NC})$. Площа таких прямокутників дорівнює частоті відмов ω_N.

Ламана лінія, що апроксимує гістограму, являє собою графік статистичного розподілу напрацювання чи полігон частот.

Процес заміни статистичного розподілу адекватним теоретичним називають вирівнюванням (чи згладжуванням) статистичної інформації.

Попередньо вигляд передбачуваного теоретичного розподілу (нуль-гіпотеза) оцінюють візуально за полігоном частот і за величиною коефіцієнта варіації V: при $V \geq 0,52$ - РВ, при $V \leq 0,33$ - НР, при $0,33 < V < 0,52$ - РВ чи значно рідше НР, при $V = 1.0$ -ЕР.

Одночасно враховують область застосування того чи іншого закону розподілу: - НР використовується при розрахунках до - і міжремонтних ресурсів машин чи їхніх агрегатів; періодичності ТО, затрат часу на відновлення працездатності машин; ресурсів деталей, що залежать від зносу; - РВ – використовується для визначення напрацювання машин і їхніх агрегатів на відмову; ресурсів деталей, що залежать від утомленого руйнування чи старіння; для оцінки відмов в процесі припрацювання і т.п.; - ЕР – використовують при описі раптових відмов автомобілів та їх складових частин у період нормальної експлуатації; тривалості ремонтних впливів і ін.

Стосовно до автомобільної техніки має місце наступна поширеність основних законів розподілу: РВ- 55%; НР - 35%: ЕР - 4%.

Найбільш точно адекватний теоретичний розподіл вибирається за допомогою графічних методів з обов'язковою перевіркою ймовірності збігу не менш ніж за двома критеріями узгодження.

Сутність графічних методів полягає в наступному. Для попередньо обраного теоретичного розподілу $f(t)$ підбирають таке перетворення координат $x=\varphi(t)$; $y=\varphi(f)$, при якому графік функції $x=\varphi(y)$ перетворюється в пряму лінію Ця лінія відповідає теоретичному розподілу $f(t)$ і називається інтегральною лінією.

Якщо на отриманий графік нанести точки статистичного розподілу і вони співпадуть з інтегральною лінією або будуть згруповані навколо неї, то слід вважати, що теоретичний розподіл є адекватним статистичному.

4.2. Приклади розвязування задач

Задача 1. За наслідками випробувань маємо: N=20 одиниць техніки, $\sum_{i=1}^{N} t_i = 300км$, $\sum_{1}^{N} r_i = 300відмов$, $\sum_{i=1}^{N} t_{ві} = 600год$, $\sum_{i=1}^{N} t_{то} = 400год$,

m = 2 чол.,

W = 1,5 , Д = 20 днів, $T_р$ = 10 год, $t_{зм}$ =9,6 .

Показник безвідмовності:

$$T_0 = \frac{\sum_{1}^{N} t_i}{\sum_{1}^{N} r_i} = \frac{3000}{300} = 10км/відм$$

$$\omega(t) = 1/T_0 = 1/10 = 0{,}1відм/км$$

$$P(t_{зм} = 9{,}6) = e^{-\omega(t)t_{зм}} = e^{-0{,}1\cdot 9{,}6} = 0{,}38$$

Показники ремонтопридатності:

$$P(t_в \le T_з) = 1 - e^{-4/2} = 0{,}86$$

$$T_В = \sum_{1}^{N} t_{ві} / \sum_{1}^{N} r_{іус} = 600/300 = 2год$$

$$S_{пит}^{т.о.} = m\sum_{1} t_{т.о.} / \sum t_i = 2\cdot 400/3000 = 0{,}27люд\cdot год/км$$

Комплексні показники:

- коефіцієнт готовності:

$$К_г = \frac{a\cdot T_0}{a\cdot T_0 + T_в} = \frac{\frac{1}{W}\sum_{1}^{N} t_i}{\frac{1}{W}\sum_{1}^{N} t_i + \sum_{1}^{N} t_i} = \frac{3000/1{,}5}{3000/1{,}5 + 600} = 0{,}77$$

- коефіцієнт технічного використання :

$$К_г = \frac{\frac{1}{W}\sum_{1}^{N} t_i}{\frac{1}{W}\sum_{1}^{N} t_i + \sum_{1}^{N} t_{ві} + \sum_{1}^{N} t_{т.о.}} = \frac{3000/1{,}5}{3000/1{,}5 + 600 + 400} = 0{,}67$$

– коефіцієнт збереження ефективності :

$$K_{еф} = \frac{W_ф}{W_{ном}} = \frac{\sum_1^N t_i}{w \cdot T_р \cdot D \cdot N} = \frac{3000}{1{,}5 \cdot 10 \cdot 20 \cdot 20} = 0{,}50$$

Задача 2. Визначити обсяг іспитів автомобільного дизеля після капітального ремонту при заданій відносній точності δ=0, довірчої ймовірності β = 0,95.

Попередні іспити показали, що коефіцієнт варіації показника надійності V=0,2. Загальна кількість дизелів, складає N = 100.

Розв'язання

Так як V= 0,2, то використовуємо Додаток Д. Знаходимо n_b^* = 61. Скорегуємо отриманий результат по графіках рис 4.1. Для цього на осі абсцис робимо відмітку зі значенням 61 і від неї проводимо вертикальну лінію до перетинання з кривою, що характеризує загальне число об'єктів N= 100. Проекція крапки перетинання на вісь ординат показує відкоректоване мінімальне число дизелів, які повинні бути піддані іспитам (n_b = 38).

Задача 3. Результати спостережень за наробітком (у пог. км) каналоочисних автомобілів обладнаних установками МР-15 до першої відмови (n_b =75 машин) представлені у виді інтервальної таблиці частот (табл. 4.2)

Визначити вид закону розподілу наробітку, його параметри, ймовірність безвідмовної роботи p(t) і інтенсивність відмовлень λ(t) при t = 75 пог. км, а також середній наробіток до відмовлення $T_{ср}$.

Таблиця 4.2

Таблиця частот отриманих за результатами спостережень

№ інтервалу	Δt_1	t_{NC}	m_N	$m(t_{NC})$	$n_p(t_{NC})$	ω_N	$Q(t_{NC})$
1	0-10	5	1	1	74	0,013	0,013
2	10-20	15	1	2	73	0,013	0,026
3	20-30	25	0	2	73	0	0,026
4	30-40	35	5	7	68	0,067	0,093
5	40-50	45	10	17	58	0,133	0,227

6	50-60	55	16	33	42	0,214	0,440
7	60-70	65	19	52	23	0,254	0,693
8	70-80	75	15	67	8	0,200	0,893
9	80-90	85	7	74	1	0,093	0,987
10	90-100	95	1	75	0	0,013	1,000

№ інтервалу	$P(t_{NC})$	$\lambda(t_{NC})$	$f_p(t_{NC})$	$f_T(t_{NC})$	
				РВ	НР
1	0,987	$1{,}3\cdot10^3$	0,0013	0,00004	0,0003
2	0,974	$1{,}4\cdot10^3$	0,0013	0,0010	0,0014
3	0,974	0	0	0,0045	0,0052
4	0,907	$7{,}1\cdot10^3$	0,0067	0,0120	0,0130
5	0,773	$15{,}9\cdot10^3$	0,0133	0,0160	0,0218
6	0,560	$32\cdot10^3$	0,0214	0,0250	0,0248
7	0,307	$58{,}5\cdot10^3$	0,0254	0,0210	0,0191
8	0,107	$96{,}8\cdot10^3$	0,0200	0,0130	0,0099
9	0,013	$155{,}6\cdot10^3$	0,0093	0,0040	0,0035
10	0	$200\cdot10^3$	0,0013	0,0006	0,0008

Розв'язання

По області застосування (наробіток на відмовлення) ми маємо типовий випадок РВ.

Провіримо вид розподілу за коефіцієнтом варіації. Скористаємося залежностями:

$$\bar{t} = \sum_{N=1}^{10} t_{NC} \cdot \omega_N = 62{,}21 км,$$

$$\sigma_1 = \sqrt{\sum_{N=1}^{10} \left(t_{NC} - \bar{t}\right)^2 \cdot \omega_N} = 16{,}4$$

$$V = 16{,}4 / \ 62{,}21 = 0{,}26.$$

За значенням V повинне бути НР.

Тому, що маємо істотну розбіжність по виду розподілу перевіримо обидва варіанти за допомогою графічних досліджень.

Проведемо графічне дослідження (Рис. 4.2), нехтуючи зсувом $t_{зм}$:

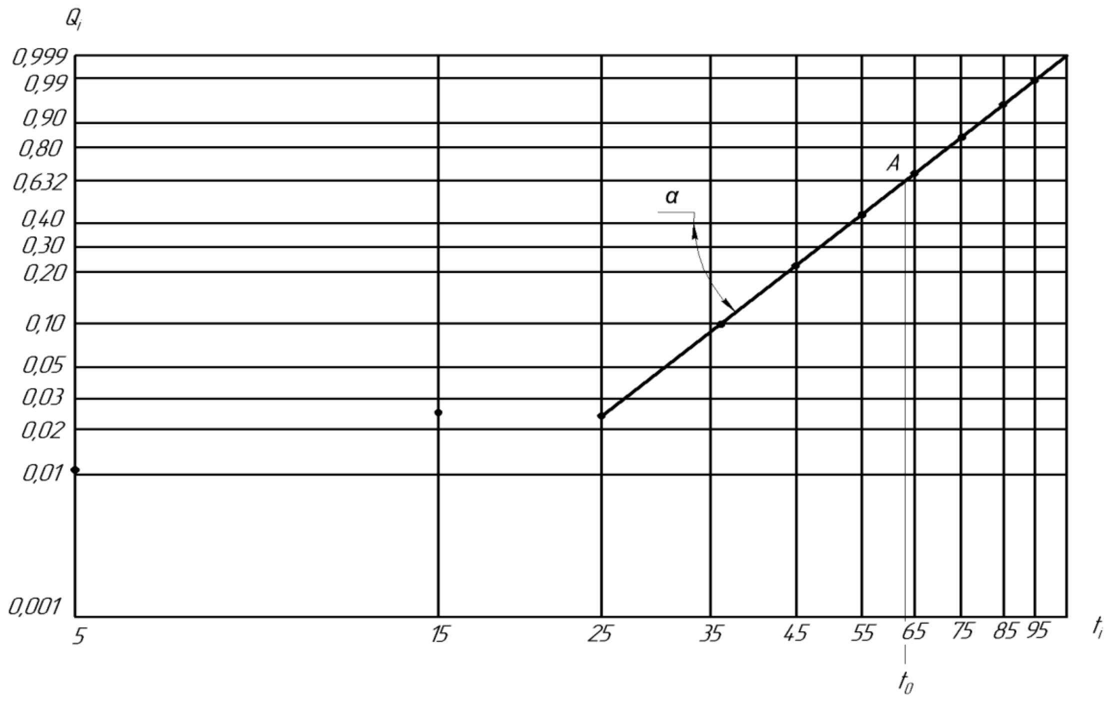

Рис. 4.2. Визначення параметрів РВ.

Задамося масштабами осей: $К_x$ = 50 мм (при L =150 мм): $К_y$ = 11,3 мм (при H = 100 мм), використовуємо Додаток Д.

Числові значення $S_x(t_i)$ і $S_y(Q_i)$, на яких знаходяться дослідні точки розподілу і будується шкала осі абсцис, наведені в табл.4.3.

Таблиця 4.3

Числові значення параметрів у дослідних точках

Розрахунковий параметр	Номера інтервалів									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$t_1 = t_{NC}$	5	15	25	35	45	55	65	75	85	95
x_1 = lnt,	1,61	2,71	3,22	3,55	3,81	4,00	4,17	4,32	4,44	4,55
$S_x(t_1)$мм,	80,5	135,5	161,0	177,5	190,5	200,0	208,5	216,0	222	227,5
$Q_1(t_1)$	0,013	0,026	0,026	0,093	0,227	0,440	0,693	0,893	0,987	1,0
$x = \ln\ \ln - \frac{1}{1-Q(t_1)}$	-4,34	-3,64	-3,64	-2,33	-1,36	-0,55	0,17	0,80	1,28	1,93
$S_x(Q_1)$мм,	-49,0	-41,1	-41,1	-26,3	-15,3	-6,1	1,9	9,1	14,5	21,8

Для компактності графіка вісь абсцис зміщена вліво на S_x (5)= 80,5мм.

Призведемо аналіз графічних побудов, показаних на рис. 4.2. На інтервалі t_i=25...95 дослідні точки статистичного розподілу добре збігаюся з інтегральною прямою, що апроксимує РВ. Відхилення точок при t = 5 і 15 від зазначеної прямої можна пояснити малою кількістю інформації в 1-му і 2-му інтервалах. Отже, у якості нуль-гіпотези умовно можна прийняти РВ. Визначимо його параметри. З графіка знайдемо, що $S_x(t_0)$ = 205 мм; α = 42°.

Одержимо: $\ln t_0 = \frac{S_x(t_0)}{K_x} = \frac{205}{50} = 41,$ звідки t_0 = 60,5 км,

тоді: $m = \frac{K_x}{K_y} \cdot tg = \frac{50}{11,3} \cdot 0,9 = 3,98 \cong 4,0$.

4.3 Задачі для самостійного розв'язання

Задача 1. Протягом певного етапу випробували n автомобілів. Всього перевезено t_n тон вантажів. При цьому зафіксовано r відмов. Загальний час простоїв на усунення відмов склав T_r годин і при проведенні планових техобслуговувань t_o годин. Кожен автомобіль обслуговує m = 2 людини. Годинна продуктивність W тон/год. Тривалість етапу D днів, робочої зміни t_p годин. Норма напрацювання за зміну t_z мото/год. Визначити показники безвідмовності: середнє напрацювання на відмову, параметр потоку відмов і ймовірність безвідмовної роботи протягом зміни. Вихідні дані обрати з таблиці 4.4

Таблиця 4.4

Вихідні дані до задачі 1

Варіант	n	t_n	r	T_r	t_o	W	D	t_p	t_z
1	20	2010	215	400	300	1,40	20	8	10
2	21	2020	220	200	280	1,42	25	9	11
3	22	2030	225	250	290	1,54	30	10	12
4	23	2090	230	300	270	1,66	20	8	10
5	24	2080	235	450	310	1,58	25	9	11
6	25	2070	240	350	260	1,40	30	10	12
7	26	2050	240	200	250	1,61	21	8	10
8	27	2060	250	250	240	1,53	23	9	1
9	28	2040	255	400	280	1,45	25	10	12
10	29	2095	255	450	340	1,37	27	8	10
11	30	2085	260	250	330	1,39	29	9	11
12	29	2015	260	200	325	1,51	22	10	12

13	28	2035	265	230	295	1,52	24	8	10
14	27	2025	270	240	255	1,43	26	9	11
15	26	2045	270	280	260	1,34	28	10	12
16	25	2055	275	320	315	1,30	30	8	10
17	24	2100	275	360	305	1,59	29	9	11
18	23	2105	280	410	275	1,67	28	10	12
19	22	2195	280	420	340	1,46	27	8	10
20	21	2155	290	480	345	1,35	26	9	11
21	20	2160	295	290	265	1,30	25	10	12
22	21	2145	300	280	230	1,25	24	8	10
23	22	2140	305	250	275	1,24	23	9	11
24	23	2130	310	350	270	1,23	22	10	12
25	24	2135	315	340	225	1,27	21	8	10
26	25	2165	325	360	235	1,26	20	9	11
27	26	2170	330	380	240	1,28	30	10	12
28	27	2175	340	410	215	1,29	27	8	10
29	28	2125	340	420	220	1,21	24	9	11
30	29	2180	345	440	255	1,22	21	10	12

Задача 2. За наслідками випробувань автомобілів (див. умови задачі 1) визначити показники ремонтопридатності: середній час відновлення працездатності, питому трудомісткість технічного обслуговування і ймовірність відновлення в міжзмінний період часу ($T_з$=5 ч).

Задача 3. За наслідками випробувань автомобілів (див. умови задачі 1) визначити комплексні показники надійності:

• коефіцієнт готовності;

• коефіцієнт технічного використання;

• коефіцієнт збереження ефективності.

Практична робота №5.

ВИЗНАЧЕННЯ РЕСУРСНИХ ПОКАЗНИКІВ НАДІЙНОСТІ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ ТЕХНІКИ І РОЗРАХУНОК ЧИСЛА ЗАПАСНИХ ЧАСТИН

5.1 Основні теоретичні положення і розрахункові залежності

До ресурсних відносяться показники довговічності сільськогосподарських машин (чи агрегатів), які характеризують тривалість їх справної роботи. Під оптимальною довговічністю СГ машин мається на увазі економічно виправданий термін їхнього використання до капітального ремонту чи списання.

Основними (часто нормованими) ресурсними показниками є $T\gamma$ - гама - процентний ресурс; T_p - середній ресурс (до списання; до першого капітального ремонту, міжремонтний); T_c - календарний термін служби, $T_{отк}$ - планове напрацювання на функціональну відмову.

Гамма-процентний ресурс $T\gamma$ - це напрацювання, протягом якого машина не досягне граничного стану з регламентованою імовірністю γ.

Розрахункові формули для $T\gamma$ мають такий вид: - для НР

$$T_{\gamma} = \bar{t} - U_{\gamma} \cdot \sigma_t \tag{5.1}$$

де $\bar{t}$ і σ_t - параметри НР; U_γ - квантиль НР;

- для РВ:

$$T_{\gamma} = t_0 \left(-\ln\gamma\right)^{\frac{1}{m}} + t_{зм} = t_0 \cdot H^{B}_{(1-\gamma)} + t_{зм} \tag{5.2}$$

де m і t_0 - параметри РВ; $t_{зм}$- зсув початку розсіювання; $H^B_{(l-\gamma)}$ - квантиль РВ;

- для ЕР

$$T_{\gamma} = \frac{1}{\lambda}\left(-\ln\gamma\right) \tag{5.3}$$

де λ- параметр ЕР.

В Додатку Д наведені значення U_γ, і - значення $H^B_{(l-\gamma)}$ при заданому параметрі m

Для визначення гамма-процентного до ремонтного ресурсу машин $T_{р\partial\gamma}$ використовується наступна залежність:

$$T_{р\partial\gamma} = T_{р\partial} / K_{\gamma} \quad (5.4)$$

де $T_{р\partial}$, - доремонтний ресурс; K_{γ} - коефіцієнт, що залежить від рівня регламентованої імовірності γ , коефіцієнту варіації ресурсу і закону розподілу ресурсу . Наприклад, при γ = 0,8, V = 0 4 і РВ приймають $K_{\gamma=}$1,5.

Загальне напрацювання СГ машини чи її складових частин (деталей, вузлів, агрегатів) до настання граничного стану називається середнім ресурсом, а аналогічне календарне напрацювання - середнім терміном служби.

Близько 90% всіх відмов техніки відбувається внаслідок зношування деталей в контактних сполученнях (парах тертя).

Зношування - це процес поступової зміни розмірів поверхонь, що сполучаються, у результаті тертя при їх відносному переміщенні, а знос – це характеристика зношування, оцінювана в лінійних одиницях втрат, маси чи об’єму деталі.

Кількісними показниками зносу є: лінійний знос (I, мкм); швидкість зношування ($a_{зн,}$ мкм/год); безрозмірна величина - інтенсивність зношування (J).

В загальному випадку лінійний знос є випадковою функцією напрацювання й описується виразом:

$$I(t) = a_{зн} \cdot t^{\alpha} + b_{зн} \quad (5.5)$$

де $b_и$ - величина зносу по закінченню приробляння, α – показник ступеню (α = 1,1...1,5) Граничний знос - $I_{гр}$.

В багатьох випадках швидкість зношування можна прийняти постійною і рівною.

$$a_{зн} = кp^{m} \cdot V^{n}, \quad (5.6)$$

де p - тиск на поверхні тертя; V – швидкість відносного ковзання, k - коефіцієнт зносу, що залежить від матеріалу пар тертя й умов зношування; m = 0,5...3,0; n = 1 для більшості пар тертя.

Для абразивного зношування (при b_m= 0)

$$a_{,} = k \cdot p \cdot V ; \tag{5.7}$$

$$I(t) = \kappa \cdot p \cdot V \cdot t = a_{зн} \cdot t \tag{5.8}$$

Швидкість й інтенсивність зношування пов'язані між собою співвідношенням

$$a_{зн} = j \cdot V \tag{5.9}$$

Для оцінки інтенсивності зношування основних сполучень щодо автомобілів застосовується 10 класів зносостійкості, на які розбивається весь діапазон можливих швидкостей зношування (табл. 5.1).

Зміна ресурсу деталі (чи сполучення) при зношуванні описується НР з параметрами $\bar{t}_R$ і σ_R.

Тоді ймовірність безвідмовної роботи по критерію зношування буде дорівнювати:

$$P_{зн}(t_R) = 0{,}5 \cdot \left[1 - \Phi \cdot \left(\frac{t_R - \overline{t_R}}{\sigma_R} \right) \right]. \tag{5.10}$$

де Ф(z) - подвоєна функція Лапласа.

Виходячи з співвідношення (5.7), $a_{зн} = f($ p; V).

Якщо прийняти, що $a_{зн}$, p і V мають НР з параметрами $(\overline{a_u}; \sigma_{ан})$; $(\overline{p}; \sigma_{po})$; $(\overline{V}; \sigma_v)$, одержимо:

$$\sigma_{a_u} = k \cdot \sqrt{\sigma_{po}^2 \cdot \sigma_v^2 + \overline{p}^2 \cdot \sigma_v^2 + \overline{V}^2 \cdot \sigma_{po}^2} \tag{5.11}$$

Знайдемо границі довірчого інтервалу l_β для швидкості зношування через квантилі НР U_β :

$$l_\beta = \left(\overline{a}_u - U_\beta \cdot \sigma_{a_u} ; \overline{a}_u + U_\beta \cdot \sigma_{a_u} \right) \tag{5.12}$$

Таблиця 5.1

Класи зносостійкості та інтенсивність зношування основних сполучень в автомобілях

Клас зносостійкості	Інтенсивність зношування	Вид фрикційного контакту
0	$10^{-12}>j\geq10^{-13}$	Пружний
1	$10^{-11}>j\geq10^{-12}$	
2	$10^{-10}>j\geq10^{-11}$	
3	$10^{-9}>j\geq10^{-10}$	Пружно-пластичний
4	$10^{-8}>j\geq10^{-9}$	
5	$10^{-7}>j\geq10^{-8}$	Пластичний
6	$10^{-6}>j\geq10^{-7}$	
7	$10^{-5}>j\geq10^{-6}$	
8	$10^{-4}>j\geq10^{-5}$	Мікрорізання
9	$10^{-3}>j\geq10^{-4}$	

Для визначення ресурсу деталей по критерію зношування застосовуємо залежність:

$$I(t) = I_{пр}; a_u = \bar{a}_u + U_\beta \cdot \sigma_{a_u},$$

тоді ресурс деталі при заданій ймовірності безвідмовної роботи $P_{нз}(t_R)=\beta$ дорівнюватиме:

$$T_p^{из}(\beta) = \frac{I_{пр}}{\bar{a}_u + U_\beta \cdot \sigma_{a_u}} \quad (5.13)$$

Середній ресурс деталі $T_p^{из}$ за критерієм абразивного зношування визначиться наступним чином:

$$T_p^{из} = \frac{I_{пр}}{\bar{a}_u} \quad (5.14)$$

Для загального випадку зношування маємо:

$$T_p^{из} = \sqrt[\alpha]{\frac{I_{пр}}{\bar{a}_u}} \qquad (5.15)$$

Таким чином, ресурс деталей по зношуванню залежить від величини граничного зносу $I_{пр}$, що відповідає моменту настання, так званого, граничного стану, при якому подальше використання деталі по призначенню неприпустиме, а ремонт економічно недоцільний.

Визначення $I_{пр}$ у кожному конкретному випадку є задоволено складною і відповідальною задачею.

У залежності від величини ресурсу, гарантованого заводом -виробником, складальні частини автомобілів підрозділяються на 6 груп (табл.5.2).

Таблиця 5.2

1. Елементи робочих органів, що ріжуть, (ножі, зуби, різці) – 400...700 м. – год;
2. Деталі ходових систем - 1800...3000 м.. - год;
3. Деталі систем керування (гідронасоси; гідро розподільники; гідромотори; компресори) - 2000...4000 м. - год;
4. Деталі двигунів (циліндри; поршні; голівки блоків, колінчасті вали)- 2500...5000 м. -год;
5. Деталі трансмісії (вали, осі. шестірні) - 3000...6000 м. - год;
6. Корпусні деталі і металоконструкції - 4000...7000 м. – год.

Середнє напрацювання автомобілю на відмову при фіксованому рівні надійності p(t) називається плановим наробітком на функціональне відмовлення $T_{від}$.

Для базового автомобілю:

$$T_{від} = -\frac{t_м}{\ln P_м(t_м)} \qquad (5.16)$$

де $t_м$ - наробіток автомобілю;

для агрегату, що включає *n* робочих агрегатів:

$$T_{від}^A = -\frac{-n \cdot t_A}{\ln P_A(t_A) + t_A / T_{від}} \qquad (5.17)$$

де t_A - наробіток певного агрегату.

Звичайно приймають рівень регламентованої надійності $P_м(t_м) = P_A(t_A) = 0{,}8$

5.2. Приклади розв’язання задач

Задача 1. Визначити 80% ресурс силового агрегату автомобілю за умови, що він підкоряється РВ з параметрами m=1,2; t_0=1820м. –год. При $t_{зм}$=1300 мото–год.

Розв'язання.

Використаємо формулу (5.2) і для значення (1 - λ) = 0,2 згідно Додатку Д знаходимо квантиль $H^B_{(1-\gamma)} = H^B_{0,2}$=0,29. Тоді

$$T_{0,8} = 1820 \cdot 0{,}29 + 1300 = 1828 м.-год.$$

Задача 2. Визначити оптимальне значення до - і міжремонтних ресурсів колісного тягачу класу 25 кН за умови, що T_c = 12 років, $n_{кр}$ =2 δ= 1 5, q = 1,2.

Розв'язання.

На підставі залежностей (5.16) і (5.17) одержимо

$$T^{опт}_{рд} = 12 \cdot \left(1 + 2 \cdot 1{,}2^{-\frac{1}{1,5-1}}\right) \cong 5 років$$

$$T^{опт}_{рм} = 12 \cdot \left(1 + 1{,}2^{\frac{1}{1,5-1}}\right) \cong 3{,}5 року$$

Приймаючи $T_г$ = 1700 м – год. Будемо мати ; $T^{опт}_{ро}$ = 8500 м – год.; $T^{опт}_{ро}$ = 5950 м/ год . ≅ 6000 м – год.

Задача 3. По критерію абразивного зношування визначити середній ресурс деталі автомобілю і її ресурс при заданій ймовірності безвідмовної роботи $P_{из}$ (t_R) =0,8 Прийняти, що швидкість зношування підкоряється НР з параметром $a_u = 2 \cdot 10^{-2}$ мкм/год (параметр σ_{au} не відомий) максимальний припустимий знос $I_{пр}$ =10мкм. При розрахунку врахувати, що тиск р на поверхні тертя і швидкість відносного зношування V також підкоряються НР з параметрами $\bar{p}$ = 1,57 Мн/м^2, σ_p = 0,147 Мн/м^2; V = 2 м/с; σ_V= 0,2 м/с.

Розв’язання.

Обчислимо коефіцієнт зносу:

$$K = \frac{\bar{a}_u}{\bar{p} \cdot \bar{V}} = \frac{2 \cdot 10^{-2}}{1{,}57 \cdot 2} = \frac{1}{1{,}57} \cdot 10^{-2}$$

По залежності (5.11) знайдемо σ_{au} :

$$\sigma_{a_u} = \frac{10^{-2}}{1{,}57} \cdot \sqrt{0{,}147^2 \cdot 0{,}2^2 + 1{,}57 \cdot 0{,}2^2 + 2^2 \cdot 0{,}147^2} = 2{,}77 \cdot 10^{-3}$$

По формулі (5.13) при β = 0,8 одержимо:

$$T_p^{из}(0{,}8) = \frac{10}{2 \cdot 10^{-2} + 0{,}842 \cdot 0{,}277 \cdot 10^{-2}} = 448\,год$$

По формулі (5.14) маємо:

$$T_p^{из} = \frac{10}{2 \cdot 10^{-2}} = 500\,год$$

5.3 Задачі для самостійного розв’язання

Задача 1. Розподіл ресурсу паливної апаратури, наприклад, двигуна ЯМЗ-238 за законом Вейбула-Гнеденка має наступні параметри: m, t_0, $t_{зм}$. Визначити гама-процентний ресурс T_γ паливної апаратури при відомому значенні γ .

Вихідні дані обрати згідно варіанту з таблиці 5.3 .

Задача 2. Визначити оптимальне значення доремонтного і міжремонтного ресурсу автомобілю за умови, що термін служби становить T_c, кількість планових капітальних ремонтів $n_{кр}$, показник збільшення витрат δ, коефіцієнт, що враховує збільшення кількості відмов після капітального ремонту q.

Вихідні дані обрати згідно варіанту з таблиці 5.4.

Задача 3. Визначити середній ресурс валу коробки передач (КП) та його ресурс при умові абразивного зношування і заданій ймовірності безвідмовної роботи $P_{из}$ (t_R) =0,8 Прийняти, що швидкість зношування підкорюється закону нормального розподілу з параметром a_u = $1,8 \cdot 10^{-2}$ мкм/год, максимальний припустимий знос $I_{пр}$ = 90 мкм. В розрахунках врахувати, що тиск p на поверхні тертя і швидкість відносного зношування V також підкоряються закону нормального розподілу з параметрами $\bar{p}$,Мн/м^2, σ_p, Мн/м^2; V, м/с; σ_V, м/с.

Вихідні дані обрати згідно варіанту з таблиці 5.5.

Таблиця 5.3

Вихідні дані до задачі 1

Варіант	γ, %	m	t_0	$t_{зм}$
1	80	0,9	2010	1215
2	90	1,0	2020	1220
3	85	0,9	2030	1225
4	80	1,0	2090	1230
5	90	1,1	2080	1235
6	85	1,2	2070	1240
7	80	1,2	2050	1240
8	90	1,3	2060	1250
9	85	1,1	2040	1255
10	80	1,5	2095	1255
11	90	1,4	2085	1260
12	85	1,6	2015	1260
13	80	1,9	2035	1265
14	90	2,0	2025	1270
15	85	1,7	2045	1270
16	80	2,5	2055	1275
17	90	1,9	2100	1275
18	85	1,8	2105	1280
19	80	1,0	2195	1280
20	90	1,6	2155	1290
21	85	1,1	2160	1295
22	80	2,0	2145	1300
23	90	2,5	2140	1305

24	85	1,9	2130	1310
25	80	1,2	2135	1315
26	90	1,0	2165	1325
27	85	1,3	2170	1330
28	80	1,8	2175	1340
29	90	1,7	2125	1340
30	85	3,0	2180	1345

Таблиця 5.4

Вихідні дані до задачі 2

Варіант	T_c, років	$n_{кр}$	δ	q
1	9	2	1,1	1,11
2	10	3	1,2	1,10
3	11	2	1,3	1,13
4	12	3	1,4	1,12
5	9	2	1,5	1,14
6	10	3	1,1	1,16
7	11	2	1,2	1,15
8	12	3	1,3	1,20
9	9	2	1,4	1,18
10	10	3	1,5	1,17
11	11	2	1,1	1,16
12	12	3	1,2	1,15
13	9	2	1,3	1,14
14	10	3	1,4	1,10
15	11	2	1,5	1,11
16	12	3	1,1	1,12
17	9	2	1,2	1,13
18	10	3	1,3	1,19
19	11	2	1,4	1,20
20	12	3	1,5	1,21
21	9	2	1,1	1,22
22	10	3	1,2	1,18
23	11	2	1,3	1,17

24	12	3	1,4	1,15
25	9	2	1,5	1,21
26	10	3	1,1	1,23
27	11	2	1,2	1,26
28	12	3	1,3	1,13
29	9	2	1,4	1,18
30	10	3	1,5	1,22

Таблиця 5.5

Вихідні дані до задачі 3

Варіант	$\bar{p}$,Мн/м^2	σ_p, Мн/м^2	V, м/с;	σ_V, м/с
1	1,1	0,154	2	0,20
2	1,2	0,157	3	0,30
3	1,3	0,148	4	0,25
4	1,4	0,165	3	0,23
5	1,5	0,147	2	0,21
6	1,1	0,146	4	0,22
7	1,2	0,150	2	0,24
8	1,3	0,168	3	0,27
9	1,4	0,152	4	0,29
10	1,5	0,140	3	0,31
11	1,1	0,153	2	0,32
12	1,2	0,157	5	0,21
13	1,3	0,159	2	0,25
14	1,4	0,149	7	0,24
15	1,5	0,148	2	0,28
16	1,1	0,167	3	0,32
17	1,2	0,137	6	0,30
18	1,3	0,154	3	0,21
19	1,4	0,157	2	0,22
20	1,5	0,148	4	0,23
21	1,1	0,165	2	0,24
22	1,2	0,147	6	0,29
23	1,3	0,146	5	0,27

24	1,4	0,150	3	0,34
25	1,5	0,168	2	0,36
26	1,1	0,152	5	0,24
27	1,2	0,140	2	0,28
28	1,3	0,153	7	0,21
29	1,4	0,157	2	0,20
30	1,5	0,159	4	0,28

Література

1. Надійність сільськогосподарської техніки /За ред. М.І.Черновола. – Кіровоград: КОД, 2010. – 319 с.

2. Соловиx Є.К. Надійність машин та обладнання. Кіровоград: КОД, 2007. – 291 с.

3. Надійність машин та обладнання. Методичні вказівки до виконання курсової роботи. Укладачі: М.І.Черновол, Є.К.Солових, В.В.Аулін та ін.. – Кіровоград: РВЛ КНТУ, 2005. – 46 с.

4. Армашов Ю.В., Випробування сільськогосподарської техніки на надійність: Навч. посібник / Армашов Ю.В., Охмат П.К. Дніпропетровськ, 2002. – 219с.

5. Армашов Ю.В., Надійність сільськогосподарської техніки: Навч. посібник / Армашов Ю.В., Охмат П.К.- Дніпропетровськ: РВВ ДДАУ, 2008. – 208с.

6. Гранкін С.Г. Надійність сільськогосподарської техніки./ Гранкін С.Г., Малахов В.С., Черновол М.И., Черкун В.Ю. – К.; Урожай, 1998. – 205с.

7. Дмитриченко М.Ф. Триботехніка та основи надійності машин./ Дмитриченко М.Ф., Мнацаканов Р.Г., Мікосянчик О.О.- К.:Інформавтодор,2006. – 216с.

8. Залужний А.М. Надійність та діагностика технічних систем: Навчальний посібник. – Житомир. – ЖІТІ, 2002. – 356с.

9. Надійність сільськогосподарської техніки /За ред.. М.І.Черновола, Кіровоград: КОД, 2010. – 319 с.

10. Надійність автомобілів. Навчально-методичний посібник /Є.К. Солових, С.О. Магопець, С.Є. Катеринич, А.Є. Солових, В.О. Дубовик. – Кропивницький. РВЛ ЦНТУ, 2019. – 309 с.

11. Армашов Ю.В., Випробування сільськогосподарської техніки на надійність: Навч. посібник / Ю.В. Армашов, П.К. Охмат. -Дніпропетровськ, 2002. – 219с.

12. Надійність та ремонт сільськогосподарської техніки: Метод. рекомендації до виконання курс. проекту./Упорядники: М.І.Черновол, Є.К.Солових, В.В.Аулін, Ф.М.Капелюшний, С.Є.Катеринич. – Кропивницький: КНТУ, 2006. – 64с.

НАВЧАЛЬНО-МЕТОДИЧНЕ ВИДАННЯ

НАДІЙНІСТЬ ТЕХНІКИ В АГРОПРОМИСЛОВОМУ КОМПЛЕКСІ

Методичні рекомендації до виконання практичних робіт

Упорядники: Є.К.Солових
С.Є.Катеринич
А.Є.Солових