

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ
ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІКИ, ЕНЕРГЕТИКИ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ
ТЕХНОЛОГІЙ
КАФЕДРА АГРОІНЖЕНЕРІЇ ТА ТЕХНІЧНОГО СЕРВІСУ
ІМЕНІ ПРОФЕСОРА ОЛЕКСАНДРА СЕМКОВИЧА

ДИПЛОМНА РОБОТА

Освітнього ступеня «Магістр»

на тему: **«ОБҐРУНТУВАННЯ ПОКАЗНИКІВ
НАДІЙНІСТІ І РЕМОНТОПРИДАТНОСТІ
ТЕХНОЛОГІЧНИХ СИСТЕМ АВТОМОБІЛІВ
VOLVO»**

Виконав: студент групи Ат-61
Спеціальності 274 «Автомобільний транспорт»
(шифр і назва)

Тимчишин Тарас Романович
(Прізвище та ініціали)

Керівник: к.т.н., доц. Барабаш Р.І.
(Прізвище та ініціали)

Дубляни 2024

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ
ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІКИ, ЕНЕРГЕТИКИ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ
ТЕХНОЛОГІЙ
КАФЕДРА АГРОІНЖЕНЕРІЇ ТА ТЕХНІЧНОГО СЕРВІСУ
ІМЕНІ ПРОФЕСОРА ОЛЕКСАНДРА СЕМКОВИЧА

“ЗАТВЕРДЖУЮ”

Завідувач кафедри _____

к.т.н., доц. А.О. Шарibuра

“ _____ ” _____ 2024 р.

ЗАВДАННЯ

на дипломну роботу студенту

Тимчишин Тарас Романович

1. Тема роботи: «Обґрунтування показників надійності і ремонтпридатності технологічних систем автомобілів Volvo»

Керівник роботи: к.т.н., доцент Барабаш Руслан Іванович

Затверджена наказом по університету від 28.04.2023 року № 133/К-С

2. Строк подання студентом роботи 15.01.2024 р.

3. Вихідні дані до роботи: Рекомендації по використанню машин сімейства Volvo; Технічні карти на передпродажне і технічне обслуговування автомобілів Volvo; Рекомендації по експлуатації машин сімейства Volvo; Каталог деталей автомобілів сімейства Volvo; Типові норми часу на ремонт та обслуговування автомобілів Volvo.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які необхідно розробити):

1. Показники надійності. Моделі розподілу відмов автомобілів Volvo

2. Математичні моделі надійності машин

3. Розрахунок показників надійності та ремонтпридатності Volvo

4. Охорона праці та захист навколишнього середовища

5. Економічна частина

Висновки та пропозиції

Список використаних джерел

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): 1. Тема, мета, об'єкт дослідження, предмет дослідження та задачі дослідження; 2. Комплексні показники надійності; 3. Варіаційний ряд; 4. Закони розподілу імовірностей; 5. Нормальний закон розподілу 6. Експоненціальний закон розподілу; 7. Закон Вейбулла; 8. Статистичний ряд розподілу; 9. Гістограма відносних частот; 10. Полігон відносних частот; 11.

Кумулята відносних частот; 12. Ймовірності безвідмовної роботи; 13. Ймовірності відмови; 14. Частота відмов; 15. Інтенсивність відмов

6. Консультанти з розділів:

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1, 2, 3	<i>Барабаш Р.І. доцент, кафедри агроінженерії та технічного сервісу ім. професора О. Семковича</i>		
4	<i>Городецький І.М., доцент, кафедри управління проектами та безпеки виробництва</i>		
5	<i>Барабаш Р.І. доцент, кафедри агроінженерії та технічного сервісу ім. професора О. Семковича</i>		

7. Дата видачі завдання 28.04.2023 р.

Календарний план

№ з/п	Назва етапів дипломної роботи	Строк виконання етапів роботи	Приміт-ка
1	<i>Написання розділу: «Показники надійності. Моделі розподілу відмов автомобілів Volvo»</i>	<i>28.04.23-15.06.23</i>	
2	<i>Виконання другого розділу: «Математичні моделі надійності машин»</i>	<i>16.06.23-05.07.23</i>	
3	<i>Виконання третього розділу: «Розрахунок показників надійності та ремонтпридатності Volvo»</i>	<i>06.07.23-03.08.23</i>	
4	<i>Опрацювання даних виробничих та комп'ютерних експериментів та написання відповідного розділу</i>	<i>04.08.23-17.09.23</i>	
5	<i>Написання розділу: «Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях»</i>	<i>18.10.23-31.11.23</i>	
6	<i>Оцінка ефективності впровадження результатів дослідження у виробництво</i>	<i>01.11.23-19.11.23</i>	
7	<i>Завершення оформлення розрахунково-пояснювальної записки та мультимедійної презентації</i>	<i>20.11.23-01.12.23</i>	
8	<i>Завершення роботи в цілому</i>	<i>02.12.23-15.01.24</i>	

Студент _____
(підпис)

Керівник роботи _____
(підпис)

Тимчишин Т.Р.

Барабаш Р.І.

ЗМІСТ

РЕФЕРАТ	5
ВСТУП	6
1. ПОКАЗНИКИ НАДІЙНОСТІ. МОДЕЛІ РОЗПОДІЛУ ВІДМОВ АВТОМОБІЛІВ VOLVO	8
1.1 Система показників надійності	8
1.2 Визначення моделі відмов та вимоги до них	17
2. МАТЕМАТИЧНІ МОДЕЛІ НАДІЙНОСТІ МАШИН	22
2.1 Загальні поняття про моделі надійності	22
2.1.1. Статистичне оброблення результатів випробувань і визначення показників надійності	25
2.1.2. Розрахунок емпіричних функцій	28
2.1.3. Вибір закону розподілу	31
2.2. Нормальний закон розподілу наробітку до відмови	34
2.3 Експоненціальний закон розподілу випадкових величин	37
2.4 Закон розподілу Вейбулла	41
3. РОЗРАХУНОК ПОКАЗНИКІВ НАДІЙНОСТІ ТА РЕМОНТОПРИДАТНОСТІ VOLVO	44
3.1 Статистичні ряди розподілу	44
3.2 Ймовірність безвідмовної роботи	49
3.3 Ймовірність відмови	52
3.4 Частота відмов	53
3.5 Інтенсивність відмов	54

	4
4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЗАХИСТ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА	57
4.1 Аналіз і характеристики виробничих шкідливостей і небезпек	57
4.2 Розрахунок освітлення	58
4.3 Вплив автомобільного транспорту на навколишнє середовище	62
4.4 Заходи по зменшенню шкідливого впливу автомобілів та виробничо-технічної бази ремонтного підприємства на навколишнє середовище	66
5. ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА	68
ВИСНОВКИ І ПРОПОЗИЦІЇ	71
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	73

УДК: 631. 372. 004

Тимчишин Т.Р. «Обґрунтування показників надійності і ремонтпридатності технологічних систем автомобілів Volvo».

Дипломна робота. Дубляни: Львівський національний університет природокористування, 2024.

73 стор. текс. част., 20 рис., 16 табл., 14 арк. ілюстр. матер., 32 бібліогр. джерел.

Охарактеризовано показники надійності які відображають ступінь готовності системи або об'єкта працювати без відмов та безперерійно протягом певного часу. Побудова моделі надійності, тобто розрахунок ймовірності безвідмовної роботи $P(t)$ як функції напрацювання, визначення аналітичного виразу для щільності розподілу напрацювання до відмови $f(t)$, застосування тієї чи іншої теоретичної моделі відмов яка обумовлює певну точність обчислюваних кількісних показників надійності.

Проведено регресійний аналіз необхідних отриманих математичних співвідношень між використовуваними в моделі параметрами, чинниками і показниками ефективності роботи системи. Визначено необхідна кількість дослідів N для повно-факторного експерименту.

Побудовано та розраховано статистичні ряди розподілу, ймовірність безвідмовної роботи, ймовірність відмови та інтенсивність відмов показників надійності технологічних систем автомобілів Volvo.

Запроектовано заходи з охорони праці та захисту навколишнього середовища.

Розраховано економічний ефект собівартості технічного обслуговування автомобілів Volvo на станціях технічного обслуговування.

ВСТУП

Надійність машин - це їх здатність працювати безперебійно та безперервно протягом тривалого часу. Це важливий аспект для багатьох сфер життя, таких як автотранспорт, медицина, промисловість та інші. Надійність може бути забезпечена за допомогою високоякісного проектування, виробництва та технічного обслуговування.

Для досягнення високого рівня надійності важливо враховувати фактори, такі як якість матеріалів, процеси виробництва, тестування, регулярне технічне обслуговування та вдосконалення на основі отриманих даних та відгуків від користувачів.

Показники надійності відображають ступінь готовності системи або об'єкта працювати без відмов та збоїв протягом певного часу. Основні показники надійності включають:

1. Середній час до відмови MTTF (Mean Time To Failure)
2. Середній час між відмовами MTBF (Mean Time Between Failures)
3. Показник надійності (Reliability)
4. Інтенсивність відмов (Failure Intensity)
5. Функція щільності відмов (PDF - Probability Density Function)

Ці показники використовуються для кількісної оцінки та порівняння надійності різних систем та компонентів. Вони є важливим інструментом в області надійності та технічної діагностики.

Однією з основних завдань теорії надійності є оцінка показників надійності системи за відомими законами розподілу напрацювання її елементів.

Спосіб обчислення цих показників залежить від того, як взаємодіють між собою елементи з метою забезпечення безвідмовності системи.

Якщо систему можна розчленувати на окремі елементи, для кожного з яких вдається окремо визначити ймовірність безвідмовної роботи (або ймовірність

відмови), то для розрахунку її надійності будують так звані структурні схеми, в яких кожен i -й елемент характеризується значенням ймовірності його безвідмовної роботи P_i (або значенням ймовірності відмови Q_i) протягом заданого періоду часу. Потрібно визначити можливість безвідмовної роботи всієї системи. Вирішення такої задачі називають розрахунком схемної надійності.

Формування показників надійності незалежно від різноманітності типів машин та умов їх експлуатації відбувається за загальними законами відповідно до логіки подій. Розкриття та вивчення цих законів є основою для прогнозування, розрахунку та оцінки надійності та побудови на їх основі найбільш раціональних умов виробництва, випробування та експлуатації технічних систем. Основним змістом та метою теорії надійності технічних систем є розробка методів оцінки показників надійності на різних стадіях з урахуванням конструкції, створення, призначення та умов експлуатації.

Мета роботи. Метою дипломної роботи є обґрунтування та розрахунок показників надійності технологічних систем автомобілів Volvo.

Об'єктом дослідження є автомобілі марки Volvo, закони розподілу, технологічні системи машин.

Предметом дослідження є розробка методів оцінки показників надійності на різних стадіях з урахуванням конструкції, створення, призначення та умов експлуатації.

Задачі дослідження:

- Проаналізувати систему показників надійності, визначити моделі відмов та вимоги до них;
- Дати аналіз математичних моделей надійності та законів розподілу;
- Виконати статистичну обробку результатів випробувань і визначити показники надійності;
- Провести розрахунок показників надійності та ремонтпридатності автомобілів Volvo;

1. ПОКАЗНИКИ НАДІЙНОСТІ. МОДЕЛІ РОЗПОДІЛУ ВІДМОВ АВТОМОБІЛІВ VOLVO

1.1 Система показників надійності

Надійність – це комплексна властивість, яка залежно від призначення об'єкта та умов його експлуатації складається з безвідмовності, довговічності, ремонтопридатності, збережуваності (рис. 1.1).

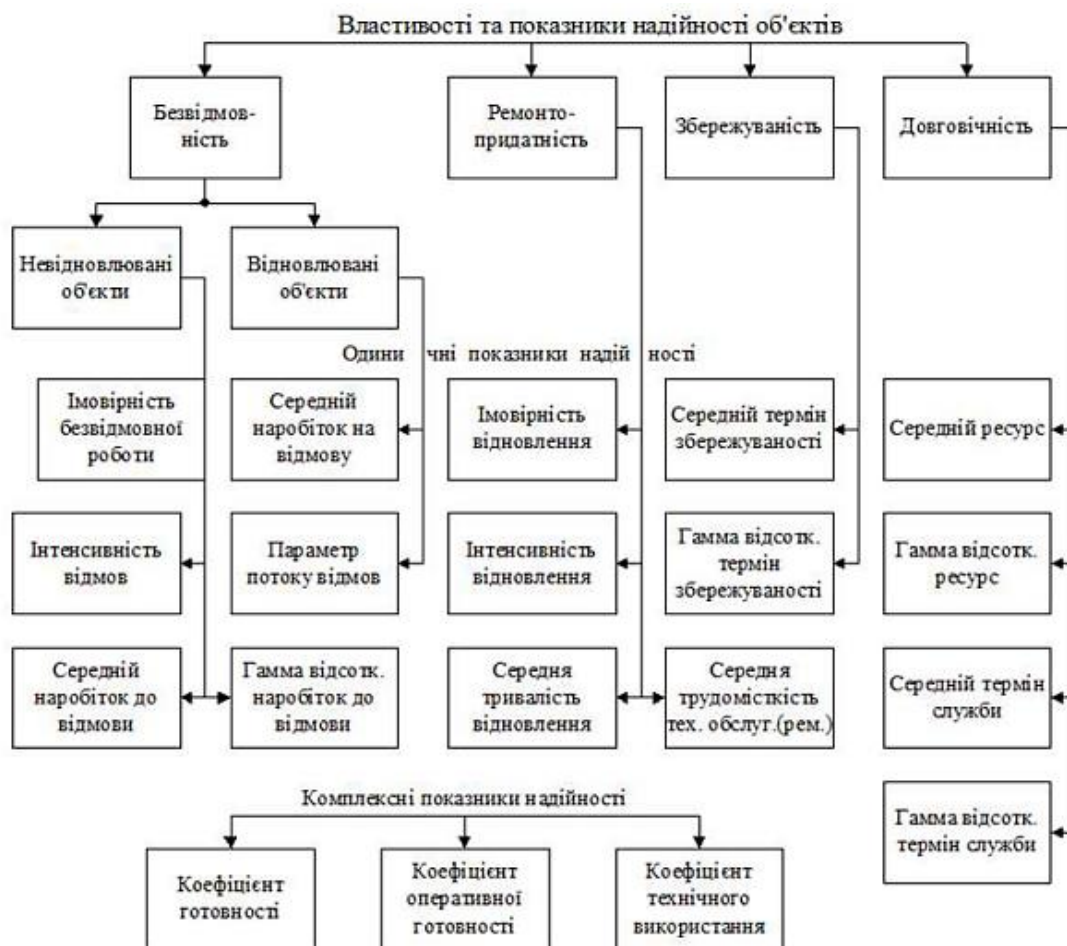


Рис. 1.1 Властивості та показники надійності об'єктів

Безвідмовність – властивість машини зберігати працездатність упродовж деякого часу або напрацювання (наприклад, до першої відмови). Напрацювання – це тривалість або обсяг роботи машини і може визначатися кілометрами пробігу,

годинами, тонами, кубічними метрами та іншими показниками. В основному безвідмовність розглядають стосовно використання машини за призначенням.

Довговічність – властивість машини зберігати працездатність до граничного стану в умовах установленої системи технічного обслуговування та ремонту.

Ремонтпридатність – властивість машини, що характеризує пристосованість її до виявлення причин відмови, зручності виконання технічного обслуговування та ремонту. Кількісно ремонтпридатність визначають за тратами часу, праці та засобів. До найпростіших властивостей, які визначають ремонтпридатність машини, належать доступність і можливість проведення легкого демонтажу складальних одиниць та деталей, взаємозамінюваність, ступінь уніфікації та ін.

Невідновлюваний виріб - виріб, який не може бути відновлений споживачем і підлягає заміні.

Відновлюваний виріб - виріб, який може бути відновлений споживачем.

Ремонтований об'єкт - об'єкт, ремонт якого можливий і передбачений нормативно-технічною, ремонтною і (чи) конструкторською (проектною) документацією.

Об'єкт, що не ремонтується - об'єкт, ремонт якого неможливий або непередбачений нормативно-технічною, ремонтною і (чи) конструкторською (проектною) документацією.

Збережуваність – властивість машини зберігати працездатність під час її транспортування та зберігання і в подальшому під час роботи. Збережуваність характеризується опірністю конструкції зміні характеристик елементів машини під дією вологи, атмосферного тиску, опромінення, навколишньої температури та власної маси при зберіганні. Високі показники збережуваності досягають за рахунок герметизації та встановлення спеціальних заглушок, пробок, застосування спеціальних лакофарбових покриттів, установлення спеціальних пристроїв.

У кожному конкретному випадку оцінки або завдання надійності виробу слід користуватися тими сторонами і видами надійності, які потрібні для характеристик надійності об'єкту з урахуванням його цільового призначення.

У прикладній теорії надійності в поняття надійності можуть включатися додаткові властивості. Так, для характеристики надійності об'єктів, що є потенційним джерелом небезпеки, використовуються властивості безпеки і живучості.

Безпека - властивість у разі порушення працездатного стану не створювати загрозу для життя і здоров'я людей, а також для довкілля.

Живучість - властивість об'єкту зберігати працездатність (повністю або частково) в умовах несприятливих дій, непередбачених нормальними умовами експлуатації. Надійність може бути категорією якості, яку має машина, або якістю (в одних випадках машина надійна, в інших – не забезпечує необхідної надійності). Але якість підлягає зміні з часом, тобто машина може перейти з надійного стану в ненадійний. Цей процес не є випадковим, він закономірний і є наслідком поступових кількісних змін у машині.

Рівень надійності машин характеризується кількісними показниками.

Це ймовірнісні характеристики.

Для характеристики надійності застосовують показники, що характеризують окремі її властивості – це кількісні показники, і декілька властивостей – комплексні показники.

Одиничні показники – це показники безвідмовності, довговічності, ремонтпридатності та збережуваності. Кількісні показники надійності – це показники, які належать до однієї з властивостей, що складають надійність машини.

Комплексні показники надійності, на відміну від одиничних, характеризують одночасно кілька властивостей машини.

Імовірність безвідмовної роботи $P(t)$ – імовірність того, що в заданому діапазоні часу t не відбудеться відмови машини:

$$P(t) = \frac{N_p}{N}, \quad (1.1)$$

де N_p – кількість працездатних машин ($N_p = N - n$);

N – загальна кількість машин;

n – кількість відмов.

Напрацювання до відмови – тривалість роботи машини до першої відмови.

Середнє напрацювання до відмови

$$t_{\text{сер}} = \frac{\sum_{i=1}^N t_i}{N}, \quad (1.2)$$

де t_i – час роботи до відмови i -ї машини.

Гамма-відсоткове напрацювання до відмови – це напрацювання, упродовж якого не відбудеться відмови машини з імовірністю γ . Його розраховують у відсотках, %.

Щільність розподілу відмов

$$f(t) = \frac{n(t)}{N_0 \Delta t}, \quad (1.3)$$

де $n(t)$ – кількість відмов машини за час Δt ;

Δt – інтервал часу;

N_0 – початкова кількість машин.

Інтенсивність відмов – це умовна щільність імовірності появи відмови

$$\lambda(t) = \frac{n(t)}{N_p \Delta t}, \quad (1.4)$$

де N_p – кількість працездатних машин

або

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{P(t)}. \quad (1.5)$$

Зміна $\lambda(t)$ за часом має три характерні ділянки.

Ділянка $0-t_1$ – це період припрацювання машини, коли інтенсивність відмови зменшується. У цей період виявляються конструктивні, технологічні й виробничі дефекти. Закон розподілу відмов для різних машин може бути різним, але загальним є зменшення інтенсивності відмов до деякого постійного значення упродовж короткого проміжку часу.

Для забезпечення надійності машини під час її припрацювання необхідно розробити методи усування відмов. Для усування відмов після складання машини необхідно провести її обкатку на стенді або в реальних умовах. Під час обкатки проводиться заміна елементів, які відмовили, з'ясовуються причини їх відмови. Показниками якості припрацювання можуть бути ККД, рівень шуму, температура поверхонь деталей, рідини та ін. Про закінчення процесу припрацювання показує незмінність показника $\lambda(t)$.

На ділянці t_1-t_2 (це період нормальної експлуатації) інтенсивність відмов стає приблизно постійною ($\lambda(t) \approx const$) і визначається випадковими факторами.

З моменту $t > t_2$ інтенсивність відмов збільшується внаслідок процесів старіння і зміни хіміко-фізичних властивостей елементів машини, пов'язаних з її довготривалою експлуатацією. Механізм відмов на цій ділянці пояснюється моделями зношування, старіння і утомлюваності.

Параметр потоку відмов – це відношення середньої кількості відмов відновлюваних машин до їх сумарного напрацювання:

$$\omega(t) = \frac{n}{\sum t_i}. \quad (1.6)$$

Показники довговічності. Ці показники оцінюють втрату працездатності за весь період експлуатації машини, тобто до появи її граничного стану.

Середній ресурс – напрацювання машини від початку експлуатації до граничного стану в годинах.

Ресурс – це запас можливостей роботи машини. Для неремонтованих виробів він збігається з напрацюванням до відмови, для ремонтваних – включає і тривалість роботи після ремонту до граничного стану:

$$R_{сер} = \frac{1}{N} \cdot \sum_{i=1}^N R_i, \quad (1.7)$$

де R_i – ресурс i -ї машини;

N – кількість машин.

Гамма-відсотковий ресурс – напрацювання, упродовж якого машина не досягне граничного стану. Виражають його у відсотках.

Середній термін служби – середнє календарне напрацювання машини до граничного стану в роках:

$$T_{сл.сер} = \frac{1}{N} \cdot \sum_{i=1}^N T_{сл.i}, \quad (1.8)$$

де $T_{сл.i}$ – термін служби i -ї машини.

Таким чином, термін служби від ресурсу відрізняється лише розмірністю.

Імовірність відновлення – імовірність того, що час відновлення машини не перебільшить заданого (аналогія з імовірністю відмов).

Середній час відновлення, год:

$$T_{від.сер} = \frac{\sum t_{від.i}}{N}, \quad (1.9)$$

де $t_{від.i}$ – час відновлення i -ї машини; N – кількість машин.

Середній термін збережуваності

$$T_{зб.сер} = \frac{\sum t_{зб.i}}{N}, \quad (1.10)$$

де $t_{зб.i}$ – період збережуваності i -ї машини;

N – кількість машин. Гамма-відсотковий термін збережуваності – термін збережуваності із заданою імовірністю γ , вираженою у відсотках.

Комплексні показники надійності, на відміну від одиничних, характеризують одночасно кілька властивостей машини.

Коефіцієнт готовності – ймовірність того, що об’єкт виявиться працездатним у довільний момент часу, крім запланованих періодів, протягом яких використання об’єкта за призначенням не передбачається.

$$K_G = \frac{T_B}{T_B + T_{від}}, \quad (1.11)$$

де T_B – напрацювання на відмову;

$T_{від}$ – середній період відновлення.

При визначенні коефіцієнта K_G період простоїв у технічному обслуговуванні, ремонтах та з організаційних причин не враховується.

Коефіцієнт технічного використання – відношення математичного сподівання часу перебування об’єкта в працездатному стані за певний період експлуатації до суми математичних сподівань часу перебування об’єкта в працездатному стані; часу простоїв, обумовлених технічним обслуговуванням, і часу ремонту за той же період експлуатації.

Характеризує фактичний термін роботи машини:

$$K_{ТВ} = \frac{T_o}{T_o + T_{від} + T_{ТО}}, \quad (1.12)$$

де T_o – період працездатного стану;

$T_{від}$ – період відновлення;

$T_{ТО}$ – період технічного обслуговування.

Коефіцієнт технічного використання – узагальнений комплексний показник надійності і є ширшою характеристикою працездатності ніж коефіцієнт готовності, оскільки враховує всі простої, пов’язані з технічним обслуговуванням і ремонтом об’єкта.

Коефіцієнт оперативної готовності – ймовірність того, що об’єкт, перебуваючи у режимі очікування, буде працездатним у довільний момент часу, і, починаючи з цього моменту, буде працювати безвідмовно протягом заданого інтервалу часу.

Режим очікування – це перебування об'єкта при повному або полегшеному навантаженні без виконання основних (робочих) функцій. При цьому можливо виникнення відмов, які повинні бути усунені з відновленням працездатності об'єкта для виконання необхідного завдання. Потрібно також, щоб у разі необхідності об'єкт був працездатним.

До показників, які враховують сумарну і питому сумарну трудомісткість (вартість) технічного обслуговування і ремонту, і є комплексними показниками надійності, належать такі: – середня сумарна трудомісткість технічного обслуговування – математичне сподівання сумарних затрат праці на проведення технічного обслуговування за певний період експлуатації;

– середня сумарна трудомісткість ремонту – математичне сподівання сумарних затрат праці на всі види ремонту об'єктів за певний період експлуатації;

– середня сумарна вартість технічного обслуговування (ремонту) – математичне сподівання сумарних витрат на проведення технічного обслуговування (на всі види ремонту) об'єкта за певний період експлуатації.

Для цих показників (разом з їх середніми значеннями) застосовують питомі величини, які визначають як відношення середніх сумарних величин до відповідного математичного сподівання сумарного напрацювання об'єкта за певний період експлуатації.

Важливими показниками є коефіцієнт відновлення і коефіцієнт відновлення ресурсу.

Показники експлуатаційної технологічності характеризують затрати праці, а також кошти на підготовку машин до експлуатації, на планові технічні обслуговування в процесі експлуатації, на роботи після експлуатації.

Показники ремонтної технологічності характеризують пристосованість конструкції об'єкта та його складових (деталей, складальних одиниць та ін.) до ремонтних робіт, які виконуються для відновлення їх працездатності на ремонтних підприємствах.

До цих показників відносять: середній час ремонту; ймовірність його закінчення у заданий час; середні абсолютні витрати на ремонт техніки певного виду; відносні витрати, віднесені до одиниці часу перебування машини в експлуатації (для деталей, складальних одиниць та ін.) або до одиниці виробленої продукції (машин та ін.). Додаткові показники ремонтпридатності у сполученні з основними дозволяють конкретизувати окремі вимоги до ремонтпридатності.

Показники, які характеризують загальну технічну досконалість конструкції машини, у тому числі й конструктивні рішення:

Коефіцієнт застосовності конструктивних елементів – відношення суми кількості найменувань типорозмірів стандартизованих, нормалізованих, запозичених та придбаних деталей та вузлів до загальної кількості найменувань конструктивних елементів об'єкта.

Коефіцієнт уніфікації визначає, яку частину використаних деталей об'єкта уніфіковано.

Коефіцієнт конструктивної послідовності – відношення кількості найменувань раніше освоєних складальних одиниць і деталей до загальної кількості найменувань конструктивних елементів об'єктів.

Послідовність значно спрощує організацію й технологію виготовлення машин і дає змогу раціональніше вирішувати питання їх експлуатації і ремонту.

Перераховані коефіцієнти належать до найважливіших показників стандартизації:

Коефіцієнт взаємозамінності – відношення кількості взаємозамінних елементів до загальної кількості конструктивних елементів машин. Раціональний рівень взаємозамінності конструктивних елементів у машині – важливий засіб зниження затрат праці й коштів при усуненні відмов.

Коефіцієнт кратності обслуговування та термінів служби конструктивних елементів – відношення відповідної кількості елементів машин періодичності обслуговувань і ремонту базового конструктивного елемента до загальної кількості

найменувань конструктивних елементів. Дотримання вимог і кратності або рівної періодичності й строків служби елементів машини значно скорочує сумарний час простою машини та витрати на її обслуговування і ремонт.

Коефіцієнт загальної контролепридатності – відношення кількості конструктивних елементів, пристосованих до контролю різними способами технічного стану машини в процесі експлуатації, до загальної кількості елементів машини, контроль яких необхідний під час експлуатації.

Показники, які характеризують пристосованість конструкції машини до профілактичних і відновлюваних робіт:

Коефіцієнт зручності поз – відношення загальної кількості зручних поз при виконанні робіт до загальної кількості можливих поз.

Коефіцієнт доступності враховує сумарну трудомісткість баластних робіт (підготовка машини, необхідні розбірно-складальні роботи тощо), які необхідно виконати при усуненні відмов і технічному обслуговуванні.

1.2 Визначення моделі відмов і моделі надійності

В процесі експлуатації техніки події, які визначають перехід виробу в різні технічні стани, відбувається випадковим чином. Інтервал часу перебування виробу у певному стані має випадкову тривалість; це: напрацювання до відмови, напрацювання між відмовами, напрацювання до критичної відмови, ресурс, термін служби, термін зберігання, час відновлення. Всі випадкові тривалості є неперервними і вимірюються в одиницях часу, звичайно – в годинах або в одиницях, пропорційних часу (кількість циклів, запусків, обертів і т.п.).

Вичерпною характеристикою будь-якої випадкової величини, у тому числі і випадкових тривалостей t , є ймовірнісний розподіл цієї випадкової величини або функція розподілу. Незалежно від складності кожен виріб (елемент, функціональна система, складна система з резервуванням) має свою функцію розподілу напрацювання $F(t)$. Оскільки значення, яке має випадкова величина t , визначає на

осі часу момент появи відмови, то функцію розподілу $F(t)$ називають моделлю розподілу відмов або моделлю відмов.

Модель відмов – математична модель у вигляді функції розподілу відмов або ймовірності появи відмов в заданий момент часу (функція розподілу напрацювання до відмови). Модель відмов однозначно пов'язана з функцією безвідмовності $R(t)$, яка має назву моделі надійності, їй дається наступне визначення.

Модель надійності – математична модель, яка встановлює зв'язок між показниками надійності об'єкта, характеристиками надійності елементів його структури та параметрами процесу функціонування об'єкта.

Таким чином, побудова моделі надійності, тобто розрахунок ймовірності безвідмовної роботи $P(t)$ як функції напрацювання, передбачає визначення аналітичного виразу для щільності розподілу напрацювання до відмови $f(t)$, враховуючи, що застосування тієї чи іншої теоретичної моделі відмов обумовлює певну точність обчислюваних кількісних показників надійності.

Аналітичний вираз для густини розподілу напрацювання до відмови $f(t)$ (або функції розподілу $F(t)$) можна отримати двома принципово різними способами:

- 1) на підставі аналізу статистичних даних з напрацювання до відмови (ресурсу, терміну безвідмовного зберігання тощо);
- 2) на підставі аналізу фізичних процесів деградації в елементах виробу, які призводять до відмови (граничного стану).

Перший спосіб встановлення закономірностей виникнення відмов полягає у залученні (використанні) деяких розподілів випадкових величин, відомих з теорії ймовірностей (експоненціальний, логарифмічно нормальний і деякі інші розподіли), як моделі відмов. Причому, відмову розглядають як відвернену випадкову подію, а моделі відмов вважають строго ймовірнісними.

Другий спосіб для встановлення закономірностей виникнення відмов ґрунтується на результатах аналізу закономірностей перебігу фізичних процесів, які призводять до відмов. Причому, фізичні процеси деградації розглядають як

випадкові. Практичне застосування такого підходу дають моделі відмов, які адекватно відображають фізичні процеси деградації в елементах техніки, параметри одержаного розподілу напрацювання до відмови мають конкретну фізичну інтерпретацію. Такі моделі відмов називають ймовірно-фізичними.

Вимоги до моделей відмов

Повний життєвий цикл кожного виробу техніки супроводжується вирішенням комплексу задач з оцінювання його надійності: розрахунок показників надійності на ранніх етапах проектування, підтвердження досягнутого (заданого) рівня надійності експериментальними методами на кінцевих етапах проектування і виробництва, визначення норм кількості запасних виробів для забезпечення надійності під час експлуатації, оптимізація параметрів системи ТО і Р.

Розв'язання зазначених задач передбачає використання тієї чи іншої моделі відмов, яке забезпечує, по-перше, вирішення цих задач і, по-друге, збіжність результатів розрахункових і експериментальних оцінок.

Функція розподілу, яка використовується як модель відмов, повинна дозволяти вирішувати такі основні задачі теорії надійності:

- розрахунок показників безвідмовності невідновлюваних (резервованих і нерезервованих) систем, наприклад, середнього і гамма-відсоткового напрацювання до відмови, ймовірності безвідмовної роботи, залишкового ресурсу;
- розрахунок показників безвідмовності відновлюваних (резервованих і нерезервованих) систем, наприклад, середньої кількості відмов, параметра потоку відмов, середнього напрацювання на відмову на будь-якому інтервалі часу і на будь-який момент експлуатації функціональної системи;
- прогнозування довговічності при проектуванні (оцінки середнього та гамма-відсоткового ресурсу або терміну служби), а також при експлуатації (оцінки середнього й гамма-відсоткового залишкових ресурсів) виробів та систем;
- розрахунок комплексних показників надійності (наприклад, коефіцієнтів готовності до вильоту);

- розрахунок показників ефективності (наприклад, ймовірності відновлення справності в заданий час, середньої тривалості обслуговування) системи ТО і Р;
- планування визначальних і контрольних випробувань виробів на надійність;
- розрахунок норм запасних елементів і виробів;
- обробку й одержання оцінок (точкових та інтервальних) показників надійності за даними експлуатації.

Виходячи з кінцевої мети – вирішення задач надійності, обґрунтуємо критерії, яким повинні задовольняти різні моделі розподілу відмов в інтервалі часу, обумовленому ресурсом або терміном служби виробу чи системи. Ці критерії необхідні також для порівняльного аналізу різних моделей відмов і оцінки можливості застосування їх в розрахунках показників надійності. Відповідно до рекомендацій нормативних документів такими критеріями вважатимемо: фізичність, адекватність, можливість виконання розрахунків надійності системи, універсальність та практичну придатність. Розглянемо зміст цих критеріїв.

1. *Фізичність*. Під час випробувань функціональних систем ПС, спроектованих на сучасній високонадійній елементній базі, не завжди вдається зібрати необхідний обсяг статистики з відмов виробів і систем. За цих умов основним критерієм вибору моделі відмов є фізичне обґрунтування (фізичність) моделі відмов, застосованої для розрахунків надійності. Важливо, наскільки ця модель враховує причинно-наслідкові зв'язки і механізми відмов, а також динаміку процесів деградації, які призводять до виникнення відмов, умови навантаження та іншу апіорну інформацію, зокрема, чинники, побічно пов'язані з формуванням відмови. Але, навіть за наявності достатньої статистичної інформації з відмов, яка забезпечує вибір моделі, фізичне обґрунтування залишається важливим критерієм для визначення остаточного рішення.

2. *Адекватність*. Важливою властивістю функції розподілу, застосованої як модель відмови, є її здатність з достатньою точністю описувати різні форми розподілів у практично значущому діапазоні значень коефіцієнтів варіації,

асиметрії та ексцесу. Використання більш адекватних моделей дозволяє точніше оцінити показники надійності як розрахункові, так і експериментальні. Крім того, уточнення оцінок показників надійності скорочує тривалість випробувань, обсяг необхідної статистичної інформації про надійність, а також зменшує витрати. Слід віддавати перевагу моделі відмов, яка найбільш точно описує “хвости” розподілу – початок кривої і її асимптотичну частину.

3. *Можливість виконання розрахунків надійності систем.* Найбільш важливою задачею надійності, яку розв'язують, використовуючи моделі відмов, є розрахунок і прогнозування надійності при проектуванні і модернізації виробів та систем авіаційної техніки. Тому надзвичайно важливою властивістю функції розподілу, яка використовується як модель відмов, слід вважати можливість виконання розрахунку надійності на її основі. Зазначимо, що розрахунок безвідмовності відновлюваних систем може бути виконано тільки на основі функції розподілу, яка має властивість згортки розподілів. З відомих розподілів, які використовують в розрахунках надійності, тільки функції експоненціального, нормального та DN-розподілів мають цю властивість.

4. *Універсальність.* Різноманітність розв'язуваних задач (кількість оцінюваних показників надійності і методи їхнього визначення) вимагає універсальності прийнятої моделі відмов. З метою забезпечення збіжності результатів розрахункових і експериментальних оцінок надійності виробів функція розподілу, яка використовується як теоретична модель відмов, повинна дозволяти вирішувати всі необхідні задачі надійності.

5. *Практична придатність.* В інженерній практиці важливою є простота аналітичних виразів всіх необхідних характеристик розподілу, а також зручність їхнього застосування при розв'язуванні конкретних задач надійності.

Цей критерій реалізується в моделях розподілу, які мають меншу кількість параметрів, а також в моделях, виражених відомими і табульованими функціями.

2. МАТЕМАТИЧНІ МОДЕЛІ НАДІЙНОСТІ МАШИН

2.1 Загальні поняття про моделі надійності

Для розв'язання задач оцінювання надійності й прогнозування працездатності об'єкта потрібно мати математичну модель, яку можна подати аналітичними виразами одного з показників $P(t)$, $f(t)$ або $\lambda(t)$. Для отримання моделі потрібно провести випробування, обчислити статистичні оцінки та апроксимувати їх аналітичними функціями.

Під час виконання розрахунків надійності працюють не з самим технічним виробом, а з певним математичним об'єктом, що відображає найбільш істотні властивості реального виробу і називається математичною моделлю надійності. Оскільки відмови – це випадкові події, що виникають унаслідок несприятливого розвитку випадкових явищ, математична модель надійності виробу має бути стохастичною, що відображає з достатньою точністю закономірності появи відмов у реальному виробі.

Розглянемо моделі раптових відмов, коли впливом поступових відмов на надійність об'єктів можна знехтувати.

Найбільш простою є модель невідновлюваного елемента, оскільки вона зводиться до моделі безвідмовності. Основне завдання під час її побудови – формування ознак відмови, вибір та обґрунтування відповідної функції розподілу наробітку до відмови і визначення числового значення її параметрів за статистичними даними, отриманими у процесі випробувань надійності або спостережень під час експлуатації.

Оскільки сукупність оцінюваних показників надійності елемента залежить від моделі надійності системи, в яку входить елемент, і від типу нормованого показника надійності, то в деяких випадках не потрібне знання функції розподілу. Достатньо знати деякі числові характеристики: середній наробіток до відмови, ймовірність відмови за заданий час та ін.

Під час формування моделі надійності відновлюваного елемента додатково потрібно будувати також модель відновлюваності, в якій мають бути формалізовані процеси виявлення, локалізації відмов та їх усунення (ремонту, налагодження, передпускової підготовки тощо); для формалізації процесу функціонування мають бути встановлені розподіл часу відновлення працездатності і механізм впливу передісторії елемента (кількість відмов і відновлень, тип відмов, обсяг і зміст профілактичних робіт, стан запасного майна тощо) на розподіл наробітку і розподіл часу відновлення.

З'ясуємо, як змінюється безвідмовність технічних об'єктів під час експлуатації, що дасть можливість класифікувати моделі і визначити можливості їх застосування.

З досвіду експлуатації видно, що зміна ІнВ $\lambda(t)$ переважної більшості об'єктів (наприклад, радіоелектронних елементів ЛА [2, 6, 38]) описується *U*-подібною кривою (рис. 2.1, рис. 2.2, а).

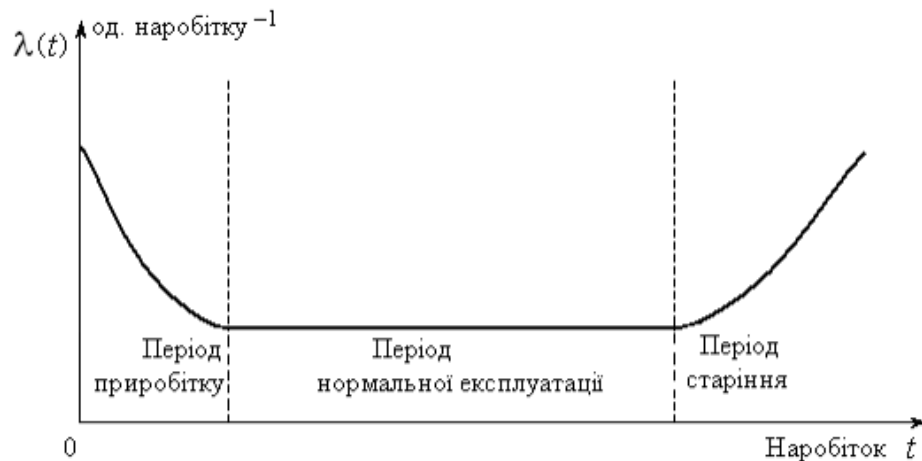


Рис. 2.1. Графік зміни інтенсивності відмов протягом життєвого циклу переважної більшості технічних об'єктів

Криву можна умовно розділити на три характерних ділянки:

- період приробітку;
- період нормальної експлуатації;
- період старіння об'єкта.

У період приробітку об'єкт має підвищену ІнВ, викликану відмовами, обумовленими дефектами виробництва, монтажу та налагодження. Іноді із закінченням цього періоду пов'язують гарантійне обслуговування об'єкта, коли усунення відмов провадиться виробником (виготівником).

У період нормальної експлуатації ІнВ залишається майже постійною, при цьому відмови мають випадковий характер і з'являються раптово, насамперед через недотримання умов експлуатації, випадкові зміни навантаження, несприятливі зовнішні фактори і т. п. Саме цей період відповідає основному часу експлуатації об'єкта.

Зростання ІнВ належить до періоду старіння об'єкта і викликане збільшенням кількості відмов від зношування, спрацьовування, старіння та інших причин, пов'язаних із тривалою експлуатацією.

Такий вид залежності і наявність трьох ділянок можна пояснити так. У великій партії завжди є деяка кількість виробів з прихованими дефектами, які не виявлені вихідним контролем виробництва. Ці дефекти розвиваються у відмову зазвичай незабаром після початку експлуатації. У міру «випалювання» дефектних виробів інтенсивність відмов зменшується згідно із залежністю $\lambda_1(t)$ (рис. 2.2, а). Цей процес продовжується і на ділянці нормальної роботи, але кількість відмов виробів з прихованими дефектами тут порівняно невелика. На третій ділянці відмови з інтенсивністю $\lambda_2(t)$ виникають переважно унаслідок необоротних фізико-хімічних процесів, що спричиняють погіршення якості виробів, їх називають процесами старіння. На другій ділянці діють обидві причини відмов: приховані дефекти і старіння, проте оскільки немає переваги жодної з причин, сумарна інтенсивність відмов залишається приблизно постійною.

У деяких виробів залежність інтенсивності відмов від часу відрізняється від типової. Якщо відпрацьована і стабільна технологія виробництва і ретельно проводиться вихідний контроль, то кількість дефектних виробів невелика, і тоді переважає процес старіння (рис. 2.2, б).

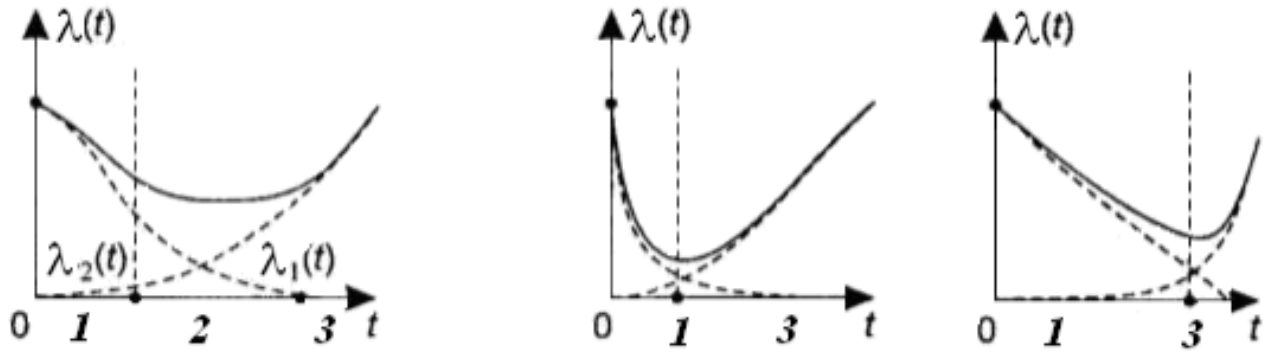


Рис. 2.2. Залежність інтенсивності відмов різних об'єктів від часу на ділянках: 1 – приробітку; 2 – нормальної експлуатації; 3 – старіння.

Інші вироби протягом тривалого часу майже не старіють, і тоді функція $\lambda(t)$ має затяжну ділянку приробітку і коротку ділянку старіння (рис. 2.2, в). В обох останніх випадках ділянки нормальної експлуатації з постійною інтенсивністю відмов майже немає.

Вигляд аналітичної функції, яка описує зміну показників надійності $P(t)$, $f(t)$ або $\lambda(t)$, характеризує закон розподілу випадкової величини, що залежить від властивостей об'єкта, його умов роботи та характеру відмов і який обирають під час апроксимації статистичних даних (результатів) випробувань.

2.1.1. Статистичне оброблення результатів випробувань і визначення показників надійності

Нехай за результатами випробувань N невідновлюваних однакових об'єктів отримано статистичну вибірку (у будь-яких одиницях виміру) – масив наробітку до відмови кожного з N об'єктів, які підлягали випробуванню. Вибірка характеризує випадкову величину наробітку $T = \{t\}$ до відмови об'єкта. Потрібно вибрати закон розподілу випадкової величини T і перевірити правильність вибору за відповідним критерієм.

Закон розподілу підбирають на основі апроксимації (згладжування) експериментальних даних про наробіток до відмови, які можуть бути подані у

вигляді таблиці, у вигляді аналітичної залежності (математичної моделі) або у компактному графічному вигляді. Вибір тієї або іншої функції для апроксимації має характер гіпотези, яку висуває дослідник. Експериментальні дані можуть із більшою або меншою правдоподібністю підтверджувати або не підтверджувати справедливості тієї або іншої гіпотези, тому дослідник має отримати відповідь на питання: чи узгодяться результати експерименту з гіпотезою про те, що випадкова величина наробітку підпорядкована обраному ним закону розподілу? Відповідь на це питання є результатом розрахунку спеціальних критеріїв адекватності математичної моделі.

Алгоритм оброблення результатів і розрахунку показників надійності. Формування статистичного ряду. Якщо кількість об'єктів, що випробуються, велика, отриманий масив наробітків $\{..., t_i, ...\}$ описується громіздкою таблицею, яка є ненаочною формою подання випадкової величини T . Більш компактним та ілюстративним способом подання вибірки для знаходження закону розподілу є графічний метод, коли статистичний ряд зображують у вигляді гістограми наробітку до відмови (рис. 2.3). Алгоритм побудови гістограми такий:

- 1) установлюють інтервал наробітку $[t_{min}, t_{max}]$ і його довжину

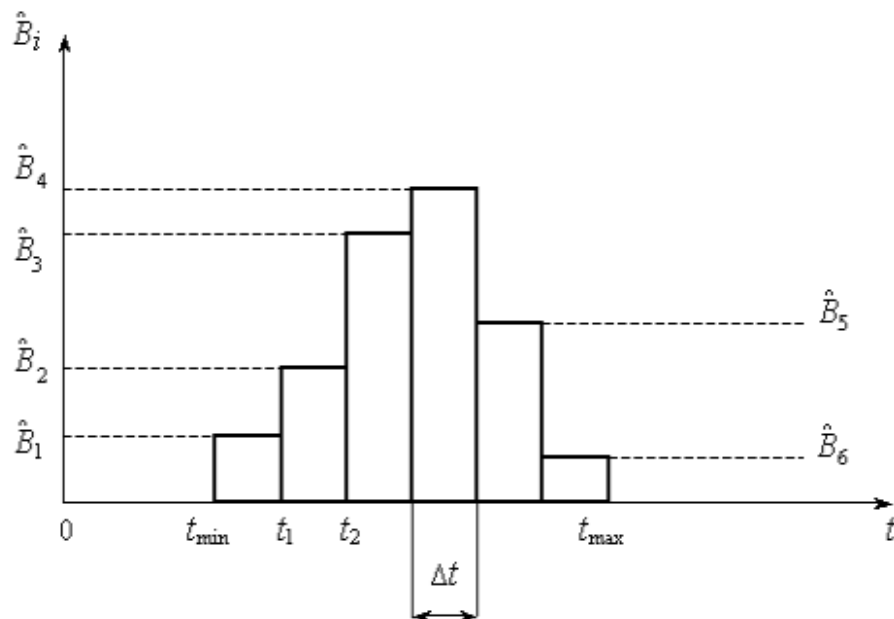


Рис. 2.3 Гістограма наробітку до відмови об'єкта

2) інтервал наробітку $[t_{min}, t_{max}]$ розбивають на k інтервалів однакової ширини, $\Delta t = \zeta_t/k$, $\Delta t = t_{i+1} - t_i = t_i - t_{i-1}$, де Δt – крок гістограми (вибір k або Δt залежить від умов досліду, необхідної точності апроксимації тощо);

3) у кожному i -му інтервалі підраховують частоту B_i появи відмов (для всіх k інтервалів):

$$B_i = \frac{\Delta n(t_i, t_i, +\Delta t)}{N} = \frac{\Delta n(t_i, t_{i+1})}{N}; \quad (2.1)$$

де N – загальна кількість об'єктів; $\Delta n(t_i, t_i, +\Delta t)$ – кількість об'єктів, що відмовили в інтервалі $[t_i, t_i + \Delta t]$; очевидно, що $\sum_{i=1}^k B_i = 1$.

4) отриманий статистичний ряд подають у вигляді гістограми, яку будують таким чином. По осі абсцис (t) відкладають інтервали Δt , на кожному з яких, як на основі, будують прямокутник, висота якого пропорційна (в обраному масштабі) відповідній частоті B_i . Можливий вигляд гістограми (для $k=6$) показано на рис. 2.3.

Для правильного вибору закону розподілу показників безвідмовності об'єкта за отриманими статистичними даними вкрай важливо вміти вибрати тривалість інтервалу Δt . З одного боку, цей інтервал не має бути настільки великий, щоб згладити характерні параметри закону розподілу. З другого – не настільки малий, щоб почали проявлятися вторинні і несуттєві властивості. У кожному конкретному випадку потрібно знаходити оптимальну тривалість інтервалу Δt_{opt} розбиття загального часу випробування. Іноді для визначення впливу цього інтервалу на вигляд і плавність шуканої статистичної оцінки вибирають декілька значень інтервалу Δt_i , де i – кількість вибраних інтервалів (зазвичай $i=2\dots3$) [2]. За отриманими гістограмами будують криві для кожного значення Δt_i та обирають найбільш оптимальне (плавне) протікання графіка шуканого показника безвідмовності. Потім аналізують залежність кількості інтервалів k від оптимального значення Δt_{opt} для визначення міжремонтного ресурсу випробуваного об'єкта.

2.1.2. Розрахунок емпіричних функцій

Використовуючи дані сформованого статистичного ряду, визначають статистичні оцінки показників надійності, тобто емпіричні функції:

– функцію розподілу відмов (оцінка ІВ):

$$Q(t_{\min}) = \frac{n(t_{\min})}{N} = 0; \quad (2.2)$$

$$Q(t_1) = \frac{n(t_1)}{N} = \frac{\Delta n(t_{\min}, t_1)}{N} = B_1; \quad (2.3)$$

$$Q(t_{\max}) = \frac{n(t_{\max})}{N} = \sum_1^k B_i = 1. \quad (2.4)$$

– функцію безвідмовності (оцінка ІБР):

$$P(t_{\min}) = 1 - Q(t_{\min}) = 1; \quad (2.5)$$

$$P(t_1) = 1 - \frac{\Delta n(t_{\min}, t_1)}{N} = 1 - B_1; \quad (2.6)$$

$$P(t_{\max}) = 1 - Q(t_{\max}) = 0. \quad (2.7)$$

– щільність розподілу відмов (оцінка ЩРВ):

$$f(t_i) = \frac{\Delta n(t_i, t_{i+1})}{N \cdot \Delta t} = \frac{B_i}{\Delta t}. \quad (2.8)$$

– інтенсивність відмов (оцінка ІІВ):

$$\lambda(t_i) = \frac{\Delta n(t_i, t_{i+1})}{N(t_i) \Delta t} = \frac{\Delta n(t_i, t_{i+1})}{[N - n(t_i)] \Delta t}. \quad (2.9)$$

Графіки статистичних оцінок $Q(t)$, $P(t)$, $f(t)$, $\lambda(t)$ зображено на рис. 2.4, 2.5 і 2.6 відповідно. Правила побудови графіків зрозумілі з наведених вище розрахункових формул. Кожний із графіків має свій масштаб.

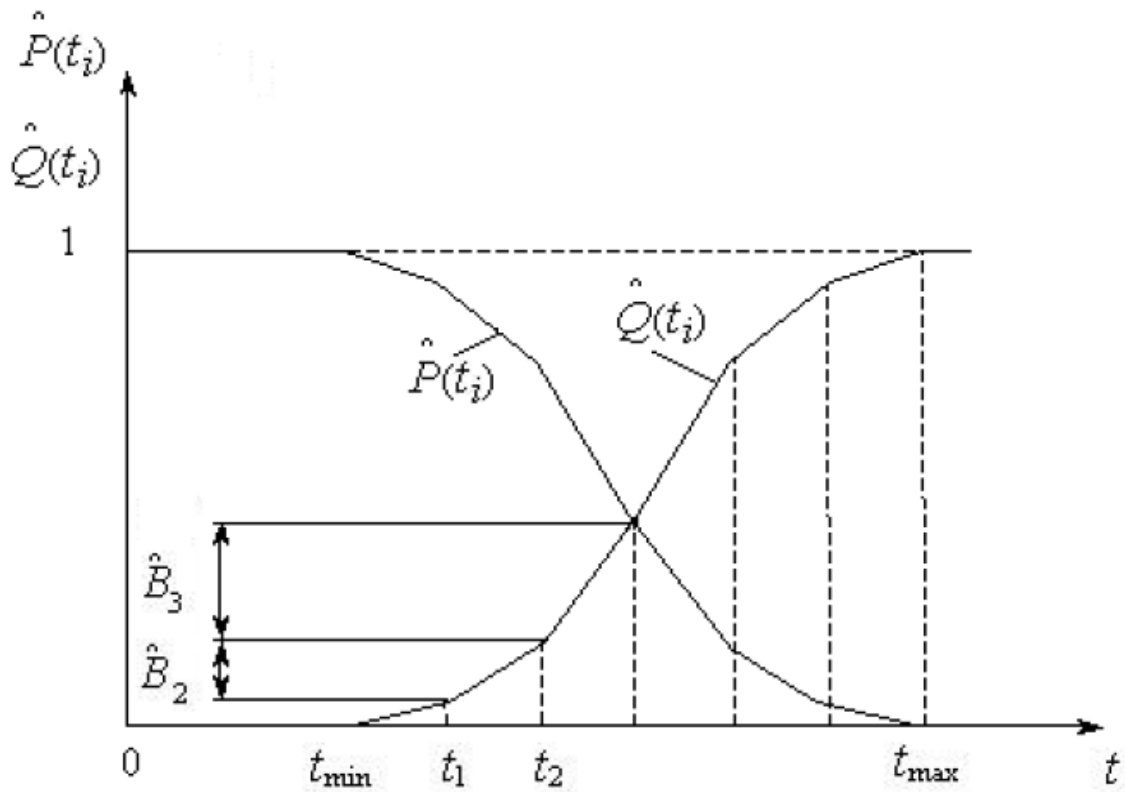


Рис. 2.4. Графіки статистичних оцінок ІБР та ІВ

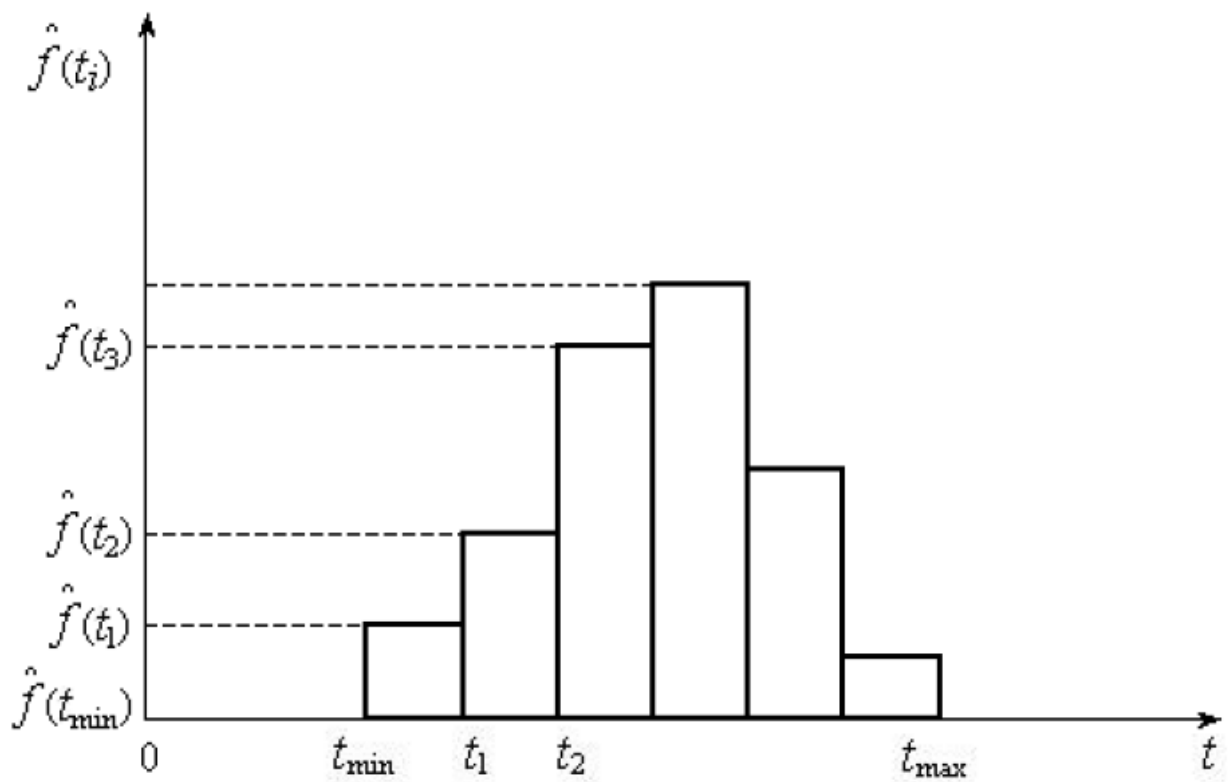


Рис. 2.5. Гістограма ЩРВ об'єкта

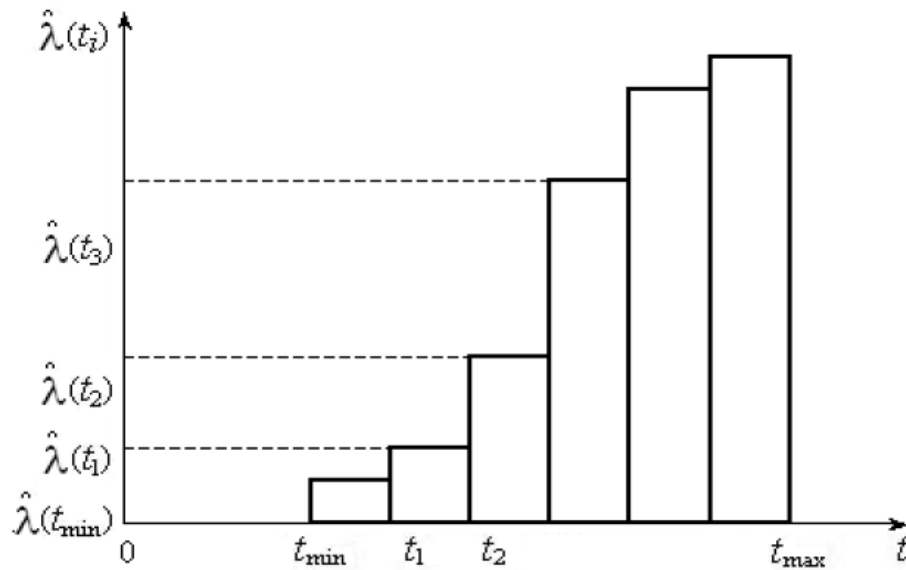


Рис. 2.6. Гістограма ІНВ об'єкта

Розрахунок статистичних оцінок числових характеристик. Для розрахунку статистичних оцінок числових характеристик можна використати дані сформованого статистичного ряду.

Використовують такі статистичні оцінки числових характеристик:

а) оцінку середнього наробітку до відмови (статистичне середнє наробітку):

$$T_0 = \sum_1^k t_i^* \cdot B_i ; \quad (2.10)$$

де t_i^* - середина i -го інтервалу наробітку, тобто середнє значення наробітку в інтервалі шириною Δt ; $t_i^* = t_i + \Delta t / 2 = t_{i+1} - \Delta t / 2$;

б) оцінку дисперсії наробітку до відмови (емпірична дисперсія наробітку):

$$D = \sum_1^k (t_i^* - T_0)^2 B_i . \quad (2.11)$$

в) оцінку СКВ: $S = \sqrt{D}$.

Доцільно розрахувати оцінки деяких допоміжних характеристик розсіювання випадкової величини T :

г) вибірковий коефіцієнт асиметрії наробітку до відмови

$$A = \sum_1^k \frac{(t_i^* - T_0)^3 B_i}{S^3} . \quad (2.12)$$

д) вибірковий ексцес наробітку до відмови

$$E = \left(\sum_1^k \frac{(t_i^* - T_0)^4 B_i}{S^4} \right) - 3. \quad (2.13)$$

Ці характеристики використовують для вибору функції під час апроксимації. Так, коефіцієнт асиметрії є характеристикою «скошеності» розподілу, наприклад, якщо розподіл симетричний відносно МС, то $A=0$. Розподіл $f_2(t)$ на рис. 2.7, а має додатну асиметрію $A>0$, а $f_3(t)$ – від’ємну $A<0$.

Ексцес характеризує крутизну (гостро- або плосковершинність) розподілу. Для нормального розподілу $E=0$. Більш гостровершинні порівняно з кривою нормального розподілу криві $f(t)$ мають $E>0$, і навпаки – криві з більш плоскими вершинами мають $E<0$ (рис. 2.7, б).

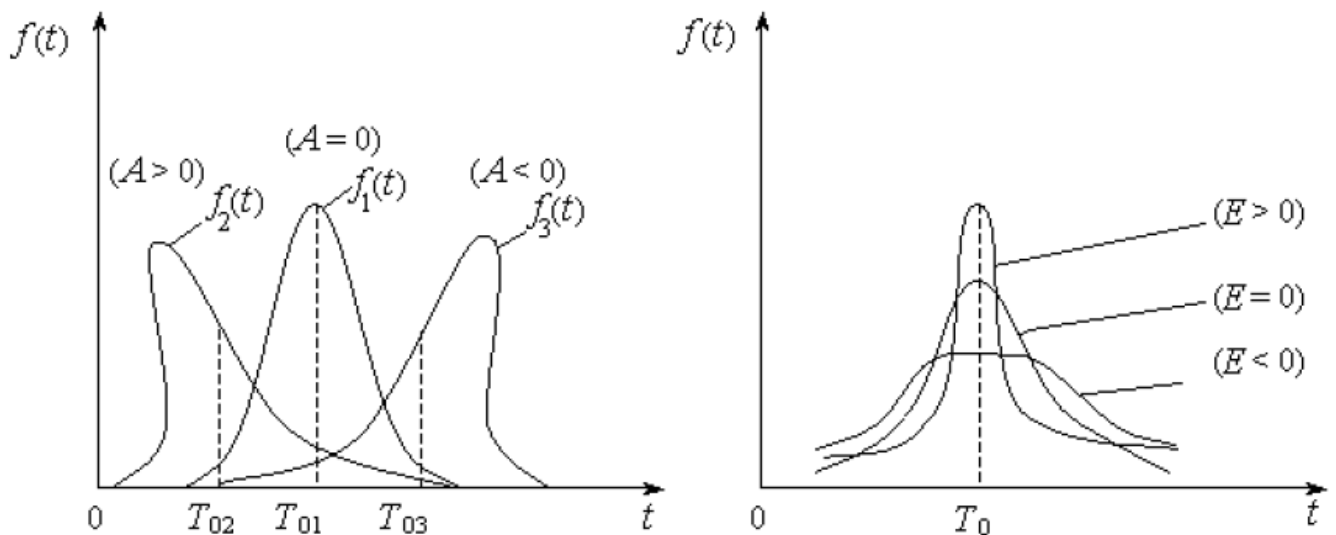


Рис. 2.7. Графічне пояснення асиметрії а) та ексцесу б)

2.1.3. Вибір закону розподілу

Вибір закону розподілу полягає у підбиранні аналітичної функції, яка якнайкраще апроксимує емпіричні функції безвідмовності, і визначенні адекватності обраної математичної моделі експериментальним даним.

Як уже зазначалось, вибір – це процедура невизначена й багато в чому суб’єктивна: залежить від досвіду дослідника, апріорних знань про об’єкт, його властивості та умови роботи, а також від вигляду графіків $P(t)$, $f(t)$, $\lambda(t)$.

Найпоширенішим є вибір розподілу за виглядом емпіричних функцій ЩРВ $f(t)$ або ІнВ $\lambda(t)$. Вибір закону розподілу – це фактично прийняття тієї або іншої гіпотези.

Припустимо, що з якихось міркувань обрано гіпотетичний закон розподілу, заданий теоретичною ЩРВ $f(t)=\Psi(t, a, b, c, \dots)$, де a, b, c, \dots - невідомі параметри розподілу.

Потрібно підібрати ці параметри так, щоб функція $f(t)$ якнайкраще згладжувала ступінчастий графік $f^{\wedge}(t)$ і була якомога більше наближена до статистичних даних. Для цього використовують такий прийом: параметри a, b, c, \dots обирають з таким розрахунком, щоб кілька найважливіших числових характеристик теоретичного розподілу, які називають критеріями апроксимації, дорівнювали відповідним статистичним оцінкам.

На графіку разом з $f^{\wedge}(t)$ будують теоретичну ЩРВ $f(t)$, що дає можливість візуально оцінити результати апроксимації (розбіжності між $f^{\wedge}(t)$ та $f(t)$). Оскільки ці розбіжності неминучі, то виникає питання: чи пояснюються вони випадковими обставинами, пов’язаними з тим, що теоретичний розподіл обраний помилково? Відповідь на це питання дає розрахунок критерію згоди (узгодженості, погодження).

Розрахунок критерію згоди. Критерій згоди – це критерій перевірки гіпотези про те, що випадкова величина T , яка має свою вибірку, має розподіл передбачуваного типу, тобто критерій адекватності обраної математичної моделі експериментальним даним.

Перевірка полягає у розрахунку критерію як деякої міри розбіжності теоретичного та емпіричного розподілів, причому ця міра – випадкова величина.

Чим більша міра розбіжності, тим гірша узгодженість емпіричного розподілу з теоретичним, тобто гіпотезу про вибір закону розподілу варто відкинути як неправдоподібну.

У протилежному випадку – експериментальні дані не суперечать прийнятому розподілу.

З відомих критеріїв у теорії надійності найчастіше застосовують критерій згоди χ^2 (кхі-квадрат) Пірсона.

Узгодженість розподілів за критерієм χ^2 перевіряють у такий спосіб:

1) розраховують критерій χ^2 (міру розбіжності):

$$\chi^2 = N \sum_1^k \frac{(B_i - B_i^*)^2}{B_i^*}. \quad (2.14)$$

де B_i – теоретична частота влучення випадкової величини в інтервал $[t_i, t_i + \Delta t]$, $B_i^* = f(t_i^*)\Delta t$; $f(t_i^*)$ – значення ЩРВ обраного за гіпотезою закону розподілу у точці t_i^* .

2) визначають кількість ступенів вільності: $R=k-L$, де L – кількість незалежних умов, накладених на частоти B_i наприклад:

а) умова $\sum_1^k B_i = 1$

б) умова збігу $\sum_1^k t_i^* B_i = T_0$

в) умова збігу $\sum_1^k (t_i^* - T_0)^2 B_i = D$ і т.д.

Найчастіше $L=3$. Чим більша кількість ступенів вільності, тим більше випадкова величина χ^2 підкоряється розподілу Пірсона;

3) за розрахованими χ^2 та R знаходять ймовірність P того, що величина, яка має розподіл Пірсона з R ступенями вільності, перевищить розраховане значення χ^2 .

Важко дати відповідь на питання, наскільки малою має бути ймовірність P , щоб відкинути гіпотезу про вибір того або іншого закону розподілу. На практиці,

якщо $P < 0,1$, то рекомендується відкинути прийняту гіпотезу і підшукати інший закон розподілу.

У цілому за допомогою критерію згоди можна спростувати обрану гіпотезу, але якщо ймовірність P досить велика, то це не може бути доказом правильності гіпотези, а вказує лише на те, що гіпотеза не суперечить даним експерименту.

Для апроксимації реальних розподілів наробітку до відмови на ділянках приробітку, нормальної експлуатації і старіння використовують стандартні розподіли випадкових величин, які досліджуються в теорії ймовірності. Розглянемо математичні вирази для деяких використовуваних у теорії надійності розподілів і фізичні передумови, які пояснюють механізми їх виникнення. Для кожного розподілу розглядають чотири основні характеристики: функцію розподілу $F(t)$, щільність розподілу $f(t)$, математичне сподівання (середній наробіток до відмови) T_0 і дисперсію D [10; 12]. Експериментатор, який обирає математичну модель, може розглянути не одну, а дві–три гіпотези (вибрати не один, а два–три закони розподілу) і після порівняння розрахованих параметрів вибрати оптимальний.

2.2. Нормальний закон розподілу наробітку до відмови

Класичний нормальний розподіл. Нормальний розподіл або розподіл Гауса – найбільш універсальний, зручний і широко застосований.

Вважається, що наробіток підкоряється нормальному розподілу (нормально розподілений), якщо ЩРВ можна описати виразом

$$f(t) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(t-\alpha)^2}{2\sigma^2}\right]. \quad (2.15)$$

де a та σ – параметри розподілу, відповідно, МС і СКВ; вважають, що за результатами випробувань $\alpha \approx T_0; \sigma^2 \approx D, deT_0, D$ – оцінки середнього наробітку і

дисперсії, а параметр σ фактично відображає СКВ S , $\sigma \approx \sqrt{D} = S$ отже, у теорії надійності закон Гауса використовують у вигляді

$$f(t) = \frac{1}{S\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(t-T_0)^2}{2S^2}\right] = \frac{1}{\sqrt{2\pi D}} e^{-\frac{(t-T_0)^2}{2D}}. \quad (2.16)$$

Графіки зміни показників безвідмовності за нормального розподілу зображено на рис. 2.8.

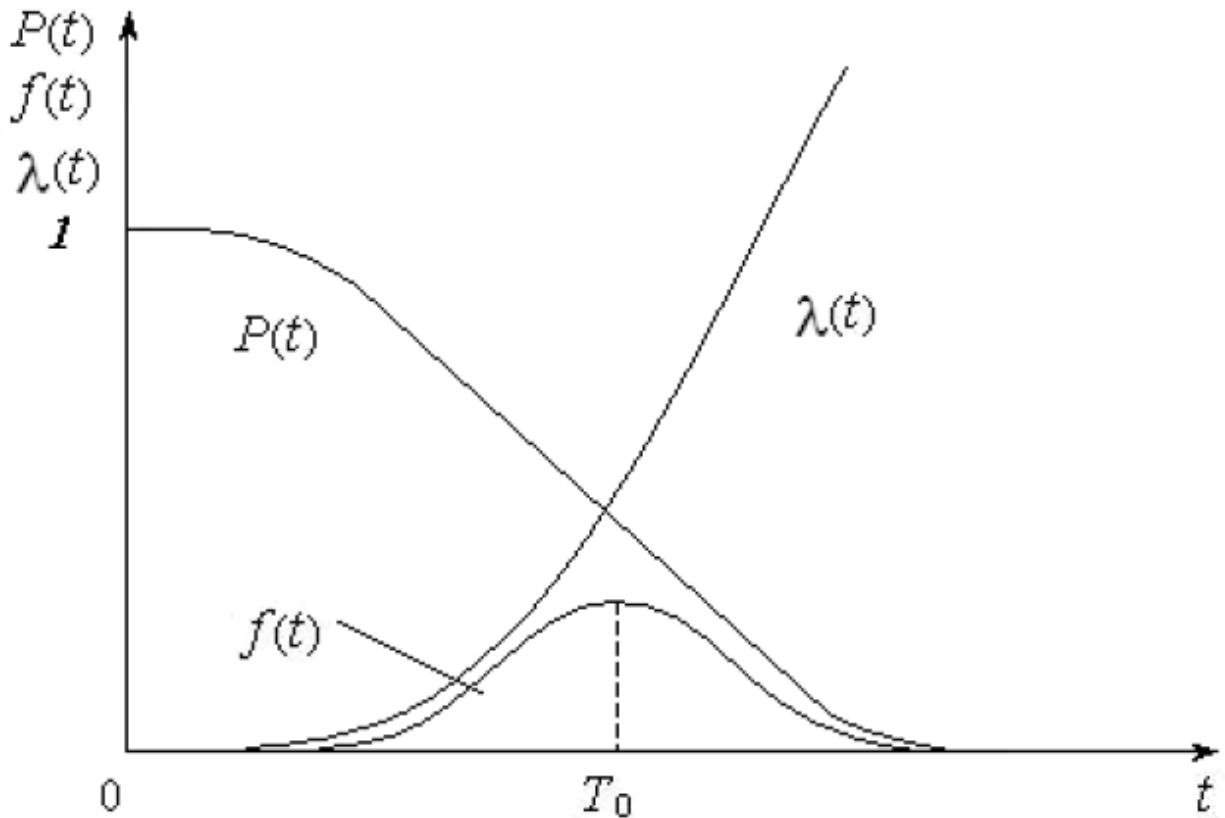


Рис. 2.8. Графіки показників безвідмовності для нормального розподілу

З'ясуємо зміст параметрів T_0 і S нормального розподілу. Із графіка $f(t)$ видно, що за $t=T_0$ ЩРВ досягає свого максимуму: $f(t)_{\max|t=T_0} = \frac{1}{S\sqrt{2\pi}}$.

У разі зрушення T_0 уліво/вправо по осі абсцис крива $f(t)$ зміщується у той самий бік, не змінюючи своєї форми. Отже, T_0 є центром розсіювання випадкової величини T , тобто МС. При цьому графік $f(t)$ симетричний відносно значення T_0 , тобто $f(T_0-t) = f(T_0+t)$.

Параметр S характеризує форму кривої $f(t)$, тобто ступінь розсіювання випадкової величини T . Крива ЩРВ $f(t)$ тим вужча і гостріша, чим менше S . Зміну графіків $P(t)$ і $\lambda(t)$ за різних СКВ наробітків за умови $S_1 < S_2 < S_3$ і $T_0 = \text{const}$ зображено на рис. 2.9.

Використовуючи отримані раніше співвідношення між показниками безвідмовності, можна було б записати вирази для $P(t)$, $Q(t)$ і $\lambda(t)$ за відомим виразом (2.16) для $f(t)$. Через велику громіздкість цих інтегральних виразів для практичного розрахунку показників безвідмовності обчислення інтегралів замінюють використанням таблиць. Крім того, для використання одних і тих самих уніфікованих таблиць для всіх нормально розподілених випадкових величин проводять нормування.

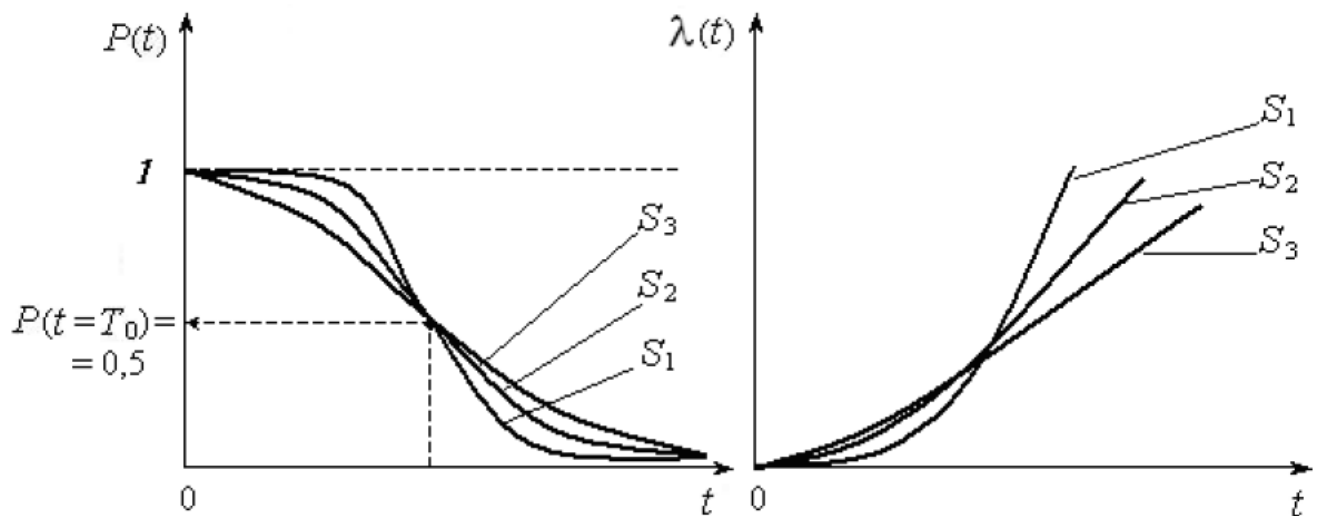


Рис. 2.9. Графіки ймовірності безвідмовної роботи $P(t)$ та інтенсивності відмов $\lambda(t)$ за різних СКВ ($S_1 < S_2 < S_3$) і $T_0 = \text{const}$

Із цією метою нормують змінну величину і переходять від випадкової величини $T = \{t\}$ до деякої випадкової величини $X = \{x\}$, $x = \frac{t - T_0}{S}$ яка розподілена нормально з параметрами МС $M\{X\} = 0$, СКВ $S\{X\} = 1$ і щільністю розподілу

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{x^2}{2}\right). \quad (2.17)$$

Вираз (2.17) описує щільність нормованого нормального розподілу, графік якої зображено на рис. 2.10.

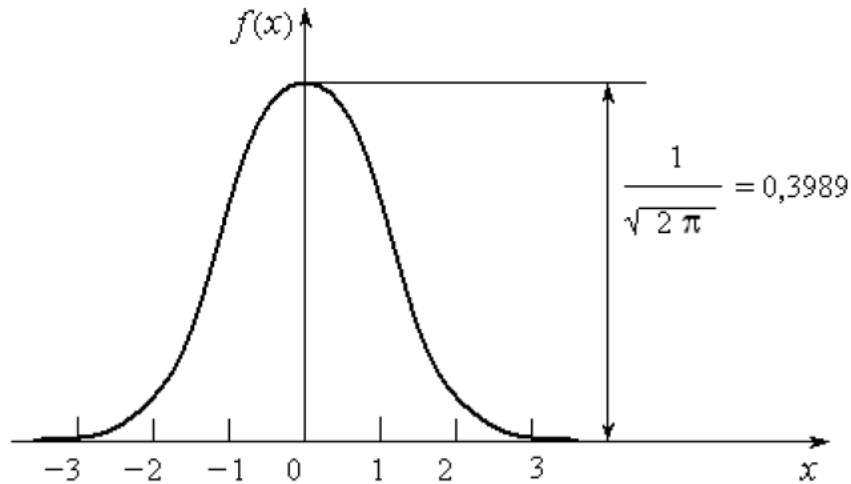


Рис. 2.10. Щільність розподілу випадкової величини для нормованого нормального розподілу

Нормована функція розподілу випадкової величини X має вигляд

$$F(x) = \int_{-\infty}^x f(x) dx, \quad (2.18)$$

а із симетрії кривої $f(t)$ відносно МС $M\{X\}=0$ випливає, що $f(-x)=f(x)$, звідки $F(-x)=F(x)$.

Найчастіше під час оцінювання безвідмовності об'єкта доводиться вирішувати пряме завдання – за заданих параметрів T_0 і S нормально розподіленого нарробітку до відмови визначати той або інший показник безвідмовності (наприклад, ІБР до нарробітку t).

2.3 Експоненціальний закон розподілу випадкових величин

Експоненціальний розподіл. Експоненціальний розподіл описує нарробіток до відмови об'єктів, у яких у результаті контрольних (здавальних) випробувань під час вихідного контролю немає періоду приробітку, а призначений ресурс установлений до закінчення періоду нормальної експлуатації.

Ці об'єкти можна віднести до «нестаріючих», оскільки їх експлуатують тільки на ділянці з $\lambda(t)=const=\lambda$. Таких об'єктів надзвичайно багато: складні технічні системи з великою кількістю компонентів, засоби обчислювальної техніки, радіоелектронні елементи та системи автоматичного регулювання тощо. Експоненціальний розподіл широко застосовують для оцінювання безвідмовності енергетичних об'єктів та елементів ЛА.

Експоненціальний розподіл має такі характеристики:

$$F(t) = 1 - e^{-\lambda t}; f(t) = \lambda e^{-\lambda t}; T_0 = MC = \frac{1}{\lambda}; D = \frac{1}{\lambda^2}; \lambda \geq 0. \quad (2.19)$$

Експоненціальний розподіл однопараметричний і має одну унікальну властивість, яку можна продемонструвати за допомогою розрахункових формул (1.9) і (1.13). Згідно з формулою (1.9), ймовірність

$$P(\tau, t) = \frac{e^{-\lambda(\tau+t)}}{e^{-\lambda\tau}} = e^{-\lambda t}. \quad (2.20)$$

не залежить від того, скільки часу виріб пропрацював до інтервалу часу $(\tau, \tau + t)$. Згідно з формулою (1.13), середній залишковий (прийдешній, майбутній) наробіток до відмови

$$T_0(\tau) = \int_{\tau}^{\infty} \frac{e^{-\lambda t}}{e^{-\lambda\tau}} dt = \frac{1}{\lambda} = T_0. \quad (2.21)$$

також не залежить від того, скільки часу виріб пропрацював раніше. Закономірності (2.20) та (2.21) – це прояв властивості, яку називають відсутністю післядії, за наявності якої показники надійності виробу залежать тільки від стану виробу на початку певного інтервалу часу, але не залежать від наробітку до цього інтервалу. Є фізичні передумови, що пояснюють цю властивість. Одне з пояснень таке. Будь-який виріб працює в умовах певного навантаження (електричного, механічного та ін.) і має обмежену «міцність», тому є деяке граничне навантаження, яке виріб здатний витримувати без відмови. Якщо навантаження перевищує граничне значення, то відбувається раптова відмова. Пікові значення навантажень виникають

випадковим чином, і момент їх виникнення передбачити неможливо. У теорії випадкових процесів є доказ того, що за певних умов час до першого перетину випадковим процесом деякого граничного (порогового) рівня має якраз експоненціальний розподіл. У наведеному поясненні важливим є те, що відмова виникає не внаслідок поступової зміни внутрішнього стану виробу, а внаслідок зовнішньої випадкової дії, значення якої перевищує допустиме. З цього виходить, що для експоненціального розподілу наробітку до відмови профілактичні роботи, що включають заміну елементів або їх періодичний ремонт, втрачають усякий сенс, оскільки не можуть вплинути на причину відмови. Природний спосіб підвищення надійності елемента полягає або в його конструктивному поліпшенні, або у зниженні діючих навантажень.

Вважають, що випадкова величина наробітку об'єкта до відмови підлягає експоненціальному розподілу, якщо ЩРВ можна описати виразом:

$$f(t) = \alpha \exp(-\alpha t), \quad (2.22)$$

де α – параметр розподілу, який за результатами випробувань на надійність беруть $\alpha \approx \frac{1}{T_0} = \lambda$, T_0 - статистична оцінка середнього наробітку до відмови.

Інші показники безвідмовності, якщо відоме значення параметра $\alpha = \lambda$, наведено у табл. 2.1.

Таблиця 2.1 - Показники безвідмовності експоненціального розподілу

Показник безвідмовності	Математична модель показника
Імовірність безвідмовної роботи (ІБР)	$P(t) = \exp(-\alpha t) = \exp(-\lambda t)$
Імовірність відмови (ІВ)	$Q(t) = 1 - \exp(-\lambda t)$
Інтенсивність відмов (ІнВ)	$\lambda(t) = \alpha = \lambda$
Щільність розподілу відмов (ЩРВ)	$f(t) = \lambda \exp(-\lambda t)$

З виразу (2.15) випливає, що ІНВ є постійною величиною, що не залежить від часу і яка обернено пропорційна оцінці середнього наробітку $\lambda(t) = \lambda = \frac{1}{T_0}$.

Числові характеристики наробітку до відмови знаходять за формулами:

– середній наробіток (МС наробітку) до відмови:

$$T_0 = \int_0^{\infty} P(t) dt = \frac{1}{\lambda}; \quad (2.23)$$

– дисперсію наробітку до відмови:

$$D = D\{t\} = \int_0^{\infty} (t - T_0)^2 f(t) dt = \frac{1}{\lambda^2}. \quad (2.24)$$

Графіки зміни показників безвідмовності для експоненціального розподілу зображено на рис. 2.11.

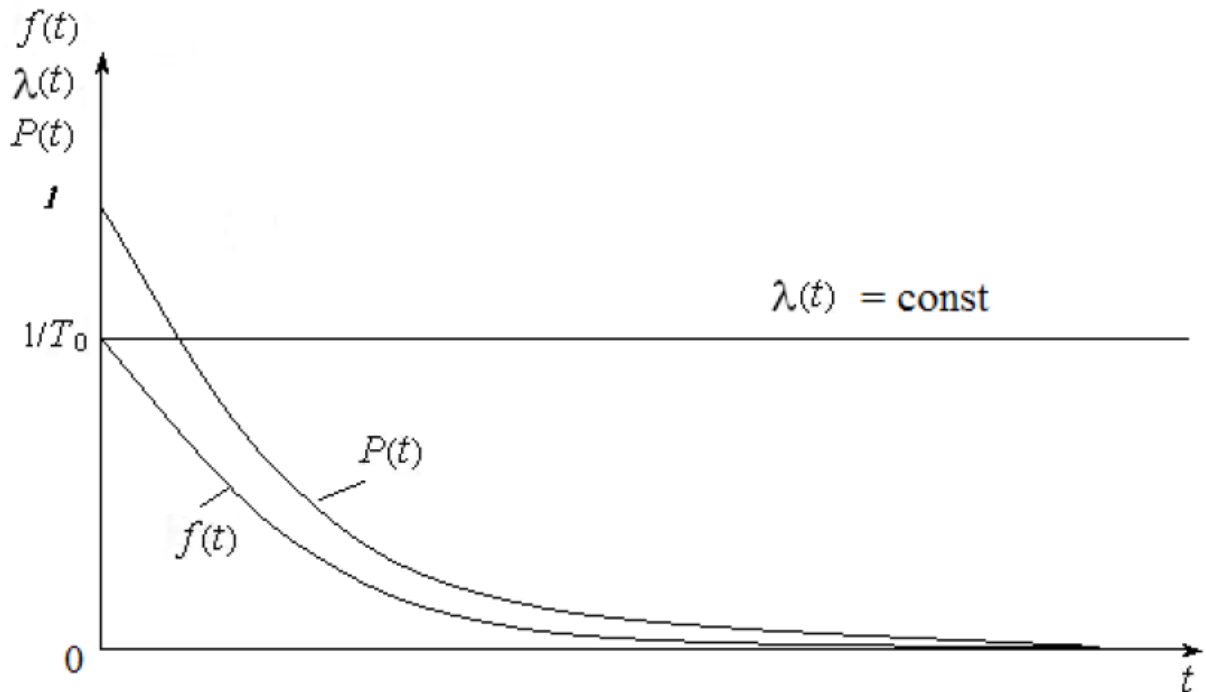


Рис. 2.11 Графіки показників безвідмовності (ІБР, ЩРВ, ІНВ) для експоненціального розподілу

Слід зазначити, що за $\lambda t \ll 1$, тобто за наробітку t , значно меншому, ніж середній наробіток, T_0 вирази (2.12)–(2.15) можна спростити, замінивши $e^{-\lambda t}$ двома першими членами розкладання $e^{-\lambda t}$ у ступеневий ряд.

Наприклад, вираз для ІБР набуває вигляду

$$P(t) = 1 - \lambda t + \frac{(\lambda t)^2}{2!} - \frac{(\lambda t)^3}{3!} + \dots \approx 1 - \lambda t, \quad (2.25)$$

при цьому похибка обчислення $P(t)$ не перевищує $0,5(\lambda t)^2$.

2.4 Закон розподілу Вейбулла

Розподіл Вейбулла – двопараметричний закон розподілу випадкового напрацювання до відмови з параметрами: λ_0 , що визначає масштаб, і k , що визначає асиметрію. Розподіл Вейбулла широко використовується для визначення показників надійності ТС, при дослідженні їх міцності і довговічності. Ним описується інтенсивність відмов на всьому проміжку експлуатації ТС.

Розподіл Вейбулла був отриманий емпірично в результаті аналізу великої кількості розподілів ресурсів і відповідає ситуації руйнування самої слабкої ланки (елемента) з деякої сукупності (системи, яка складається з окремих елементів).

Розподіл Вейбулла характеризується такими функціями:

- ймовірністю безвідмовної роботи:

$$P(t) = e^{-t/t_0}. \quad (2.26)$$

- інтенсивністю відмов:

$$\lambda(t) = (m/t_0)t^{m-1}. \quad (2.27)$$

- щільністю розподілу:

$$f(t) = \frac{m}{t_0} t^{m-1} e^{-t/t_0}. \quad (2.28)$$

Розподіл Вейбулла також має два параметри: параметр форми $m > 0$ і масштабний параметр $t_0 > 0$.

Математичне сподівання і середнє квадратичне відхилення визначають відповідно:

$$m_t = B_m t_0^{1/m}; S_t = C_m t_0^{1/m}, \quad (2.29)$$

B_m, C_m - коефіцієнти.

Якщо протягом певного часу t' відмови не відбуваються, то імовірність безвідмовної роботи визначають за формулою:

$$P(t) = e^{-(t-t')^{m/t_0}}. \quad (2.30)$$

Іноді характеристики розподілу Вейбулла записують з використанням інших позначень. Наприклад, імовірність безвідмовної роботи можна подати так:

$$P(t) = e^{-(t/a)^b}, \quad (2.31)$$

де $b=m$ і $a=t_0^{1/m}$.

Можливості та універсальність закону Вейбулла очевидні з рис. 2.12.

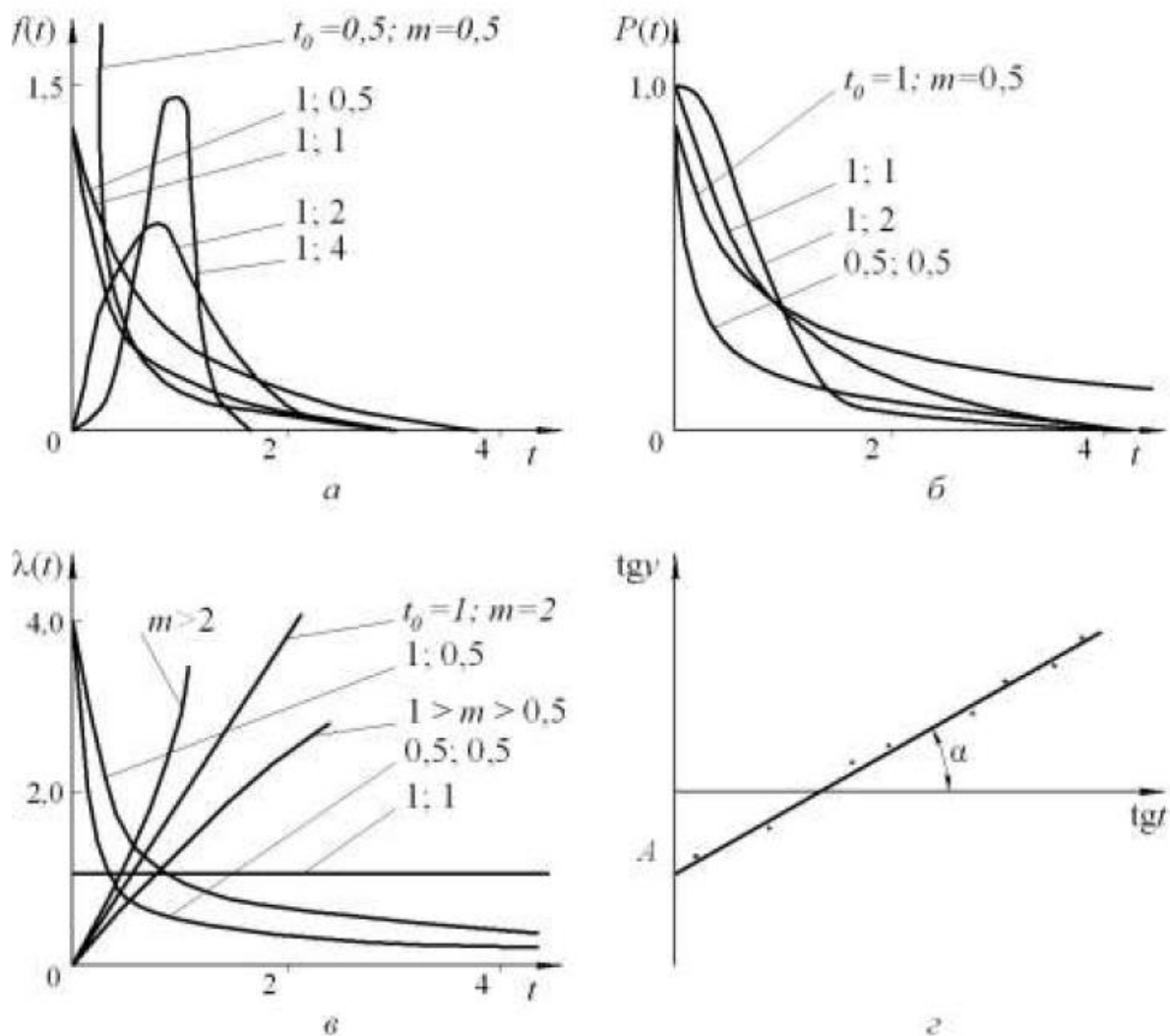


Рис. 2.12 Характеристики розподілу Вейбулла: а – щільність розподілу; б – функція надійності; в – інтенсивність відмов; г – графічне визначення параметрів розподілу

При $m < 1$ функції $\lambda(t)$ і $f(t)$ спадаючі.

При $m = 1$ розподіл перетворюється на експоненціальний з $\lambda(t) = \text{const}$ і $f(t)$ - спадна функція.

Якщо $m > 1$ функція $f(t)$ має вершину, як у логарифмічно нормальному розподілі, то функція $\lambda(t)$ є безперервно зростаючою і при $1 < m < 2$ випуклою, а при $m > 2$ – увігнутою.

Розподіл Вейбулла досить універсальний. Він задовільно описує напрацювання до відмови деталей машин, які руйнуються від втоми.

Розподіл Вейбулла є досить гнучкою функцією, здатною добре вирівнювати різноманітну статистику відмов, і може бути моделлю відмов, в основному, – механічних виробів.

3. РОЗРАХУНОК ПОКАЗНИКІВ НАДІЙНОСТІ ТА РЕМОНТОПРИДАТНОСТІ

3.1 Статистичні ряди розподілу

Щоб розділити сукупність на групи потрібно визначити: а) групувальний ознака; б) число груп, на яке буде ділитися сукупність; в) межі кожної групи.

Групувальна ознака задається метою дослідження. Якщо використовується якісна (атрибутивна) ознака, то, як правило, кількість варіантів впливає з сутності ознаки. Відповідно до кількості варіант дорівнює кількість груп. Якщо обрано кількісний ознака, кількість груп буде визначатися або сутністю розв'язуваного завдання, або розрахунковим шляхом. При цьому слід враховувати кількість одиниць у сукупності та ступінь коливання групувального ознаки. Тому чим менше обсяг сукупності, тим менше має бути груп. Кількість груп може бути визначено формалізованим способом, або довільним, виходячи з умов завдання. При формалізованому способі можуть бути використані формули Стерджес або середнє квадратичне відхилення. Так кількість груп за допомогою формули Стерджесу буде рівна:

$$n=1+3,322\lg N, \quad n=1+1,44\ln N, \quad (3.1)$$

де: n - кількість груп;

N - кількість одиниць у сукупності.

Дана формула дає хороші результати при великому числі одиниць у сукупності та при розподілі одиниць сукупності близько до нормального розподілу.

Після визначення числа груп визначається інтервал групи. Інтервал групи – це різниця між найбільшим та найменшим значенням ознаки у групі. Інтервал групи має нижню та верхню межу. Нижня межа інтервалу групи – це найменше значення ознаки групи. Верхня межа інтервалу групи – це найбільше значення ознаки групи.

Рівний інтервал розраховується так

$$h = \frac{R}{n}, \quad (3.2)$$

де: R – розмах варіації сукупності;

n – число груп.

Результат розрахунку величини інтервалу доцільно округляти, виходячи зі змісту вихідної інформації.

Розмах варіації дорівнює

$$R = x_{\max} - x_{\min}, \quad (3.3)$$

де x_{\max}, x_{\min} - максимальне та мінімальне значення одиниці в сукупності.

Потім визначимо величину рівного інтервалу за формулою

$$h = \frac{x_{\max} - x_{\min}}{n}. \quad (3.4)$$

Однією з форм представлення даних статистичного спостереження є ряд розподілу. Статистичний ряд розподілу – це впорядковане розташування одиниць сукупності групи за групувальною ознакою. За допомогою статистичних рядів розподілу можливе вивчення структури та меж зміни сукупності, оцінка однорідності та визначення закономірності розвитку одиниць сукупності. За видом статистичні ряди розподілу поділяються на атрибутивні, варіаційні та часові ряди.

Атрибутивні та варіаційні ряди складаються з двох елементів: варіанти та частоти (частини або щільності). Варіанта (x_i) – це конкретне значення ознаки, що він приймає у низці розподілу. Частота (f_i) – це абсолютне число, що показує, скільки разів (як часто) зустрічається в сукупності те чи інше значення ознаки (варіанту) або скільки одиниць сукупності мають те чи інше значення ознаки (варіантою). Частина (P_i) – це відносна величина, що визначає частку окремих варіантів у загальному обсязі сукупності ($\sum p_i$). Частина може бути виражена або в частках, у цьому випадку обсяг сукупності дорівнює одиниці ($\sum p_i = 1$), або у відсотках, у цьому випадку обсяг сукупності дорівнює 100% ($\sum p_i = 100\%$). У цілому нині частка розраховується так

$$p_i = \frac{f_i}{\sum f_i}, \quad (3.5)$$

де Σf_i - обсяг сукупності.

Щільність (ω_i) - це відносна величина, що показує, скільки одиниць сукупності (в абсолютній чи відносній формі) посідає одиницю довжини інтервалу групи (h). Щільність може бути абсолютною або відотною. Абсолютна щільність дорівнює

$$\omega_{ai} = \frac{f_i}{h}. \quad (3.6)$$

Відносна щільність дорівнює

$$\omega_{oi} = \frac{p_i}{h}. \quad (3.7)$$

При розрахунку відносної густини використовується частота, виражена у частках.

Атрибутивний ряд – це ряд, побудований з урахуванням якісного ознаки сукупності.

Варіаційний ряд – це ряд, побудований з урахуванням кількісного ознаки сукупності. Дані ряди будуються, переважно, з допомогою структурної угруповання і може бути виражені як таблиці. Варіаційні ряди бувають двох типів: дискретні варіаційні ряди та інтервальні. Дискретний варіаційний ряд – це ряд, у якому значення ознаки (варіанти) представлені дискретними величинами. Інтервальний варіаційний ряд – це ряд, у якому значення ознаки виражені як інтервалів.

Часто при аналізі варіаційних рядів виникає потреба у розумінні зміни обсягу сукупності при зміні (переважно в порядку зростання) значень ознаки. Для цього використовуються такі поняття, як накопичені частоти або накопичені частоти. Накопичені частоти (Σf_i) – це сума частот спочатку ряду до певного значення ознаки включно. Накопичені частоти – це сума частот від початку низки до певного значення ознаки включно.

Таблиця 3.1 – Статистичний ряд розподілу

C	Карман	Частота	$C_{i-1}; C_i$	$\sum r(\Delta t)$	N_{cp}	$\frac{\sum r(\Delta t)}{(\sum r(\Delta t) \times h)}$	w_i	$w_i \times 100\%$	$\sum r(t)$	$Q(t)$	$N_{Cp-t_{cep}}$	$(N_{Cp-t_{cep}}) \sum r(\Delta t)$	$P(t)$	
C ₁	194	194	1	91;194	1	143	0.000000	0.004	0%	1	0.004	-890.332	-890.3	0.996
C ₂	297	297	2	194;297	2	246	0.000100	0.008	1%	3	0.012	-787.332	-1574.7	0.988
C ₃	400	400	1	297;400	1	349	0.000000	0.004	0%	4	0.016	-684.332	-684.3	0.984
C ₄	503	503	6	400;503	6	452	0.000200	0.024	2%	10	0.04	-581.332	-3488.0	0.96
C ₅	606	606	9	503;606	9	555	0.000300	0.036	4%	19	0.076	-478.332	-4305.0	0.924
C ₆	709	709	15	606;709	15	658	0.000600	0.06	6%	34	0.136	-375.332	-5630.0	0.864
C ₇	812	812	23	709;812	23	761	0.000900	0.092	9%	57	0.228	-272.332	-6263.6	0.772
C ₈	915	915	25	812;915	25	864	0.001000	0.1	10%	82	0.328	-169.332	-4233.3	0.672
C ₉	1018	1018	50	915;1018	50	967	0.001900	0.2	20%	132	0.528	-66.332	-3316.6	0.472
C ₁₀	1121	1121	27	1018;1121	27	1070	0.001000	0.108	11%	159	0.636	36.668	990.0	0.364
C ₁₁	1224	1224	21	1121;1224	21	1173	0.000800	0.084	8%	180	0.72	139.668	2933.0	0.28
C ₁₂	1327	1327	25	1224;1327	25	1276	0.001000	0.1	10%	205	0.82	242.668	6066.7	0.18
C ₁₃	1430	1430	21	1327;1430	21	1379	0.000800	0.084	8%	226	0.904	345.668	7259.0	0.096
C ₁₄	1533	1533	8	1430;1533	8	1482	0.000300	0.032	3%	234	0.936	448.668	3589.3	0.064
C ₁₅	1636	1636	11	1533;1636	11	1585	0.000400	0.044	4%	245	0.98	551.668	6068.3	0.02
C ₁₆	1739	1739	4	1636;1739	4	1688	0.000200	0.016	2%	249	0.996	654.668	2618.7	0.004
C ₁₇	1842	1842	0	1739;1842	0	1791	0.000000	0	0%	249	0.996	757.668	0.0	0.004
C ₁₈	1945	1945	1	1842;1945	1	1894	0.000000	0.004	0%	250	1	860.668	860.7	0

Інформативність аналізу варіаційних рядів значно підвищується, якщо ряди подати у графічній формі. Основними графічними формами подання варіаційних рядів є гистограма та полігон. Гистограма – це графік, на якому інтервальний варіаційний ряд відображається у вигляді суміжних стовпчиків (рис. 3.1).

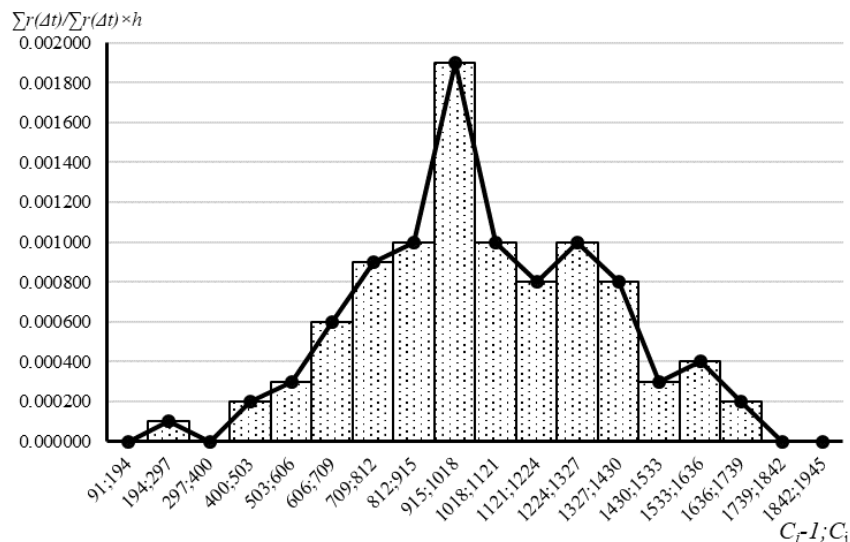


Рисунок – 3.1 Гистограма відносних частот

Полігон - це графік, на якому дискретний варіаційний ряд відображається у вигляді ламаної лінії. Для побудови полігону використовуємо даний з тієї ж таблиці, на підставі якої була побудована гістограма. Але у разі використовуємо не інтервали і дискретні величини ознаки (x_i) з гр.3 таблиці 3.1, які відкладемо осі абсцис рис.3.2).

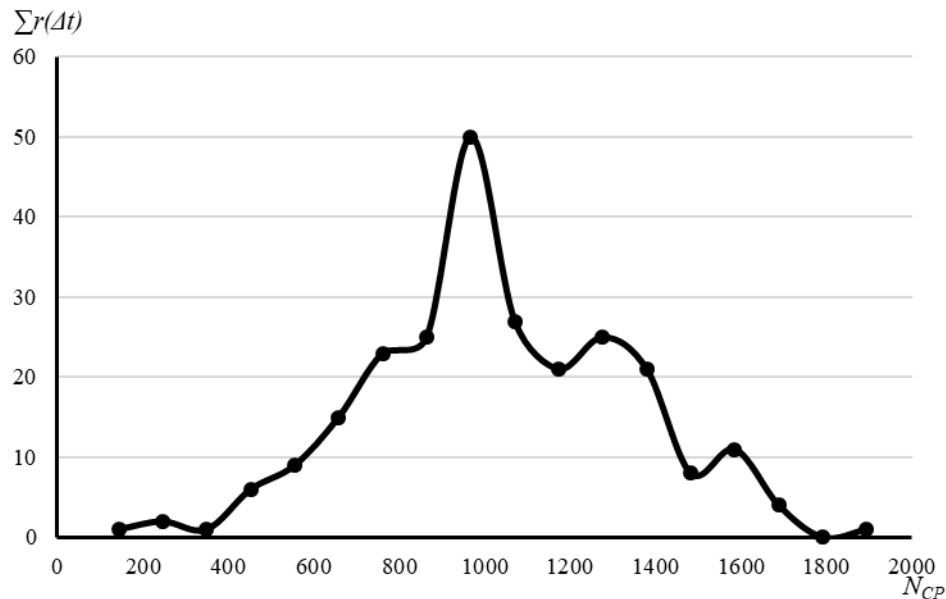


Рисунок – 3.2 Полігон відносних частот

Розглянуті графіки взаємопов'язані між собою, оскільки відображають той самий варіаційний ряд. Гістограму можна перетворити на полігон, якщо середини верхніх кордонів кожного стовпця з'єднати лінією, як це зроблено на рис. 3.1.

Графічний аналіз гістограми (рис.3.1) та полігону (рис.3.2) дозволяє зробити певні висновки. По-перше, сумарна кількість автомобілів, що відмовили розподілено нерівномірно, по-друге, зі зростанням відмов відповідна кількість машин спочатку до певного рівня зростає, а потім зменшується, по-третє, найбільша кількість відмов відповідає інтервалу пробігу з 915 до 1018. Звичайно ці висновки можна отримати і під час аналізу самих цифрових даних. Однак при аналізі цифрових даних окремі моменти, що характеризують розподіл даних, можуть бути втрачені.

В окремих випадках аналіз варіаційних рядів може бути поглиблений, якщо використовувати накопичені частоти (частини) як кумуляти. Кумулята - це графічне зображення варіаційного ряду через накопичені частоти (частини). Вона (кумулята) показує, скільки одиниць сукупності мають значення ознаки, що не перевищують заданого значення. Кумулята використовують при порівнянні різних статистичних рядів, а також при аналізі концентрації виробництва. При побудові кумуляти на осі абсцис відкладаються варіанти ознаки, а на осі ординат – накопичені частоти (частини). Побудуємо кумуляту за даними графі 3 (варіанти ознаки), графі 6 (накопичені частоти) таблиці 3.4 (рис.3.3).

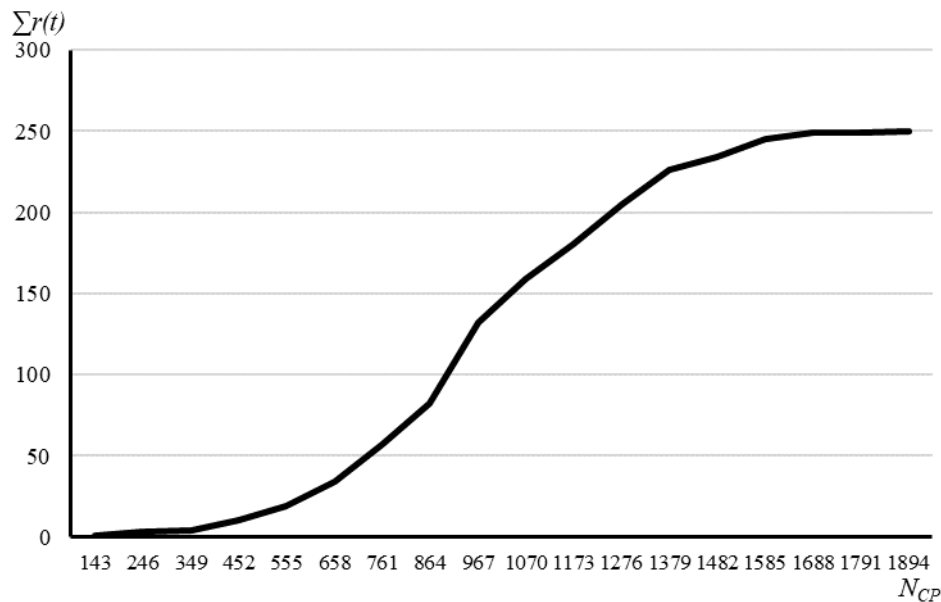


Рисунок – 3.3 Кумулята відносних частот

3.2 Ймовірність безвідмовної роботи

Ймовірністю безвідмовної роботи називається ймовірність того, що за певних умов експлуатації, у межах заданого напрацювання не станеться жодної відмови.

Ймовірність безвідмовної роботи позначається як $P(t)$, яка визначається за формулою (1.1):

$$P(t) = \frac{N_0 - r(t)}{N_0} = 1 - \frac{r(t)}{N_0}; \quad (3.1)$$

де N_0 - кількість елементів на початку випробування; $r(t)$ – кількість відмов елементів на момент напрацювання. Слід зазначити, що більше величина N_0 , тим із більшою точністю можна розрахувати ймовірність $P(t)$.

На початку експлуатації справного автомобіля $P(0) = 1$, оскільки при пробігу $t = 0$ ймовірність того, що жоден елемент не відмовить, набуває максимального значення – 1. Зі зростанням пробігу t ймовірність $P(t)$ буде зменшуватися. У процесі наближення терміну експлуатації до нескінченно великої величини ймовірність безвідмовної роботи буде прагнути нуля $P(t \rightarrow \infty) = 0$. Таким чином у процесі напрацювання величина ймовірності безвідмовної роботи змінюється в межах від 1 до 0. Характер зміни ймовірності безвідмовної роботи у функції пробігу показано на рис. 3.4.

Протягом експлуатації $N_0 = 250$ шт. автомобілів Volvo від 0 до 2000 год. здійснено збір інформації з відмов. Сумарна кількість автомобілів, що відмовили за аналізований період склала 50. Інтервал пробігу рівний 60 тис. км. При цьому кількість автомобілів, що відмовили, по кожній ділянці склала: 1, 2, 1, 6, 9, 15, 23, 25, 50, 27, 21, 25, 21, 8, 11, 4, 0, 1.

Необхідно розрахувати показники безвідмовності та побудувати їх залежності зміни від часу.

Заповнимо таблицю вихідних даних.

Таблиця 3.2

Δt , год.	91;194	194;297	297;400	400;503	503;606	606;709	709;812	812;915	915;1018	1018;1121	1121;1224	1224;1327	1327;1430	1430;1533	1533;1636	1636;1739	1739;1842	1842;1945
$\sum r(\Delta t)$	1	2	1	6	9	15	23	25	50	27	21	25	21	8	11	4	0	1
$\sum r(t)$	1	3	4	10	19	34	57	82	132	159	180	205	226	234	245	249	249	250

За формулою 3.1 визначаємо для кожної ділянки пробігу величину ймовірності безвідмовної роботи:

$$P(t) = 1 - \frac{1}{250} = 0,996.$$

Результати розрахунку ймовірності безвідмовної відмови $P(t)$ подаємо у вигляді таблиці.

Таблиця 3.3

Δt , год.	91;194	194;297	297;400	400;503	503;606	606;709	709;812	812;915	915;1018	1018;1121	1121;1224	1224;1327	1327;1430	1430;1533	1533;1636	1636;1739	1739;1842	1842;1945
$\sum r(t)$	1	3	4	10	19	34	57	82	132	159	180	205	226	234	245	249	249	250
$P(t)$	0.996	0.988	0.984	0.96	0.924	0.864	0.772	0.672	0.472	0.364	0.28	0.18	0.096	0.064	0.02	0.004	0.004	0

Наведемо характер зміни можливості безвідмовної роботи автомобілів Volvo залежно від пробігу. Першою точкою графіку, тобто. при пробігу, що дорівнює 0, величина ймовірності безвідмовної роботи прийме максимальне значення 1.

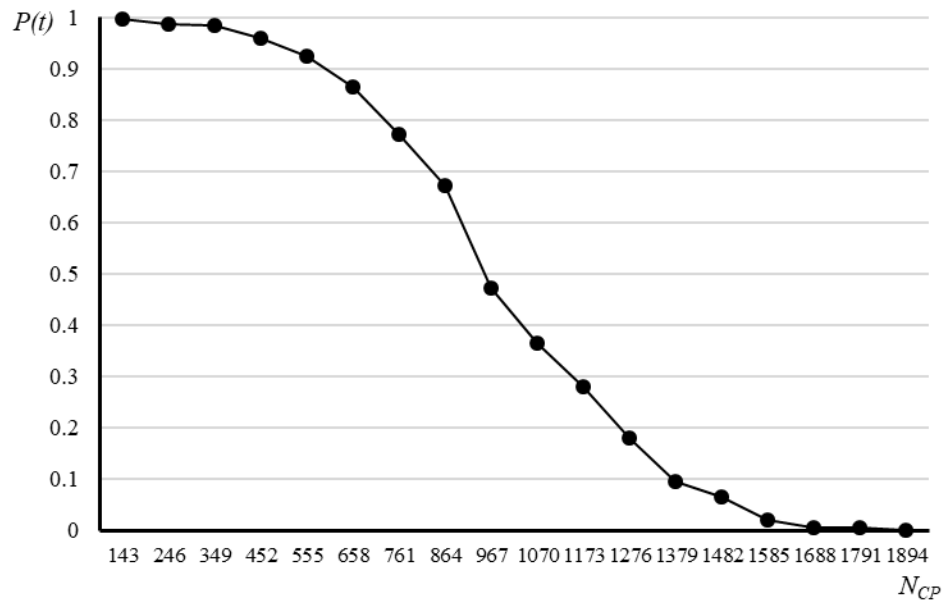


Рисунок – 3.4 Графік зміни ймовірності безвідмовної роботи $P(t)$ в залежності від напрацювання

Основними перевагами використання цього показника при розрахунках є два чинники: по-перше, ймовірність безвідмовної роботи охоплює всі чинники, що впливають надійність елементів, дозволяючи досить судити про його надійності, т.к. що більше величина $P(t)$, то вище надійність; по-друге, ймовірність

безвідмовної роботи може бути використана в розрахунках надійності складних систем, що складаються з більш ніж одного елемента.

3.3 Ймовірність відмови

Ймовірністю відмови називають ймовірність того, що за певних умов експлуатації, у межах заданого напрацювання відбудеться хоча б одна відмова.

Ймовірність відмови позначається як $Q(t)$, яка визначається за формулою (3.2):

$$Q(t) = 1 - P(t) = \frac{r(t)}{N_0}. \quad (3.2)$$

$$Q(t) = 1 - 0,996 = 0,004.$$

Результати розрахунку ймовірності відмови $Q(t)$ подаємо у вигляді таблиці.

Таблиця 3.4

Δt , год.	91;194	194;297	297;400	400;503	503;606	606;709	709;812	812;915	915;1018	1018;1121	1121;1224	1224;1327	1327;1430	1430;1533	1533;1636	1636;1739	1739;1842	1842;1945
$\sum r(t)$	1	3	4	10	19	34	57	82	132	159	180	205	226	234	245	249	249	250
$Q(t)$	0.004	0.012	0.016	0.04	0.076	0.136	0.228	0.328	0.528	0.636	0.72	0.82	0.904	0.936	0.98	0.996	0.996	1

На початку експлуатації справного автомобіля $Q(0)=0$, оскільки при пробігу $t=0$ ймовірність того, що хоча один елемент відмовить, приймає мінімальне значення – 0. Зі зростанням пробігу t ймовірність відмови $Q(t)$ буде збільшуватися. У процесі наближення терміну експлуатації до нескінченно великої величини ймовірність відмови буде прагнути одиниці $Q(t \rightarrow \infty)=1$. Таким чином у процесі напрацювання величина ймовірності відмови змінюється в межах від 0 до 1. Характер зміни ймовірності відмови у функції пробігу показаний на рис. 3.5. Ймовірність безвідмовної роботи та ймовірність відмови є подіями протилежними та несумісними.

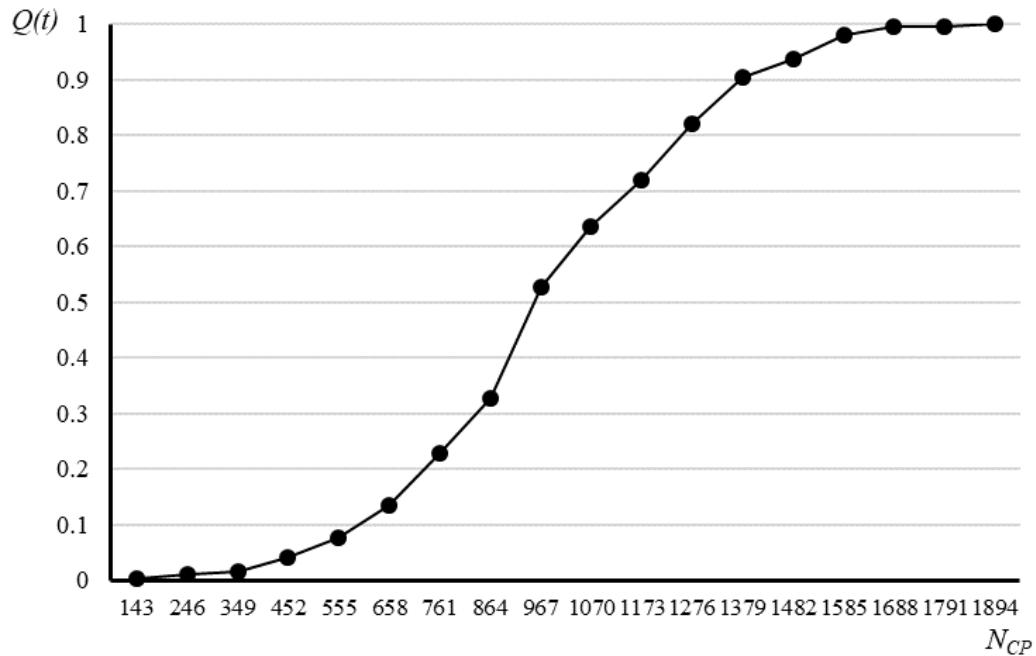


Рисунок – 3.5 Графік зміни ймовірності відмови $Q(t)$ в залежності від напрацювання

3.4 Частота відмов

Частота відмов - це відношення числа елементів в одиницю часу або пробігу віднесеного до початкового числа випробуваних елементів. Тобто частота відмов є показником, що характеризує швидкість зміни ймовірності відмов та ймовірності безвідмовної роботи зі зростанням тривалості роботи.

Частота відмов позначається як і визначається за формулою (3.3):

$$\alpha(\Delta t) = \frac{r(\Delta t)}{N_0 \times \Delta t} . \quad (3.3)$$

де - $r(\Delta t)$ кількість елементів, що відмовили за проміжок пробігу Δt .

Зробимо розрахунок частоти відмов за рівнянням 3.3.

$$\alpha(\Delta t) = \frac{1}{250 \times 2000} = 2,16567E - 06 .$$

Таблиця 3.5 - Результати розрахунку частоти відмов $\alpha(\Delta t)$ подаємо у вигляді таблиці:

Δt , год.	91;194	194;297	297;400	400;503	503;606	606;709	709;812	812;915	915;1018	1018;1121	1121;1224	1224;1327	1327;1430	1430;1533	1533;1636	1636;1739	1739;1842	1842;1945
$\sum r(\Delta t)$	1	2	1	6	9	15	23	25	50	27	21	25	21	8	11	4	0	1
$\alpha(\Delta t)$	2.17E-06	4.33E-06	2.17E-06	1.3E-05	1.95E-05	3.25E-05	4.98E-05	5.41E-05	0.000108	5.85E-05	4.55E-05	5.41E-05	4.55E-05	1.73E-05	2.38E-05	8.66E-06	0	2.17E-06

Даний показник дозволяє судити за його величиною про кількість елементів, які відмовлять на якомусь проміжку часу або пробігу, також за величиною можна розрахувати кількість необхідних запасних частин.

Характер зміни частоти відмов у функції пробігу показано на рис. 3.6.

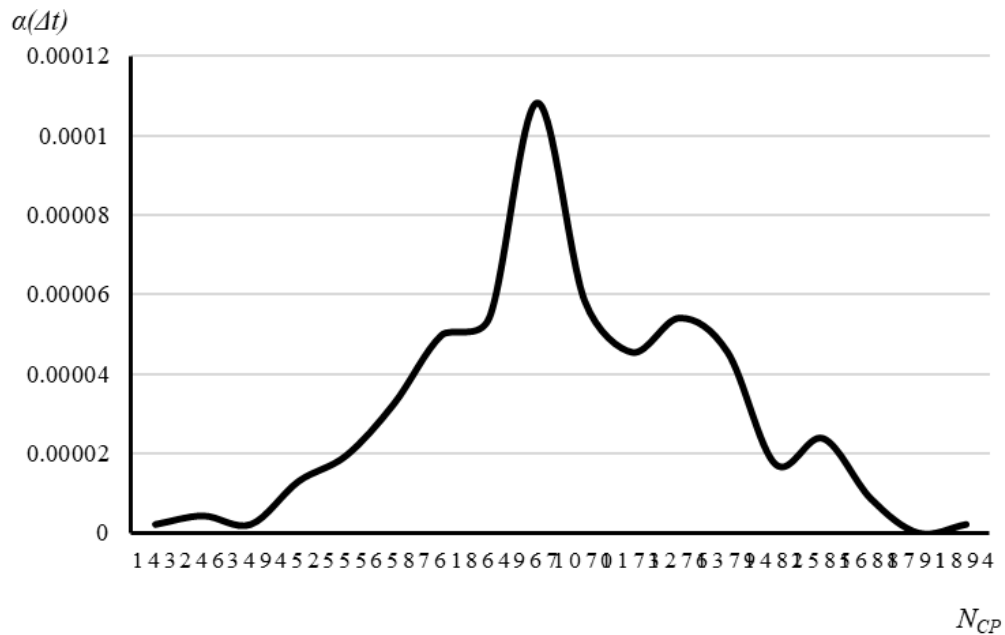


Рисунок - 3.6 Графік зміни частоти відмов залежно від напрацювання

3.5 Інтенсивність відмов

Інтенсивність відмов є умовна щільність виникнення відмови об'єкта, що визначається для аналізованого моменту часу або напрацювання за умови, що до цього моменту відмова не виникла. Інакше інтенсивність відмов – це відношення

числа елементів, що відмовили, в одиницю часу або пробігу до справних елементів у даний відрізок часу.

Інтенсивність відмов позначається як і визначається за формулою (3.4):

$$\lambda(\Delta t) = \frac{r(\Delta t)}{N_{CP} \times \Delta t} \quad (3.4)$$

$$N_{CP} = \frac{N(t) + N(t + \Delta t)}{2} \quad (3.5)$$

Зробимо розрахунок інтенсивності відмов залежно від напрацювання.

Розрахуємо середню кількість працездатних систем та інтенсивність відмов на кожній ділянці пробігу:

$$\lambda(\Delta t) = \frac{r(\Delta t)}{N_{CP} \times \Delta t}$$

$$N_{CP} = \frac{N(t) + N(t + \Delta t)}{2}$$

Таблиця 3.6 - Результати інтенсивності відмов представимо у вигляді таблиці:

Δt , год.	91;194	194;297	297;400	400;503	503;606	606;709	709;812	812;915	915;1018	1018;1121	1121;1224	1224;1327	1327;1430	1430;1533	1533;1636	1636;1739	1739;1842	1842;1945
$\sum r(\Delta t)$	1	2	1	6	9	15	23	25	50	27	21	25	21	8	11	4	0	1
$\lambda(\Delta t)$	1.29E-06	1.5E-06	5.29E-07	2.45E-06	3E-06	4.21E-06	5.58E-06	5.34E-06	9.55E-06	4.66E-06	3.31E-06	3.62E-06	2.81E-06	9.97E-07	1.28E-06	4.38E-07	0	9.75E-08

Як правило, інтенсивність відмов $\lambda(\Delta t)$ є незменшеною функцією часу. Інтенсивність відмов зазвичай застосовується з метою оцінки схильності до відмов у різні моменти роботи об'єктів.

На рис. 3.7 представлений теоретичний характер зміни інтенсивності відмов у функції пробігу.

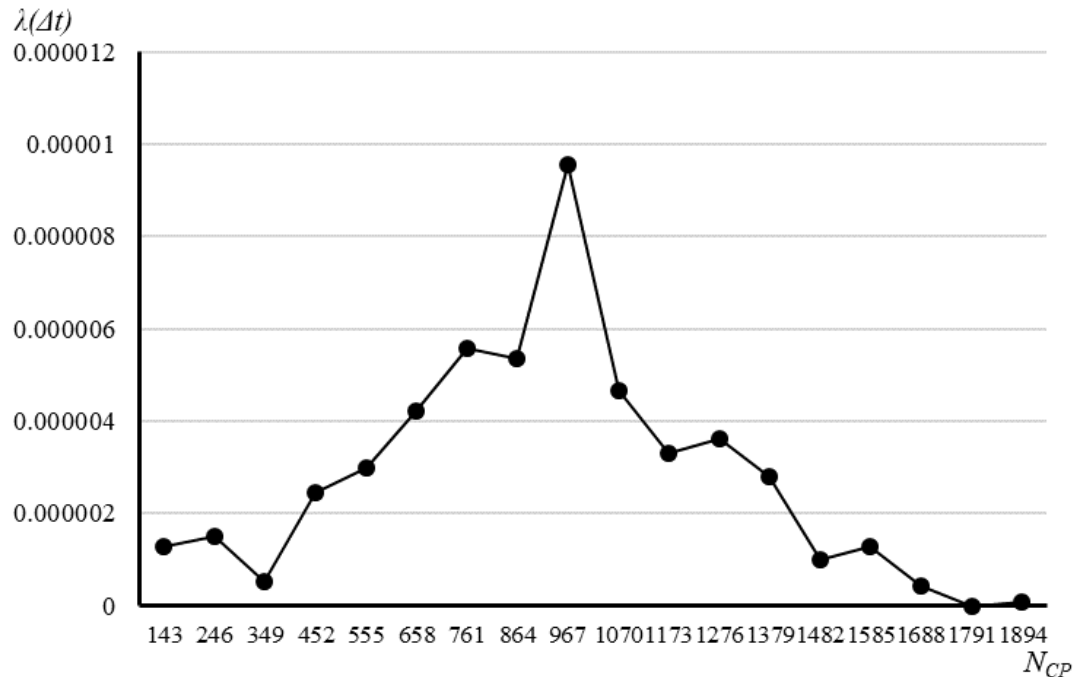


Рисунок - 3.7 Графік зміни інтенсивності відмов $\lambda(\Delta t)$ залежно від напрацювання

На графіку зміни інтенсивності відмов, зображеному на рис. 3.7. можна виділити три основні етапи, що відображають процес експлуатації загалом.

Перший етап, який також називається етапом припрацювання, характеризується збільшенням інтенсивності відмов у початковий період експлуатації. Причиною зростання інтенсивності відмов на цьому етапі є приховані дефекти виробничого характеру.

Другий етап, чи період нормальної роботи, характеризується прагненням інтенсивності відмов до постійного значення. Протягом цього періоду можуть виникати випадкові відмови у зв'язку з появою раптової концентрації навантаження, що перевищує межу міцності елемента або цілої системи.

Третій етап, так званий період форсованого старіння. Характеризується виникненням зносних відмов. Подальша експлуатація елемента без його заміни стає економічно не раціональною.

4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЗАХИСТ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

4.1 Аналіз і характеристики виробничих шкідливостей і небезпек

Небезпечний виробничий фактор – виробничий фактор, вплив якого на робітника в певних умовах приводить до травми або іншого раптового різкого погіршення здоров'я.

Шкідливий виробничий фактор – фактор, вплив якого на працюючого в певних умовах приводить до професійного захворювання або зниження працездатності.

Небезпечні і шкідливі виробничі фактори за природою їх впливу на організм людини розподіляються на фізичні, хімічні, біологічні, психологічні.

Працюючим приходиться працювати при впливі численних небезпечних і шкідливих виробничих факторів. Аналіз і характеристики цих факторів зводимо в табл. 4.1.

Таблиця 4.1 – Небезпечні і шкідливі виробничі фактори

№ п/п	Назва шкідливого або небезпечного фактора	Коротка характеристика фактора	Де можуть виникнути	Вплив на людину і наслідки
1	2	3	4	5
1.	Машини і механізми, що рухаються	Транспортні засоби, автотранспортувачі і ін.	Територія, стоянки автомобілів, головний корпус	Травми
2.	Рухома частина виробничого обладнання	Верстати, вантажопідйомні механізми і ін.	Головний виробничий корпус, цехи	Травми
3.	Ураження електрострумом	Струм, коли проходить через тіло людини, викликає термоелектричні і біологічні дії	Ділянки і цехи, верстати, освітлювальне обладнання	Опіки, розклад крові, збудження, подразнення нервової системи, смерть

Продовження табл. 4.1

1	2	3	4	5
4.	Гострі крайки, заусенці і нерівності поверхні заготовок, інструменту, обладнання	Травмонебезпечні роботи	Жерстяні, верстатні, слюсарні роботи	Порізи, проколи, стирання шкіри
5.	Підвищена запиленість і загазованість повітря робочої зони	Пил, зважені частки в повітрі, загазованість шкідливими газами	Цехи: ремонт рам, акумуляторний, зварювальний, моторний, вулканізації	Захворювання легень, отруєння, нудота, втомленість
6.	Підвищений рівень вібрації	Вібрація – механічні коливання тіл, яке проявляється в переміщенні центру ваги	Механічний, ковальський, ділянки: гайковерт, стискачі	Захворювання, утомлюваність

4.2 Розрахунок освітлення

Для освітлення виробничих приміщень використовують два його види: штучне і природне. Штучне освітлення здійснюється, переважно, газорозрядними лампами. Лампи розжарювання рекомендуються при неможливості чи техніко-економічній недоцільності використання газорозрядних ламп.

Методика розрахунку штучного освітлення передбачає спочатку розрахунок загального освітлення за даними додатку 25 [3], а потім комбінованого, яке являє собою суму місцевого і загального освітлення.

Розрахунок загального освітлення виконують в основному методом коефіцієнта використання світлового потоку за формулою:

$$F = \frac{E \cdot S \cdot K \cdot Z}{\eta n}, \quad (4.1)$$

де F – світловий потік для вибраного типу ламп(додаток 27[3]), лм

E - норма освітленості (додаток 25[3]), лк;

S -площа приміщення, м²;

K - коефіцієнт запасу, $K = 1,3 \dots 1,5$ (менші значення для ламп розжарювання, більші - для газорозрядних ламп),

Z - коефіцієнт нерівномірності освітлення змінюється в межах Z - 1,1... 1,5 (у середньому 1,2),

η - коефіцієнт використання освітлювальної установки;

n - число ламп.

Для визначення коефіцієнту розраховують індекс приміщення:

$$i = \frac{ab}{H_c(a+b)}, \quad (4.2)$$

де a, b - відповідно довжина і ширина приміщення, м;

H_c - висота розміщення світильника над освітлювальною поверхнею, м (додаток 26 [3]).

При однаковому коефіцієнті відбиття стелі й стін, що дорівнює 0,7, коефіцієнт залежно від i має таке значення:

Індекс приміщення, i	0,5	1	2	3	4	5
Коефіцієнт використання світлового потоку	0,22	0,37	0,48	0,54	0,59	0,61

Число ламп, необхідних для освітлення виробничого приміщення, визначається за формулою

$$n = \frac{ESKZ}{F\eta}, \quad (4.3)$$

Розрахунок кількості необхідних ламп для загального освітлення приміщень по вибраному типу приведено в таблиці 4.2

Таблиця 4.2 – Результат розрахунку необхідної кількості ламп

Приміщення по виду робіт	Параметри прим-ня			Дані для розрахунку по формулі (6.1; 6.2; 6.3)					Кількість ламп	Тип і потужн. лампи
	дов-на	шир-на	площа	$H_c, \text{ м}$	i	η	$E, \text{ лк}$	$F, \text{ лм}$		
	$a, \text{ м}$	$b, \text{ м}$	$S, \text{ м}^2$							
Зона ЩО	7	4,9	34	4,2	0,7	0,28	200	4070	10	ЛД-80
Зона ТО	32	14,4	462	4,2	2,4	0,48	200	4070	79	ЛД-80
Зона ПР	30	15,4	462	4,2	2,4	0,48	200	4070	79	ЛД-80
Зварювальний пост	21	6,2	130	4,2	1,1	0,37	200	4070	29	ЛД-80
Агрегатна	8	5,8	46	4,2	0,8	0,31	200	4070	12	ЛД-80
Слюсарно-механічна	6	4	24	3,0	0,8	0,31	300	4070	10	ЛД-80
Електротехнічна та паливна	6	5	30	3,0	0,9	0,34	300	4070	11	ЛД-80
Акумуляторна	5	1,6	8	3,0	0,4	0,18	200	4070	4	ЛД-80
Шиномонтажна	5	5	25	3,0	0,8	0,31	200	4070	7	ЛД-80
Ковальсько-ресорна	6	3,8	23	3,0	0,8	0,31	300	4070	9	ЛД-80
Мідницька	6	1,7	10	3,0	0,4	0,18	300	4070	7	ЛД-80
Зварювальна	6	2,5	15	3,0	0,6	0,25	300	4070	7	ЛД-80
Жерстяницька	5	2	10	3,0	0,5	0,22	200	4070	4	ЛД-80
Арматурна, оббивна	5	1,8	9	3,0	0,4	0,18	300	4070	6	ЛД-80

Розрахунок місцевого освітлення полягає у визначенні потужності чи світлового потоку лампи. Для місцевого освітлення використовують переважно лампи розжарювання, світловий потік якої може бути визначений за формулою:

$$F = \frac{1000h^2 E}{\xi}, \quad (4.4)$$

де h - відстань лампи до освітлювальної поверхні, м;

E - нормативна освітленість, лк;

ξ - показник, який вибирається за графіком [3] залежно від h і відстані d від перпендикулярного променя на освітлювальну поверхню до освітлювальної точки. За значенням F вибирають лампу розжарювання (додаток 27[3]).

Результат розрахунку світлового потоку і відповідно вибраного типу ламп приведено в таблиці 4.3.

Таблиця 4.3 – Результат розрахунку місцевого освітлення

Приміщення по виду робіт	Дані для розр. формула 6.4			Св. потік F , лм	Тип і потужн. лампи розж. W , Вт
	h , м	E , лк	ξ		
Зона ЩО	0,6	100	100	360	НБ-40
Зона ТО	0,6	100	100	360	НБ-40
Зона ПР	0,6	100	100	360	НБ-40
Зварювальний пост	0,6	100	100	360	НБ-40
Агрегатна	0,6	100	100	360	НБ-40
Слюсарно-механічна	0,6	450	100	1620	НГ-150
Електротехнічна та паливна	0,6	450	100	1620	НГ-150
Акумуляторна	0,6	300	100	1080	НБК-100
Шиномонтажна	0,6	450	100	1620	НГ-150
Ковальсько-ресорна	0,6	450	100	1620	НГ-150
Мідницька	0,6	300	100	1080	НБК-100
Зварювальна	0,6	300	100	1080	НБК-100
Жерстяницька	0,6	300	100	1080	НБК-100
Арматурна, оббивна	0,6	300	100	1080	НБК-100

Розрахунок природного освітлення полягає у визначенні площі світлових прорізів бокового чи вертикального освітлення. У проєкті визначають площу світлових прорізів при боковому освітленні за формулою

$$S = \frac{S_{II} I_H K_3 \eta_o}{100 \tau_o r_1} K_{\delta\delta}, \quad (4.5)$$

де S_{II} - площа підлоги приміщення, м²;

I_H - нормативне значення коефіцієнта природної освітленості;

K_3 - коефіцієнт запасу ($K_3 = 1,4 \dots 1,5$ - менші значення для приміщень з меншою запиленістю);

η_o - світлова характеристика вікон (додаток 28 [3]);

$K_{\delta\delta}$ - коефіцієнт урахування затінення протистоячими будинками, визначається залежно від відстані до протилежної будівлі (P) до висоти розміщення карнизу протилежної будівлі над підвіконником будівлі, що розглядається ($H_{\delta\delta}$):

при $P / H_{\delta\delta} = 0,5$ $K_{\delta\delta} = 1,7$; при $P / H_{\delta\delta} = 1,0$ $K_{\delta\delta} = 1,4$;

при $P / H_{\delta\delta} = 1,5$ $K_{\delta\delta} = 1,2$; при $P / H_{\delta\delta} = 2,0$ $K_{\delta\delta} = 1,1$;

при $P / H_{\delta\delta} = 3$ і більше $K_{\delta\delta} = 1$.

τ_o - загальний коефіцієнт світлопропускання, $\tau_o = 0,63$;

r_1 - коефіцієнт урахування підвищення освітленості при боковому освітленні,
 $r_1 = 1,05 \dots 1,3$.

Нормоване значення I_n вибирають із додатку 29[3], де розряд зорової роботи відповідає зонам додатку 25[3].

Результат розрахунку природного освітлення і відповідні площі прорізів вікон приведено в таблиці 4.4.

Таблиця 4.4 – Результат розрахунку природного освітлення

Приміщення по виду робіт	Розряд зорової роботи	Дані для розрахунку (формула 6.5)							Площа вікна
		I_n	$S, \text{ м}^2$	η_e	K_z	τ_e	r_1	K_{60}	$S_e, \text{ м}^2$
Зона ЩО	Va	0,6	34	9,5	1,4	0,63	1,2	1	4
Зона ТО	Va	0,6	462	9,5	1,4	0,63	1,2	1	49
Зона ПР	Va	0,6	462	9,5	1,4	0,63	1,2	1	49
Зварювальний пост	Va	0,6	130	9,5	1,4	0,63	1,2	1	14
Агрегатна	Va	0,6	46	9,5	1,4	0,63	1,2	1	5
Слюсарно-механічна	I Va	0,9	24	9,5	1,4	0,63	1,2	1	4
Електротехнічна та паливна	I Va	0,9	30	9,5	1,4	0,63	1,2	1	5
Акумуляторна	Va	0,6	8	9,5	1,4	0,63	1,2	1	1
Шиномонтажна	Va	0,6	25	9,5	1,4	0,63	1,2	1	3
Ковальсько-ресорна	I Va	0,9	23	9,5	1,4	0,63	1,2	1	4
Мідницька	I Vб	0,9	10	9,5	1,4	0,63	1,2	1	2
Зварювальна	I Vб	0,9	15	9,5	1,4	0,63	1,2	1	2
Жерстяницька	Va	0,6	10	9,5	1,4	0,63	1,2	1	1
Арматурна, оббивна	Va	0,6	9	9,5	1,4	0,63	1,2	1	1

4.3 Вплив автомобільного транспорту на навколишнє середовище

Під шкідливістю автомобільного транспорту розуміють рівень його негативного впливу на населення, виробничий персонал і навколишнє природне середовище.

Джерелами негативного впливу автомобільного транспорту на навколишнє середовище є:

- токсичні відпрацьовані гази;
- токсичні картерні гази;

- випаровування палива, мастил, кислот;
- насичення продуктами зношення автошин;
- спрацьовані деталі машин і т.д.;
- забруднення виробничих приміщень під час технічного обслуговування, ремонту і зберігання автомобілів;
- забруднення води, ґрунту під час щоденного обслуговування;
- споживання кисню для процесу згорання;
- шум під час руху автомобіля.

Токсичність відпрацьованих газів визначається наявністю в них шкідливих компонентів, а також тетраетилсвинцю під час використання етильованого бензину (для бензинових двигунів).

З відпрацьованими газами в навколишнє середовище викидається близько 1200 елементів і їх сполук, з яких розшифровано не більше 200. Відпрацьовані гази складаються з нешкідливих речовин (пари води, вуглекислий газ, кисень, азот, водень і інші), а також великої кількості шкідливих речовин, основний склад яких наведено у таблиці 4.5.

Таблиця 4.5 – Основний склад шкідливих речовин у відпрацьованих газах

№ п/п	Компонент	Вміст, % (за об'ємом) у відпрацьованих газах		Примітка
		Бензиновий двигун	Дизельний двигун	
1.	Оксид вуглецю	1-10	0,02-0,5	токсичний
2.	Оксиди азоту	0-0,8	0,001-0,4	токсичний
3.	Вуглеводні	0,2-3,0	0,01-0,5	токсичний
4.	Альдегіди (акролоїн)	0,02	0-0,09	токсичний
5.	Оксиди сірки	0,2-0,002	0-0,03	токсичний
6.	Сірка	0,008	0,08	токсична
7.	Сажа, г/м ³	0,05	0,01-1,5	канцерогенний
8.	Бенз-α-пирен, мг/м ³	до 0,02	до 0,01	високотоксичний

Всі ці ознаки, якщо на них не звернути уваги, можуть призвести до смерті. Оксид вуглецю особливо шкідливий для водіїв тому, що при отруєнні знижується реакція водія, особливо зорова.

Для нормування шкідливих викидів транспортних засобів в умовах експлуатації використовуються наступні нормативні документи.

Норми вмісту шкідливих речовин у відпрацьованих газах бензинового двигуна згідно ГОСТ 17.2.2.03-87 наведено у таблиці 4.6.

Таблиця 4.6 – Норми вмісту шкідливих речовин

Режим перевірки	Оксид вуглецю, %	Вуглеводні, млн. ⁻¹	
		до 4-х циліндрів	більше 4-х циліндрів
Мінімальна частота обертання колінчатого валу в режимі х.х.	1,5	1600	3000
Підвищена частота обертання колінчатого валу в режимі х.х.	2,0	600	1000

При перевірці вмісту оксиду вуглецю органами ДАІ в режимі мінімальної частоти обертання колінчатого валу двигуна допускається вміст оксиду вуглецю до 3%.

Стандарт передбачає перевірку димності в двох режимах:

- 1) вільного прискорення;
- 2) максимальної частоти обертання колінчатого валу в режимі холостого ходу.

Ці режими легко відтворити в умовах експлуатації без будь-якого спеціального обладнання за винятком димомірів (приладів для вимірювання димності відпрацьованих газів).

Норми димності відпрацьованих газів дизелів транспортних засобів згідно ДСТУ 21393-95 наведені у таблиці 4.7.

Таблиця 4.7 – Норми димності відпрацьованих газів дизелів транспортних засобів

Режим перевірки	Димність звичайних дизелів, %	Димність дизелів з турбонадувом, %
Вільного прискорення	40	50
Максимальної частоти обертання в режимі холостого ходу	15	15

Але на автомобільному транспорті джерелом забруднення навколишнього середовища є не тільки автомобілі, а і виробництво по технічному обслуговуванню і ремонту автомобілів.

Основними джерелами викидів на ремонтних підприємствах є:

1) Акумуляторна дільниця. При виконанні робіт на цій дільниці мають місце такі шкідливі компоненти:

- пари сірної і соляної кислот;
- сірчаний ангідрид;
- водневі сполуки та інші компоненти.

2) Зварювальна дільниця. Вміст шкідливих викидів наступний:

- тверді і газоподібні компоненти, до яких відносяться зварювальний аерозоль у складі марганцю та його оксидів; оксид хрому; сполуки кремнію; фтористий водень; оксиди азоту і вуглецю.

3) Ковальсько-ресорна дільниця. Вміст шкідливих речовин залежить від складу пального або енергії, що використовується для ковальських горнів. До основних шкідливих речовин відносяться:

- оксид вуглецю;
- оксид азоту;
- оксид сірки;
- пари мастил;

- хлористий водень;
- аерозолі солей і золи;
- пил.

4) Малярна дільниця. Склад і маса забруднюючих речовин при фарбуванні залежить від кількості та складу використаного матеріалу, способу їхнього нанесення і сушіння. Основними шкідливими речовинами є:

- аерозолі фарб;
- пари фарборозчинників (хлорбензол, спирти, толуол і інші);
- інгредієнти плівкоутворюючих речовин та інші речовини.

5) Мідницько-радіаторна дільниця. Вміст шкідливих речовин залежить від виду технологічної підготовки відтворюваної поверхні:

- механічної (очистка, шліфування, полірування);
- розчинна (травлення, знежирювання, хромування);
- нанесення гальванічних та хімічних покриттів, паяння.

При цьому мають місце наступні шкідливі речовини:

- кальцинована сода;
- фосфати;
- сірчана, азотна і фосфорна кислоти;
- аерозолі; хлориди і інші речовини.

4.4 Заходи по зменшенню шкідливого впливу автомобілів та виробничо-технічної бази ремонтного підприємства на навколишнє середовище

Для контролю екологічних та економічних показників автомобілів на автотранспортних підприємствах створюються контрольні-регулювальні пости (КРП), основним завданням яких є випуск на лінію автомобілів з вмістом токсичних компонентів, димності відпрацьованих газів (ВГ) та витрати палива в межах встановлених норм [27]. Це досягається шляхом усунення технічних

несправностей, які впливають на екологічні та економічні показники автомобіля, шляхом регулювання або заміни несправних елементів систем живлення або запалювання двигуна.

Контроль потрібно здійснювати:

- при експлуатації автомобілів не рідше, ніж при ТО-2;
- після ремонту агрегатів, систем і вузлів, які впливають на вміст шкідливих речовин (зокрема оксиду вуглецю, вуглеводнів і сажі);
- по заявкам водіїв.

Для виконання робіт контрольно-регулювальні пости обладнуються спеціальним обладнанням, до якого відноситься: газоаналізатор, тахометр, димомір, мотортестери, дизельтестери та інше. Все обладнання повинно відповідати вимогам, які висуваються при його експлуатації. При вимірі вмісту шкідливих речовин у ВГ показник повинен знаходитися у межах, наведених нормативно-правовими документами.

5. ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

Собівартість – це грошовий вираз затрат праці і витрат матеріальних засобів на одиницю роботи.

Собівартість ТО на ПТО розраховують за формулою:

$$C_{пто} = Z_p + C_m + P_{тр} + A_{ос} + H_n \quad (5.1)$$

де, Z_p - заробітна плата з нарахуванням робітникам, грн.

C_m - вартість матеріалів і запасних частин, грн.

$P_{тр}$ - затрати на ПР і ТО

$A_{ос}$ - амортизаційні відрахування на основне технологічне обладнання;

H_n - загальновиробничі накладні витрати.

Основну заробітну плату виробничих процесів працівників визначають по формулі:

$$Z_o = G_{год} \cdot T_n \quad (5.2)$$

де: $G_{год}$ - годинна ставка працівників

T_n - норма часу

Годинна ставка працівників з тарифних ставок наведена в табл. 5.1

Таблиця 5.1 Тарифні ставки (2023)

Розряд роботи	1	2	3	4	5	6
Погодинна ставка	78	83,6	63,6	105,3	120	129,48

Підставивши значення у формулу (5.2) отримаємо

Операція 005 виконує слюсар 4 розряду

$$Z_{o1} = 0,46 \cdot 105,3 = 48,44 \text{ грн.}$$

Операція 010 виконує діагност 6 розряду

$$Z_{o2} = 0,23 \cdot 129,48 = 29,78 \text{ грн.}$$

Операція 015 виконує діагност 5 розряду

$$Z_{o3} = 0,25 \cdot 120 = 30 \text{ грн.}$$

Операція 020 виконує діагност 6 розряду

$$Z_{o4} = 0,2 \cdot 129,48 = 25,9 \text{ грн.}$$

Загальну заробітну плату визначають по формулі:

$$Z_o = Z_{o1} + Z_{o2} + Z_{o3} + Z_{o4} \quad (5.3)$$

$$Z_o = 48,44 + 29,78 + 30 + 25,9 = 134,12 \text{ грн.}$$

Додаткову заробітну плату розраховуємо в процентах від основної і залежно від тривалості відпустки, яка становить 6,57%.

Тоді додаткову заробітну плату визначаємо за формулою:

$$Z_d = Z_o \cdot P / 100 \quad (5.4)$$

Підставивши значення у формулу (6.4) отримаємо

$$Z_d = 134,12 \cdot 6,57 / 100 = 8,81 \text{ грн.}$$

Відрахування у пенсійний фонд, на соціальне страхування і безробіття беруться у розмірі 37,2% від основної і додаткової оплати.

$$H_{соц} = 0,372 \cdot (Z_o + Z_d) \quad (5.5)$$

Підставивши значення у формулу (6.5) отримаємо:

$$H_{соц} = 0,372 (134,12 + 8,81) = 53,17 \text{ грн.}$$

Заробітну плату, з нарахуванням персоналу визначаємо по формулі:

$$Z_p = Z_o + Z_d + H_{соц} \quad (5.6)$$

$$Z_p = 134,12 + 8,81 + 53,17 = 199,1 \text{ грн.}$$

Вартість матеріалів, які використовувались під час ТО і діагностування подаємо в табл. 5.2.

Таблиця 5.2 Відомість обліку матеріалів

Назва матеріалу	Одиниці виміру	Кількість	Ціна, грн.	Сума, грн..
Дизельне паливо	кг	2	48	96
Моторне масло	кг	5	313	1565
Вітош	кг	0,5	25	12,5
Всього				1673,5

Амортизаційні відрахування по основним засобам ТО:

$$A_{oc} = 0,01 B_{об} (L_{np} + L_{то}) \quad (5.7)$$

де: $B_{об}$ - балансова вартість обладнання;

L_{np} ; $L_{то}$ - норми відрахувань на ПР і ТО; де $L_{np}=14\%$

$$B_{об} = 86940 \text{ грн.}$$

Підставивши значення у формулу (5.7) отримаємо:

$$A_{oc} = 0,01 \cdot 86940 \cdot 14 = 12171 \text{ грн.}$$

Витрати на ПР і ТО основних засобів визначаються по формулі:

$$P_n = B_{об} \cdot N_{np} \quad (5.8)$$

де: N_{np} - норма відрахувань на ПР і ТО = 18%.

Підставивши значення у формулу (5.8) отримаємо:

$$P_n = 86940 \cdot 0,18 = 15649 \text{ грн.}$$

Накладні витрати беруться у розмірі 8...22% від прямої заробітної плати.

$$H_n = 0,2(3_o + 3_{од}) \quad (5.9)$$

Підставивши значення у формулу (5.9) отримаємо:

$$H_n = 0,2 \cdot (134,12 + 8,81) = 29 \text{ грн.}$$

Підставивши значення у формулу (5.1) отримаємо

$$C_{нто} = 199,1 + 1673,5 + 12171 + 28,59 = 14072 \text{ грн.}$$

ВИСНОВКИ І ПРОПОЗИЦІЇ

Теорія ймовірності та математичної статистики є одним з найважливіших методів розвитку техніки та інженерних спеціальностей. Комплекс інженерних наук в значній мірі побудований і розвивається на імовірнісно-статистичній базі, і без відповідної підготовки неможливо його повноцінне існування. Математична статистика використовує математичний апарат та висновки теорії ймовірностей, вивчає математичні методи систематизації, обробки та використання статистичних даних для наукових та практичних висновків. Сучасна математична статистика розробляє способи визначення кількості необхідних випробувань на початок дослідження (планування експерименту), під час дослідження (послідовний аналіз) і вирішує багато інших завдань.

Графічний аналіз гістограми (рис.3.1) та полігону (рис.3.2) дозволяє зробити певні висновки. По-перше, сумарна кількість автомобілів, що відмовили розподілено нерівномірно, по-друге, зі зростанням відмов відповідна кількість машин спочатку до певного рівня зростає, а потім зменшується, по-третє, найбільша кількість відмов відповідає інтервалу пробігу з 915 до 1018. Звичайно ці висновки можна отримати і під час аналізу самих цифрових даних. Однак при аналізі цифрових даних окремі моменти, що характеризують розподіл даних, можуть бути втрачені.

Розрахунок показує, як у середньому варіюють окремі варіанти ознаки навколо середньої. Однак інтерпретувати отриману величину досить важко, оскільки вона має одиницю виміру у квадраті. Щоб обійти цей момент, використовується середнє відхилення або стандартне відхилення.

Розглянуті моделі надійності систем вказують про мінімальність ознаки варіації щодо середньоарифметичної, оскільки середньоарифметична є типовою величиною.

При аналізі статистичних рядів розподілу, близьких до нормального розподілу існує залежність між величиною стандартного відхилення і кількістю одиниць сукупності. Наприклад, у межах розташовується 8 % одиниць сукупності, у межах -10 %, у межах -20 %. Остання умова ще називається правилом трьох сигм. Таким чином, знаючи стандартне відхилення, ми можемо уявити, як розподілені одиниці сукупності навколо середньої. Звідси, що менше стандартне відхилення, тим паче концентровано розподілені одиниці сукупності навколо середньої, тим однорідніше сукупність, тим середня вагомніше відбиває типову величину сукупності.

Порівнюючи коефіцієнти варіації кількості та відмов можна сказати, що у автомобілів Volvo варіація по середніх відмовах дуже незначна (3,38 %), варіація ж кількості відмов по автомобілях вища (19,12%). Водночас показники кажуть, що сукупність (відмов) за кожною ознакою є досить однорідною.

Отримане значення ексцесу свідчить, що щільність розподілу відмов (варіант) навколо середньої нижче щільності розподілу випадкової величини навколо середньої нормального розподілу. Тобто розкид відмов щодо середнього кількості відмов відносно великий, що говорить про певну їх диференціацію між машинами (тобто про неоднорідність одиниць сукупності).

Слід зазначити, що використання асиметрії та ексцесу підвищує ефективність аналізу процесів при зіставленні рядів розподілу у часі та просторі. Це дозволяє виявити зміни та вжити заходів для нейтралізації негативних процесів. Наприклад, збільшення розмаху варіації та зменшення ексцесу буде говорити про посилення диференціації показника, що не завжди сприятливо. Стійкість асиметрії у часі говоритиме про незмінність факторів, що формують цей коефіцієнт. Оцінка цього моменту залежатиме від цілей аналізу.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Канарчук В. Є. Надійність машин : Підручник / В.Є. Канарчук, С.К. Полянський, М.М. Дмитрієв. Київ. Либідь, 2003. 424 с.
2. Кравченко И.Н. Основи надійності машин: Навчальний посібник для вузів / И.Н. Кравченко, В.А. Зорін, Е.А. Пучін, Г.И. Бондарева. Частина I. Київ.: 2007. 224с.
3. Кравченко И.Н. Основи надійності машин: Навчальний посібник для вузів / И.Н. Кравченко, В.А. Зорін, Е.А. Пучін, Г.И. Бондарева. Частина II. К. : 2007. 260с.
4. Лімонт А.С. Теоретичні основи забезпечення працездатності машин : Навч. посіб. / А.С, Лімонт. Держ. агроєколог. ун – т. Житомир, 2008. 420 с.
5. Острейковский В.А. Теория надежности : Посібник для вузів / В.А. Острейковский. Київ. Вища школа, 2003. 463 с.
6. Погорілий Л.В. Випробування сільськогосподарської техніки: науково – методичні засади оцінки та прогнозування надійності сільськогосподарських машин / Л.В. Погорілий, В.Я. Анілович. Київ. Фенікс, 2004. 208 с.
7. Дорохов А.Н. Забезпечення надійності складних технічних систем: Підручник / А.Н. Дорохов, В.А. Керножицький, А.Н. Миронов и др. СПб. : Лань. 2011. 352 с.
8. Шишмарев В.Ю. Надійність технічних систем: підручник для студ. вищих навч. закладів / В.Ю. Шишмарев. М. : Видавничий центр «Академія», 2010. 304 с.
9. Лімот А.С. Теоретичні основи забезпечення працездатності машин : навч. посіб. / А.С. Лімот. Житомир. Держ. агроєколог. ун-т, 2008. 410 с.
10. Ільченко В.Ю. Експлуатація МТП в аграрному виробництві / Ільченко В.Ю., Карасьов П. Т., Лімот А.С. та ін. Київ. Урожай, 1993. 288 с.
11. Агулов І.І. Довідник по технічному обслуговуванню сільськогосподарських машин / Агулов І.І., Вознюк Л.Ф., Левчій О.В. Київ. Урожай, 1989. 256 с.

12. Козаченко О.В. Технічна експлуатація сільськогосподарської техніки / О.В. Козаченко. Харків. Торнадо, 2000. 192 с.
13. Козаченко О.В. Практикум з технічної експлуатації сільськогосподарської техніки : Монографія / Козаченко О. В., Сичов І. П. та ін. ; за ред. О.В. Козаченка. Харків. Торнадо. 2001. 374 с.
14. Технологія технічного обслуговування машин : [навч. посіб. для студентів інжен. спец. зі спеціалізації «Технічний сервіс на осв. кваліф. рівні «Спеціаліст», «Магістр»] / І.М. Бендера, С.М. Грушецький, П.І. Роздорожнюк, Я.М. Михайлович. Кам'янець-Подільський. ФОП Сисин О.В., 2010. 320 с.
15. Грушецький С.М. Технологія технічного обслуговування машин : навч.-мет. компл. для студентів інжен. спец. зі спеціалізації «Технічний сервіс» на осв.-кваліф. рівні «Спеціаліст», «Магістр» / Грушецький С.М. Кам'янець-Подільський. ФОП Сисин О.В., 2012. 400 с.
16. Канарчук В. Є. Надійність машин : Підручник / В.Є. Канарчук, С.К. Полянський, М.М. Дмитрієв. Київ. Либідь, 2003. 424 с.
17. Лімонт А.С. Теоретичні основи забезпечення працездатності машин : Навч. посіб. / А.С. Лімонт. Держ. агроєколог. ун – т. Житомир, 2008. 420 с.
18. Погорілій Л.В. Випробування сільськогосподарської техніки: науково – методичні засади оцінки та прогнозування надійності сільськогосподарських машин / Л.В. Погорілій, В.Я. Анілович. Київ Фенікс, 2004. 208 с.
19. Булей І.А. Проектування підприємств з виробництва і ремонту сільськогосподарських машин. Київ. Вища школа. 1993.
20. Гряник Г.М. Охорона праці. Київ. Урожай, 1994.
21. Зерхалов Д.В., Береславський М.Л. Обладнання для технічного обслуговування і ремонту машин. Довідник. Київ. Урожай, 1991.
22. Злобін Ю.А. Основи екології. Київ Лібра, 1998.
23. Лехман С.Д. Запобігання аварійності і травматизму у сільському господарстві. Київ. Урожай. 1993.

24. Ремонт машин. Методичні поради до курсового та дипломного проектування: У 2 – х частинах / За заг. ред. академіка О.Д. Семковича. Частина 2. Львів. держ. агр. ун-т, 1997. 150с.

25. Семкович О.Д. Визначення параметрів ремонтної технологічності. Організаційно-технологічна взаємодія підприємств АПК в процесі ремонту сільськогосподарської техніки // Збірник наукових праць. Львів: Львівський с-г інститут, 1991.

26. Методика визначення економічної ефективності витрат на наукові дослідження і розробки та їх впровадження у виробництво: Затв. Наказом Міністерства економіки та з питань європейської інтеграції та Міністерством фінансів України за № 218/446 від 26.09.01.

27. Технічна експлуатація та надійність автомобілів : навчальний посібник / Є. Ю. Формальчик, М. С. Оліскевич, О. Л. Мاستикаш, Р. А. Пельо. Львів. Афіша, 2004. 492 с.

28. Канарчук В. Є. Виробничі системи на транспорті : підручник / В. Є. Канарчук, П. П. Куртков. Київ. Вища школа, 1997. 359 с.

29. Канарчук В. Є. Основи технічного обслуговування і ремонту автомобілів : підручник / В. Є. Канарчук, О. А. Лудченко, А. Д. Чигиринець. Київ. Вища школа, 1994. (У 3-х кн.): Кн. 1: Теоретичні основи: Технологія. 342 с.; Кн. 2: Організація, планування і управління. 383 с.; Кн. 3: Ремонт автотранспортних засобів. 599 с.

30. Лудченко О. А. Технічне обслуговування і ремонт автомобілів : підручник / Лудченко О. А. Київ. Знання-Прес, 2003. 511 с.

31. Надійність техніки. Терміни і визначення: ДСТУ 2860:1994. Київ. Держстандарт України, 1994. 36 с. (Національні стандарти України).

32. Положення про технічне обслуговування і ремонт дорожніх транспортних засобів автомобільного транспорту. Київ. Мінтранс України, 1998. 16 с.