

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Запорізький національний технічний університет

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

**до вивчення дисципліни «Надійність технічних систем»
та виконання контрольної роботи для студентів
спеціальності 133 – Галузеве машинобудування
(Колісні та гусеничні транспортні засоби)
усіх форм навчання**

Методичні вказівки до вивчення дисципліни «Надійність технічних систем» та виконання контрольної роботи для студентів спеціальності 133 – Галузеве машинобудування (Колісні та гусеничні транспортні засоби) усіх форм навчання. / Укл. : В. І. Кубіч. Запоріжжя : ЗНТУ, 2019. 70 с.

Укладач:	Кубіч В.І., канд. техн. наук, доцент
Рецензент:	Слюсаров О.С, канд. техн. наук, доцент
Відповідальний за випуск:	Решетняк О.В., провідний фахівець

Затверджено
на засіданні кафедри
«Автомобілі»
Протокол № 8
від «22» лютого 2019 р.

Рекомендовано до видання
НМК Транспортного факультету
Протокол № 72
від «15» березня 2019 р.

ЗМІСТ

	Стор.
Вступ	5
1 Мета, завдання навчальної дисципліни, компетентності магістрантів.....	8
2 Тематика програми навчальної дисципліни.....	10
2.1 Тема 1. Вступ.....	10
2.2 Тема 2. Надійність. Основні поняття.....	10
2.3 Тема 3. Поняття теорії ймовірності щодо визначення показників надійності технічних систем.....	13
2.4 Тема 4. Система збору та обробки інформації відносно надійності технічних систем.....	17
2.5 Тема 5. Розрахунок технічних систем на надійність.....	18
2.6 Тема 6. Мета, основні задачі прогнозування надійності технічних систем.....	20
2.7 Тема 7. Загальна характеристика методів прогнозування надійності технічних систем.....	21
2.8 Тема 8. Надійність технічних систем при випробуваннях.....	23
2.9 Тема 9. Оцінка якості прогнозування надійності технічних систем.....	25
2.10 Тема 10. Забезпечення надійності технічних систем на стадіях виробництва й експлуатації.....	28
3 Вказівки до оформлення контрольної роботи.....	30
4 Завдання № 1. Розрахунок одиничних показників надійності двигунів	31
5 Завдання № 2. Графічна інтерпретація розподілу ймовірностей експериментальних даних щодо надійності двигунів	36
6 Завдання № 3. Виявлення напрямків вдосконалення технічного рівня елементів конструкції транспортного засобу на підставі патентної інформації.....	41
7 Завдання № 4. Визначення ресурсу агрегату автомобіля на прогнозований період часу.....	46

8	Завдання № 5. Прогнозування витрати часу на обслуговування транспортного засобу з визначеною потужністю.....	52
	Рекомендована література.....	58
	Інформаційні ресурси.....	59
	Додаток А. Вихідні дані для завдання № 1 (задачі 1-3).....	60
	Додаток Б. Вихідні дані для завдання № 2.....	61
	Додаток В. Значення нормованої функції розподілення $F_0(z)$	64
	Додаток Г. Значення щільності розподілення нормованої функції $\varphi(z)$	65
	Додаток Д. Приклад оформлення титульного листа до контрольної роботи.....	66
	Додаток Е. Приклад оформлення змісту контрольної роботи.....	67
	Додаток Ж. Приклад оформлення виконаного завдання.....	68

ВСТУП

Надійність технічних систем – вимога сучасної епохи.

Найчастіше про надійність виробів машинобудування згадують коли йдеться про якість. Під якістю виробів розуміють сукупність властивостей, що визначають ступінь їх придатності для використання за призначенням.

Складність проблеми якості полягає в тому, що вона є комплексною: технічною, економічною і соціальною. Стосовно технічних систем, наприклад, автомобілів та тракторів, які у загальному розумінні є собою, насамперед, машинами спрямованого призначення, усі показники якості можна умовно поділити на сім основних груп: призначення; технологічності; надійності; патентно-правові; стандартизації; ергономічні; естетичні.

Для того щоб оцінити якість будь-якої технічної системи (ТС) повністю, треба знати не лише показники потужності, продуктивності, швидкості та інші, а й здатність її як найдовше зберігати ці показники під час використання за призначенням.

Як прикладна галузь знань наука про надійність базується на фундаментальних математичних та природничих науках. Тут використовуються теорія ймовірностей, фізико-хімічна механіка, в тому числі теорія тертя та зношування, розділи динаміки та міцності машин, залучаються ідеї автоматичного регулювання та кібернетики, розвиваються положення теорії технологічних процесів і діагностики.

Особливе значення для науки надійності має питання про застосування математичного апарата для залучення вже розроблених або створених на запити практики нових методів, що дають змогу оцінити та прогнозувати надійність виробів і складних систем.

Математичні методи теорії надійності отримали досить широкого розвитку і надають інженеріві широких можливостей для розв'язування різноманітних завдань на практиці. Так, на основі теорії ймовірностей та математичної статистики, а також суміжних з ними дисциплін створені й розробляються спеціальні методи розрахунку, які пов'язані з основними аспектами проблеми надійності виробів. Однак, як справедливо зазначав академік Б.В. Гнеденко, математика є лише засобом дослідження та розрахунку, це – інструмент, ефективність використання якого залежить від ступеня відповідності його

можливостей поставленому завданню, він мусить враховувати специфіку виникнення та усунення відмов [3].

В основі досліджень має бути інженерна проблема, і для її розв'язування слід залучати науковий апарат, який найбільше відповідає природі виробу, що вивчається.

Головним є вивчення тих процесів, які призводять до зміни початкових показників якості ТС та їхніх елементів. Ці процеси, підпорядковуючись певним фізичним закономірностям, мають стохастичну природу, вступають у різноманітні взаємодії і виявляють складний зв'язок зі зміною вихідних параметрів виробу. Розкриття цих зв'язків можливе на основі функціональних залежностей із залученням теорії ймовірностей та теорії випадкових процесів, методів оптимізації, теорії інформації, математичної логіки та інших розділів математики.

Отже, для науки про надійність ТС характерними є поєднання ймовірнісних методів, оцінка процесів зміни параметрів якості з виявленням детермінованих закономірностей процесів старіння та руйнування, а також оцінка виробництва машин і таких методів експлуатації, що визначають їхню працездатність. Її завдання – дати методи розрахунку машин та їхніх елементів, зумовити забезпечення потрібних показників надійності. При цьому має бути враховано ймовірнісну природу процесів руйнування матеріалів виробу [3].

Теоретичною основою науки про надійність є результати досліджень природничих наук, що вивчають фізико-хімічні процеси руйнування, старіння та зміни властивостей матеріалів, з яких виготовлені машини чи які потрібні для їхнього функціонування (паливо, олива, мастило, робоча рідина тощо). З огляду на надійність вивчення зміни, що відбуваються в матеріалах та їхніх поверхових шарах, отримали назву фізики відмов.

Фізика відмов вивчає необоротні процеси, що призводять до втрати матеріалами своїх початкових властивостей при експлуатації виробів. Часові закономірності фізики відмов є базою для розв'язання основних завдань надійності.

При розгляданні питань забезпечення надійності машин, як складних технічних систем, слід відповісти, насамперед, на два пов'язаних між собою запитання [3].

По-перше, чи є втрата машиною з часом своїх початкових характеристик обов'язковим процесом? Іншими словами, чи не краще створити абсолютно надійні машини, ніж вивчати їхню надійність?

По-друге, які філософські категорії та закономірності визначають аспект проблеми надійності?

Будь-яка машина, виконуючи певні функції, перебуває у взаємодії і з середовищем, і з людиною, що керує цією машиною. При цьому виникають різноманітні причинно-наслідкові зв'язки як форма виявлення загального універсального зв'язку явищ у природі. Накопичення якості різноманітної дії на машину призводить до еволюції її якісних показників і, згідно із законами діалектики, до можливості переходу в інший якісний стан. Тому зміни, що відбуваються в машині під час її експлуатації, є закономірним проявом важливої невід'ємної властивості всіх матеріальних об'єктів руху в його філософському розумінні, бо нічого незмінного в природі немає.

Людська діяльність може сповільнити небажані для нас зміни, зробити так, аби відхилення якісних показників ТС траплялося протягом потрібного часу в допустимих межах, але усунути їх повністю не можна.

В ТС діють усі види енергії: механічна, теплова, хімічна, електромагнітна, що зумовлюють у неї необоротні зміни.

ТС не можна ізолювати від впливу середовища, в якому вона діє, від впливу процесів, що відбуваються в ній самій при здійсненні робочих функцій, від дії залишкових напружень, які є наслідком технологічних процесів, що застосовуються при виготовленні машин.

У філософському розумінні *якість* – це невід'ємна від об'єкта сукупність ознак, які виражають його специфіку та відмінність від інших обертів чи явищ. Проте, оскільки використання будь-якої ТС за призначенням відбувається протягом певного, як правило, тривалого періоду часу, то під дією різноманітних факторів можуть змінюватися властивості, що визначають її якість. Тому надійність, що вивчає зміну показників якості з часом, є немовби динамікою якості, розгорткою в часі. При цьому кількісне накопичення необоротних процесів у машині проводить до якісних змін параметрів, що відбуваються в процесі експлуатації та підпорядковуються закону переходу кількості та якості. А це є підставою для розробки комплексу заходів щодо вдосконалення технічного рівня машин у відповідності з вимогами сьогодення.

Отже, дисципліна «Надійність технічних систем» є невід'ємною частиною освітнього процесу щодо підготовки магістрів за освітньою програмою «Колісні та гусеничні транспортні засоби».

1 МЕТА, ЗАВДАННЯ НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ, КОМПЕТЕНТНОСТІ МАГІСТРАНТІВ

Мета викладання дисципліни – формування у студентів системи наукових і професійних знань щодо застосування основних положень теорії надійності відносно впровадження заходів по забезпеченню безпосередньо надійності технічних систем у формі автомобілів, тракторів, їх складових при створенні дослідних зразків та здійснення заходів використанні за призначенням.

Завдання дисципліни – формування у магістрантів відповідних компетентностей згідно з освітньо-професійною програмою.

У результаті вивчення навчальної дисципліни студент повинен отримати загальні та фахові компетентності.

Загальні компетентності:

- здатність застосовувати інформаційні технології;
- здатність використовувати знання у практичних ситуаціях;
- здатність навчатися та оволодівати сучасними знаннями;
- здатність шукати, обробляти та аналізувати інформацію з різних джерел;
- здатність спілкуватися державною фаховою мовою як усно, так і письмово.

Фахові компетентності:

- здатність продемонструвати знання і розуміння основні положення теорії надійності щодо визначення показників безвідмовності та довговічності технічних систем та їх складових;
- здатність продемонструвати знання і розуміння структурних складових системи збору і обробки статистичної інформації про надійність транспортних засобів;
- здатність продемонструвати знання і розуміння загальну характеристику методів прогнозування показників надійності та особливості їх застосування;
- здатність розуміти і враховувати порядок застосування способів оцінки показників надійності;

- здатність здійснювати збір та обробку даних відносно змін параметрів якості структурних складових транспортних засобів на підставі патентних та інформаційно-технічних джерел;
- здатність графо-аналітично визначати закономірності зміни одиничних показників безвідмовності складових технічних систем;
- здатність визначати ресурс агрегатів автомобіля на прогнозований період часу;
- здатність прогнозувати витрату часу на обслуговування транспортного засобу з призначеною потужністю;
- здатність визначати можливий характер зміни показників надійності вузла, агрегату, системи транспортного засобу на етапі їх ескізного проекту, при проведенні випробувань;
- здатність аналізувати й оцінювати вплив різноманітних конструктивних, технологічних і експлуатаційних факторів на надійність складових технічних систем;
- здатність визначати можливі технічні рішення, які можуть бути запропоновані для поліпшення показників надійності транспортного засобу в цілому;
- здатність демонструвати розуміння сучасних підходів до прогнозування показників довговічності при обмеженій інформації.

Очікувані програмні результати навчання:

- здатність демонструвати знання принципів будування закономірностей зміни фізичних процесів, що мають місце при взаємодії елементів конструкції, та визначають прогнозовану зміну їх показників надійності;
- здатність демонструвати знання принципів формування та зміни закономірностей, які визначають зв'язок між показником надійності та часом його прояву;
- здатність використовувати отримані знання в професійній діяльності;
- здатність працювати з основними джерелами технічної інформації;
- здатність розуміти потребу самостійно навчатися впродовж життя.

2 ТЕМАТИКА ПРОГРАМИ НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

2.1 Тема 1. Вступ

Зміст, обсяг, мета і задачі дисципліни, порядок вивчення дисципліни. Значення питань забезпечення надійності і довговічності технічних систем: автомобіль, трактор та їх складових при проведенні досліджень. Зв'язок курсу із суміжними дисциплінами. Роль стандартів у підвищенні якості технічних систем.

2.2 Тема 2. Надійність. Основні поняття

Література: [1], с. 5-15; [4], с. 6-12, 49-56; [5], с. 164-169; [9], с. 39-40; [10], с. 13-34; [11], с. 5-27.

Основні поняття і визначення, прийняті в теорії надійності: об'єкти і становища об'єктів, аналізованих у теорії надійності. Основні властивості об'єктів: працездатність, безвідмовність, ремонтпридатності, довговічність, збереження і надійність. Методи оцінки властивостей надійності об'єкту. Надійність складних виробів і їх одиничні та комплексні показники: наробіток, ресурс, відмова, інтенсивність відмов, наробіток і відмова та ін.

Короткі відомості щодо розуміння навчальних питань

Надійність – властивість об'єкта зберігати в часі у встановлених межах значення всіх параметрів, які характеризують його здатність виконувати функції, що вимагаються, в заданих режимах та умовах використання, технічного обслуговування, ремонтів, зберігання та транспортування.

Розрізняють надійність:

- фізичну;
- параметричну.

Безвідмовність – властивість об'єктів зберігати необхідні функції на протязі деякого часу або деякого наробітку. Також це властивість безперервно зберігати робото здатність, яка розуміється як відсутність вимушених зупинок у зв'язку з відмовами.

Безвідмовність, як окрема властивість надійності, пов'язується з наступними поняттями, які визначають технічний стан – справність (несправність), працездатність (непрацездатність), дефект, пошкодження, відмова.

Справність – такий стан, при якому ТС, або її структурна складова частина (об’єкт, елемент, компонент) відповідає усім вимогам нормативно-технічної і конструкторської документації.

Працездатність – такий стан, який характеризує здатність виконувати всі необхідні функції при зберіганні значень основних параметрів у межах, встановлених нормативно-технічною документацією.

Поняття «справність» більш ширше ніж «працездатність», оскільки об’єкт може бути несправним відносно запропонованих вимог до зовнішнього вигляду.

Пошкодження – подія, яка полягає в зміні справного стану, але при цьому працездатність зберігається. Пошкодження не завжди відмова, а відмова – завжди пошкодження.

Відмова – подія, яка полягає у втраті здібності виконувати необхідну функцію, тобто це порушення працездатного стану.

Методичні вказівки до вивчення тем

У першу чергу магістрантові необхідно розглянути й проаналізувати співвідношення таких понять як: система, об’єкт, елемент, компонент і навколишнє середовище. Навчитися визначати місце розглянутих деталей, вузлів, механізмів, систем відносно структурно-логічного ряду: система → об’єкт → елемент → компонент.

Далі вивчити поняття безвідмовності як властивості надійності технічної системи (ТС), наприклад, автомобіля у цілому, або ДВЗ – окремо, для чого: визначитися зі змістом даного визначення за ДСТУ, розібратися в його сутності залежно від періодів експлуатації; ролі понять справності – несправності, працездатності – непрацездатності, ушкодження, дефекту, відмови, граничного стану, у визначенні технічного стану аналізованого елемента ТС.

Потім вивчити поняття ремонтпридатності ТС, для чого: визначитися зі змістом даного визначення за ДСТУ, розглянути питання розподілу об’єктів на відновлювані й не відновлювані, ремонтпридатні й не ремонтпридатні.

При вивченні властивості надійності – довговічності звернути увагу на прояв граничного стану розглянутого компонента, елемента, наприклад, об’єкта двигуна як системи ДВЗ, залежно від його технічного стану. У зв’язку з тим, що наробіток і ресурс визначають

довговічність ДВЗ у цілому, то необхідно чітко визначитися зі змістом таких понять як наробіток до відмови й на відмову, ресурс, призначений ресурс, залишковий ресурс, термін служби.

При вивченні властивості надійності ТС – зберігати значення показників безвідмовності, довговічності й ремонтпридатності протягом періоду зберігання й після нього, а також транспортування, звернути увагу на питання здійснювати опір конструкції, наприклад, ДВЗ, впливу факторів навколишнього середовища. Визначитися зі значимістю підвищення й зниження температури, зміни вологості повітря на прояв корозії металів, старіння полімерних матеріалів, погіршення властивостей мастильних матеріалів використовуваних у конструкції ДВЗ.

Магістрант повинен знати визначення кожного з одиничних показників, що використовуються для характеристики безвідмовності, довговічності, ремонтпридатності й збереженості, а так само мати на увазі, що при цьому можуть використатися параметричні (ймовірнісні) і непараметричні (статистичні) способи їхньої оцінки. При вивченні комплексних показників: коефіцієнта готовності, коефіцієнта оперативної готовності, коефіцієнта технічного використання, коефіцієнта планованого застосування, студент повинен усвідомити зміст і значимість величин вхідних у формули для їхнього визначення.

Контрольні запитання для самоперевірки

1. Що розуміється під властивістю надійності ТС?
2. Дайте визначення поняття: безвідмовність; довговічність; ремонтпридатність; збереженість.
3. Які розрізняють методи оцінки показників надійності та на чому вони ґрунтуються?
4. Чим визначається технічний стан, наприклад, ДВЗ, при розгляді його безвідмовності?
5. Які одиничні показники застосовуються для характеристики безвідмовності, довговічності, ремонтпридатності, збереженості?
6. Які стани деталей, вузлів і механізмів ТС розглядаються при аналізі питань її ремонтпридатності?
7. Яке співвідношення понять: справність – дефект – відмова?
8. Які види ресурсів розрізняють при розгляді довговічності ТС?

Дайте визначення кожному виду.

9. У чому полягає сутність застосування одиничних показників надійності?

10. У чому полягає сутність застосування комплексних показників надійності?

2.3 Тема 3. Поняття теорії ймовірності щодо визначення показників надійності технічних систем

Література: [1], с. 60-130; [4], с. 14-45; [5], с. 142-153; [9], с. 23-38; [10], с. 12-27; [11], с. 49-56.

Поняття теорії ймовірностей щодо визначення показників ТС: події, величини, процеси, статистичні та ймовірнісні показники надійності. Розподіл випадкових величин, їх характеристика та закони розподілу: математичне очікування, дисперсія, середньоквадратичне відхилення, коефіцієнт варіації, закон нормального розподілення, експоненціальний закон, закон розподілення Вейбула–Гнеденко. Визначення показників безвідмовності: ймовірність безвідмовної роботи, частота відмов, середнє напрацювання до відмови, середнє напрацювання на відмову, інтенсивність відмов, параметр потоку відмов.

Короткі відомості щодо розуміння навчальних питань

Залежність надійності ТС від різноманітних вірогідних факторів призводить до того, що прояв відмов має випадковий характер. Оцінка надійності ТС за допомогою математичних методів на підставі узагальнення накопиченої статистичної інформації про її функціонування в реальних умовах експлуатації дає можливість визначити вірогідні закономірності та співвідношення між випадковими функціями, які по різному впливають на показники надійності.

Подія – явище, яке відбувається в результаті випробувань. Події відрізняються між собою за ступеню можливості їх прояву і взаємозв'язку та діляться на: вірогідні; випадкові; неможливі; рівно можливі; сумісні (несумісні); залежні (незалежні).

Випадкові події можливо оцінити кількісно за допомогою деяких випадкових величин (X , V , Z та ін.) та їх можливих значень (x , y , z та ін.).

Випадковою величиною називають величину, яка в результаті випробувань може придбати любое значення. Наприклад, це напрацювання на відмову.

Усі випадкові величини діляться на:

– *дискретні* – ті, які мають закінчені значення, наприклад, кількість відмов розподільного пристрою гідравлічного підсилювача рульового керування на протязі визначеного проміжку часу;

– *неперервні* – ті, які у визначеному інтервалі (закінченому або незакінченому) можуть придбати любое значення, наприклад, час безвідмовної роботи.

Законом розподілення випадкової величини називається будь-яке співвідношення, яке встановлює зв'язок між можливими значеннями випадкових величин і відповідними цим значенням ймовірностями. Графічний вигляд показників наведено на рисунку 2.1.

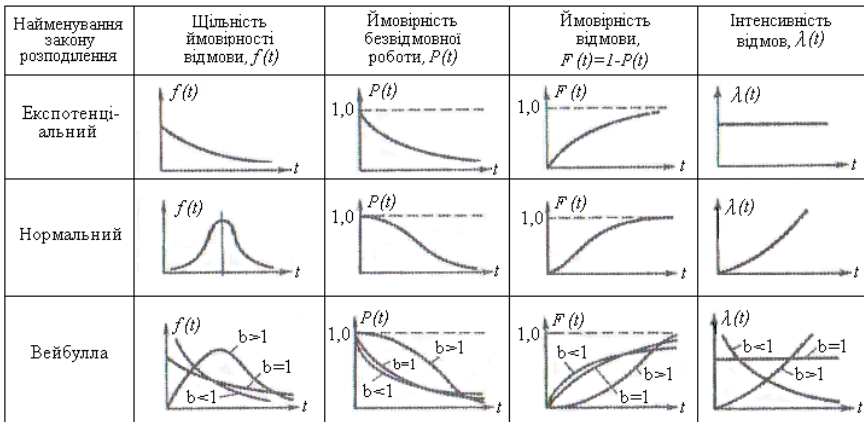


Рисунок 2.1 – Типові графіки кількісних характеристик деяких законів розподілення в залежності від наробітку t

Характеристики, які розраховані по значенням випадкової величини, отримали назву *статистичних характеристик*. А ті, що отримані по теоретичним законам розподілення – *параметри розподілення*.

Основними статистичними характеристиками випадкових величин є: середня арифметична величина; математичне очікування; дисперсія випадкової величини; середнє квадратичне відхилення випадкової величини; коефіцієнт варіації.

Нормальний закон розподілення випадкової величини формується тоді, коли на протікання процесу, що досліджується, і його результат впливає порівняльна велика кількість незалежних (або слабо залежних) елементарних факторів (складових). При цьому кожний фактор відокремлено оказує лише незначну дію порівняннi з сумарним впливом усіх інших.

Експоненціальний закон добре описує розподіл випадкових величин домінантного фактору. Це постійна статика явищ, його застосування допустимо та виправдано при розрахунку надійності систем, які вже мають високу безвідмовність.

Закон Вейбула–Гнеденко проявляється в моделі так званого «слабкого ланцюга», його застосовують для визначення характеристик розсіювання: ресурсів або строків служби окремих деталей і спряжень; наробіток між відмовами; наробіток на відмову при руйнування від втоми.

Функція $P(t)$ – ймовірність безвідмовної роботи, показує ймовірність того, що наробіток T від початку відліку до появи відмови буде більше або рівною заданому наробітку t . Ця функція показує, що в інтервалі наробітку від 0 до t виріб пропрацює безвідмовно.

Диференційна функція $f(t)$ характеризує як би щільність, з якою розподіляються значення випадкової величини в даній точці, і має назву *щільність розподілу випадкової величини*. Її фізичний сенс стосовно до теорії надійності – ймовірність виникнення відмови в достатньо малий проміжок часу.

Якщо відома одна з функцій $P(t)$, $R(t)$ або $f(t)$, то можливо розрахувати будь-який показник довговічності і безвідмовності, наприклад, середній наробіток до відмови (математичне очікування):

$$t_{cp} = \int_0^{\infty} t f(t) dt ; \quad (2.1)$$

$$t_{cp} = \int_0^{\infty} P(t) dt ; \quad (2.2)$$

та дисперсію

$$D = \int_0^{\infty} (t - t_{cp})^2 f(t) dt . \quad (2.3)$$

Методичні вказівки до вивчення теми

При вивченні даної теми магістрант повинен згадати основи теорії ймовірностей і математичної статистики вищої математики, що розглядалася в курсі дисциплін, приділяючи при цьому увагу наступним специфічним поняттям як: випробування (дослідження), подія, випадкова величина, ймовірність події, статистична ймовірність події, частота. Необхідність такий обумовлена тим, що прояв відмови в механізмах і системах двигуна або зміна параметрів їх що характеризують розглядається як подія: ймовірнісне, випадкове, неможливе, рівно можливе, спільне (неспільне), залежне (незалежне). У зв'язку із цим магістрант повинен представляти ступінь оцінки тієї або іншої події, наслідку, прояву якого спричиняє зміну технічного стану.

Розглядаючи функції розподілу випадкових величин, кількісно оцінюючі випадкові події, студент повинен чітко знати, що розуміється під випадковою величиною при визначенні рівня показника надійності як компонента, як елемента, так і ТС у цілому. Відповідно до цього студент повинен зрозуміти роль статистичних характеристик випадкових величин і знати їх визначення.

Нерівнозначність зміни параметрів роботи вузлів, механізмів, систем, наприклад, «Автомобіль» залежно від умов і характеру взаємодії спричиняється розходження в ступені підпорядкування випадкових величин законам їхнього розподілу з характерними їм параметрами розподілу. У зв'язку з цим студент повинен визначитися із сутністю використовуваних законів розподілу, мати уявлення про графічний вид і аналітичне вираження: інтегральної функції розподілу $P(t)$, щільності розподілу $f(t)$ розглянутої випадкової величини (відмови, зміни параметра, експлуатаційного впливу).

Розглянувши питання статистичного та ймовірнісного визначення показників надійності, студент повинен навчитися застосувати аналітичні розрахунки залежно від наявності інформації.

Контрольні запитання для самоперевірки

1. Який графічний вид має інтегральна функція розподілу безперервної випадкової величини? Зобразіть графік.

2. Який графічний вид має диференціальна функція розподілу безперервної випадкової величини? Зобразіть графік.

3. Перелічіть статистичні характеристики випадкових величин.

4. Напишіть формулу диференціальної функції для нормального закону розподілу випадкових величин. Дайте пояснення величин та її визначальних.

5. Напишіть формулу диференціальної функції для експонентного закону розподілу випадкових величин. Дайте пояснення величин та її визначальних.

6. У яких випадках для оцінки надійності ТС береться до увазі нормальний закон розподілу та що при цьому розуміється під випадковою величиною?

7. Коли для оцінки надійності ТС береться до увазі експонентний закон розподілу і що при цьому розуміється під випадковою величиною?

8. Яким чином визначаються статистичні показники безвідмовності? Напишіть формули визначення: $R(t)$, $P(t)$, T_m , $\lambda(t)$, $w(t)$.

9. Яким чином визначаються ймовірнісні показники безвідмовності? Напишіть формули визначення: $R(t)$, $P(t)$, T_m , $\lambda(t)$, $w(t)$.

2.4 Тема 4. Система збору та обробки інформації відносно надійності технічних систем

Література: [1], с. 84-93; [2], с. 361-369; [3], с. 146-177; [4], с. 166-169; [5], с. 316-322.

Мета та завдання, які вирішуються системою. Організація збору та обробки інформації. Зміст, способи збору статистичної інформації. Проведення патентного, інформаційно-технічного пошуку, визначення тенденцій якісного та кількісного вдосконалення елементів конструкції. Методика обробки отриманих результатів пошуку. Інформаційна база для прогнозування надійності деталей й агрегатів автомобіля, трактора: систематизація даних про умови експлуатації; систематизація даних про зноси та граничних станах деталей; узагальнені навантажувальні режими деталей. Обробка експериментальних даних відносно надійності двигунів: облік емпіричної інформації для аналізу надійності, графічне інтерпретування розподілення ймовірностей експериментальних даних відносно надійності двигунів.

Контрольні запитання для самоперевірки

1. У чому полягає мета збору інформації відносно надійності транспортних засобів та окремих їх елементів?
2. Які існують способи збору інформації про надійність елементів конструкції машин?
3. Які складові входять до складу інформаційної бази?
4. У чому полягає сутність проведення патентного пошуку інформації про надійність елементів конструкції?
5. У чому полягає сутність проведення інформаційно-технічного пошуку інформації про надійність елементів конструкції?

2.5 Тема 5. Розрахунок технічних систем на надійність

Література: [1], с. 116-130; [2], с. 107-117, 124-143; [3], с. 73-116; [4], с. 178-193, 248-252; [5], с. 220-246.

Чинники, що впливають на надійність технічних систем. Класифікація методів розрахунку систем на надійність: розрахунок норм надійності (розподіл вимог до надійності елементів систем); орієнтовний розрахунок, остаточний (повний) розрахунок надійності. Облік режимів роботи елементів складних систем. Порядок розрахунку надійності. Класифікація методів резервування систем за ознаками: вид резервування; спосіб з'єднання; спосіб включення; кратність резервування; режим роботи резерву; відновлюваність резерву.

Короткі відомості щодо розуміння навчальних питань

Розрахунки деталей машин на надійність складні, оскільки в основі інженерного завдання з визначенням параметрів машини з урахуванням, наприклад, зношування, корозії та втомленості лежать складні фізичні процеси, що призводять до втрати працездатності машини протягом певного часу.

До розрахунку різних конструкцій, оболонок, статично невизначених систем, що працюють у різноманітних режимах навантаження, крім закону Гука, використовують більш складний математичний апарат.

При розрахунку довговічності за спрацюванням в основу має бути покладено фізичний закон – залежність спрацювання від

параметрів, що визначають даний процес. Проте ця закономірність складна навіть для найпростіших випадків (наприклад, для абразивного зношування).

Фізика відмов настільки складна, що досі ще неповністю закінчено навіть перший етап розрахунків – відшукування закономірностей процесів руйнування матеріалів. Лише для таких процесів руйнування, як втомленість, та для деяких простіших видів зношування та корозії, є закономірності, що описують проходження цього процесу в часі.

У більш складніших випадках дослідники часто перебувають лише на стадії розкриття механізму руйнування, та ще не мають математичної закономірності, що описує даний процес. І часто дослідники не ставлять за мету її відшукати. Проте розкриття лише механізму руйнування дає змогу аналізувати вплив багатьох факторів, обирати стійкіші матеріали та визначати область їх застосування.

Однак без знання законів перебігу процесів неможливо розраховувати швидкість втрати даним вузлом працездатності, а також прогнозувати його залишковий ресурс.

Загальна проблема фізики відмов – відшукування закономірностей проходження в часі процесів руйнування. Такі закони є базою для інженерних розрахунків машин на безвідмовність і довговічність.

Розробка методів розрахунку машини на надійність потрібна для того, щоб аналітично встановити показники, що характеризують зміну її працездатності в часі.

Аналітичні розрахунки машини на безвідмовність і довговічність дають змогу оцінити даний варіант машини ще на стадії проектування, виключити фактор часу при одержанні показників надійності машини, що розробляється, значно скоротити обсяг випробувань, на основі прогнозу відшукати оптимальні рішення щодо зміни параметрів під час експлуатації.

Показники надійності машини в цілому обчислюються з урахуванням як поступових, так і раптових відмов.

Аналітичний розрахунок дає змогу вказати найефективніші шляхи підвищення надійності, бо в структурі формул для визначення показників надійності будуть відомі складові, які й зумовлюють основний вплив на ці показники.

Контрольні запитання для самоперевірки

1. Як класифікуються по області дії фактори, які впливають на надійність?
2. Наведіть складові конструктивного фактора, що визначають надійність.
3. Які складові входять до норми надійності?
4. Що розуміється під резервуванням систем?
5. Наведіть ознаки класифікації методів резервування.
6. Поясніть суть структурного, інформаційного, функціонального, навантажувального резервування.

2.6 Тема 6. Мета, основні задачі прогнозування надійності технічних систем

Література: [1], с. 198-201; [3], с. 24-26; [4], с. 187-188; [5], с. 25-39.

Елементи прогнозування: розрахунки на міцність та довговічність; досвід створення попередніх конструкцій; аналіз перенавантажень; пристосування до обслуговування, ремонту, діагностування. Етапи прогнозування: ретроспектива; діагностика; прогноз. Задачі прогнозування на етапах: довгострокове планування виробництва; проектування; виготовлення дослідницького зразка; серійне виробництво.

Короткі відомості щодо розуміння навчальних питань

Існуюча система забезпечення надійності транспортних засобів включає елементи прогнозування. При конструюванні транспортних засобів виконують розрахунки на міцність і довговічність деталей. При конструюванні широко використовують досвід створення попередніх конструкцій, їх випробувань і досліджень. Також враховують можливості технології виготовлення на підприємствах. Розглядають і аналізують можливі відхилення, перевантаження і екстремальні ситуації в умовах експлуатації машин, а також вимоги пристосованості до експлуатації, обслуговування, технічної діагностики та ремонту. На різних етапах розробки і виробництва транспортних засобів вирішується цілий комплекс завдань (рис. 2.2) [1].



Рисунок 2.2 – Етапи і задачі прогнозування надійності машин

Контрольні запитання для самоперевірки

1. Сформулюйте мету й основні задачі.
2. Яке місце мають елементи прогнозування у системі забезпечення надійності транспортних засобів?
3. У чому полягає сутність етапу прогнозування – діагностики?
4. Які задачі прогнозування віршуються на етапі проектування та виготовлення дослідного зразка?

2.7 Тема 7. Загальна характеристика методів прогнозування надійності технічних систем

Література: [1], с. 202-225; [2], с. 220-256; [3], с. 5-29, 55-72; [6]; [8], с. 391-431.

Застосування методів прогнозування. Основні групи методів: експертних оцінок; моделювання; статистичні методи. Види прогнозів. Алгоритм прогнозування надійності машин. Об'єкт

прогнозування. Класифікація об'єктів прогнозування. Вихідні данні для прогнозування. Аналітичні методи прогнозування надійності двигунів на етапах їх створення, виробництва та експлуатації: задачі прогнозування; загальна характеристика методів прогнозування надійності; порядок прогнозування загальної надійності; вибір і розрахунок норм надійності; методика прогнозування структурної надійності; прогнозування загальної надійності; надійності з резервуванням. Прогнозування остаточного ресурсу двигуна.

Короткі відомості щодо розуміння навчальних питань

Методи прогнозування надійності транспортних засобів обирають з урахуванням задач прогнозування; кількості і якості початкової інформації, отриманої в результаті досліджень надійності; характеру реального процесу зміни показника надійності або прогнозованого параметру (рис. 2.3).

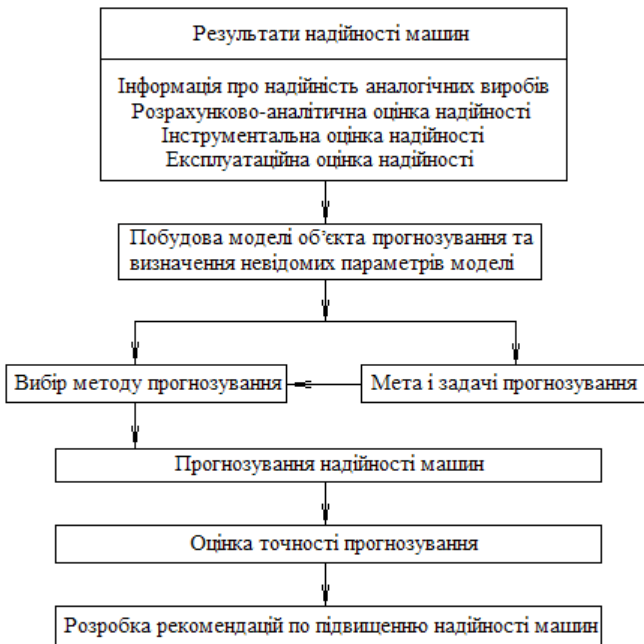


Рисунок 2.3 – Схема алгоритму прогнозування надійності транспортних засобів

Контрольні запитання для самоперевірки

1. У чому полягає відмінність математичних методів прогнозування від евристичних?
2. Наведіть ознаки класифікації об'єктів прогнозування.
3. Що розуміється під алгоритмом прогнозування надійності машин?
4. Що розуміється під об'єктом прогнозу при прогнозуванні надійності транспортних засобів?
5. Які основні методи входять до групи математичних формалізованих?
6. Що розуміється під спеціальними методами прогнозування?
7. Назвіть напрямок призначення спеціальних методів прогнозування.

2.8 Тема 8. Надійність технічних систем при випробуваннях

Література: [1], с. 133-190; [2], с. 264-283; [3], с. 178-220; [4], с. 254-258, 262-306; [5], с. 166-171; [8], с. 432-461.

Призначення і види випробувань на надійність: класифікація існуючих методів випробувань; основні стратегії проведення випробувань. Визначальні випробування на надійність, їх класифікація. Контрольні випробування на надійність: випробування, засновані на числі допустимих відмов, фавном нулю; на послідовному аналізі. Суть багатофакторних випробувань на надійність. Оцінка надійності по результатам випробувань. Методика проведення випробувань на зносостійкість матеріалів в трибоз'єднаннях, що лімітують ресурс окремих елементів конструкції. Випробування модельних, натурних трибоз'єднань в умовах наближених до експлуатаційних.

Короткі відомості щодо розуміння навчальних питань

Ознакою визначальних випробувань є те, що в результаті цих випробувань визначаються кількісні значення показників надійності об'єктів, що знаходяться на випробуваннях. Однак, по методах проведення і способах обробки результатів, а також по планам організації і умовам, в яких випробування проводяться, вони можуть бути різними (рис. 2.4) [2].

По планам проведення випробування розподіляються на такі основні групи: $[NUN]$, $[NUT]$, $[NUR]$, $[NU(r,T)]$, $[NRT]$, $[NRr]$, $[NR(r,T)]$, $[NMT]$, $[NMr]$ та ін.

Букви в позначеннях планів випробувань вказують на наступні особливості об'єктів:

N – число об'єктів, які одночасно випробуються;

U – невідновні і не замінювані при випробуваннях в разі відмови об'єкти;

R – невідновні, але замінювані при випробуваннях в разі відмови об'єкти;

M – відновлювані при випробуваннях в разі відмови об'єкти;

R – число об'єктів, що відмовили.

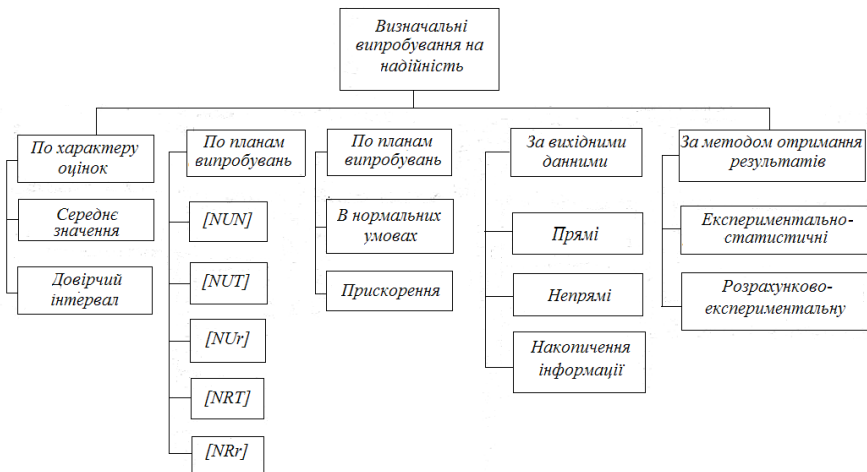


Рисунок 2.4 – Класифікація визначальних випробувань на надійність

Наприклад, при випробуваннях по плану $[NUM]$ на випробування ставляться N об'єктів. Випробування ведуться до відмови всіх об'єктів.

Випробування за планом $[NUM]$ вимагають значного часу і кількості об'єктів. Скоротити тривалість випробувань можна шляхом збільшення числа випробовуваних виробів або зниження вимог до точності результатів. Вживання відновлення об'єктів, що відмовили,

дозволяє збільшити інформативність випробувань без збільшення числа випробовуваних об'єктів [2].

Контрольні запитання для самоперевірки

1. За якими ознаками класифікуються випробування на надійність?
2. Які задачі ставляться перед визначальними випробуваннями на надійність?
3. Що розуміється під контрольними випробуваннями на надійність?
4. Що є таке «план випробувань»?

2.9 Тема 9. Оцінка якості прогнозування надійності технічних систем

Література: [2], с. 220-236, 340-360; [4], с. 166-253; [5], с. 235-239.

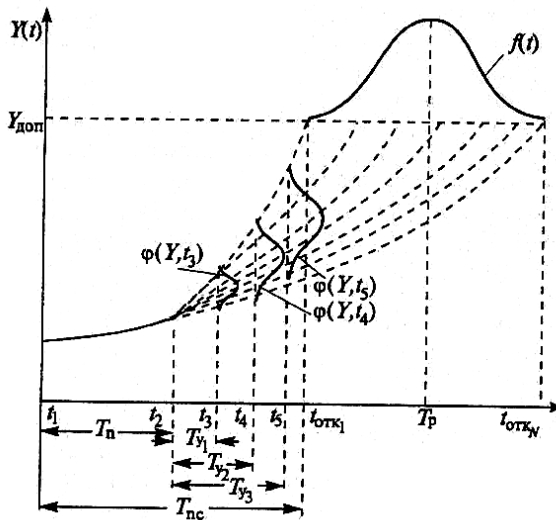
Принципи оцінки і прогнозування довговічності складових частин транспортних засобів: стохастичність ресурсу об'єкту; обґрунтування значення ресурсу з умов ризику; збереження фізичної суті процесів; адекватності математичних методів; поєднання детермінованих і імовірнісних підходів; прогнозування індивідуального ресурсу. Сучасні підходи до прогнозування показників надійності: статистичні; детерміновані, фізико-статистичні; експертні. Похибка прогнозування, джерела похибок: вихідні данні; метод прогнозування; особа, яка прогнозує; обчислювальна техніка. Відношення тривалості прогнозованого періоду до глибини ретроспективного аналізу. Повнота прогнозування. Економічна оцінка прогнозування. Показник ефективності прогнозування. Розміри області, у якій з заданою вірогідністю знаходиться значення показника надійності.

Короткі відомості щодо розуміння навчальних питань

Проблема прогнозування технічного стану елементів конструкції складних систем є однієї з актуальних проблем сучасного машинобудування. Практичне значення проблеми вельми велике. Основний інтерес, як в теоретичному, так і в прикладному плані представляє проблема індивідуального прогнозу працездатності і

ресурсу елементів конструкції транспортного засобу за результатами спостережень за його станом в процесі експлуатації.

Наприклад, є одна реалізація вихідного параметра одного з елементів конструкції. Принципової різниці між зростаючим або спадаючим в часі значенням вихідного параметра $Y(t)$ для теорії прогнозу не існує. На рисунку 2.5 показані основні тимчасові величини, що характеризують прогнозування стану. У момент часу t_1 починається спостереження за вихідним параметром об'єкту. Інтервал часу $(t_1, t_2) \in T_{\Pi}$ називається інтервалом передісторії [2].



$Y_{доп}$ – граничне допустиме значення вихідного параметра; T_n – час передісторії (час спостережень); T_y – час попередження; $T_{нс}$ – тривалість передвідмовного стану; $\varphi(y, t_i)$ – щільність вірогідності параметра у момент часу

Рисунок 2.5 – Динаміка тимчасових характеристик прогнозу технічного стану елемента конструкції

Під T_n розуміється мінімальний проміжок часу, на якому з'являються закономірності прогнозованого процесу, що забезпечує можливість екстраполяції на заданому інтервалі попередження T_y . Інтервал попередження T_y – це проміжок часу, на якому розробляється прогноз. Оскільки в будь-якій практичній ситуації із зростанням

інтервалу попередження точності прогнозу зменшується, виникає завдання визначення деякого мінімального інтервалу попередження, для якого має сенс здійснювати прогноз.

Дійсно, що достовірність інформації про прогнозований процес на інтервалі передісторії має бути вище потрібної достовірності прогнозування. При цьому, необхідно враховувати, що спостереження про $Y(t)$, є, як правило, сукупністю корисної інформації:

$$Y(t) = \eta(t, \bar{a}) + \varepsilon(t), \quad (2.4)$$

де $\eta(t, \bar{a})$ – регулярна складова, що є гладкою функцією часу, що описується кінцевомірним вектором параметрів, які зберігають свої значення в період попередження прогнозу;

$\varepsilon(t)$ – випадкова складова.

Регулярна складова $\eta(t, \bar{a})$ має ряд синонімів: тренд, рівень, тенденція, детермінована основа процесу. Випадкова складова $\varepsilon(t)$ зазвичай вважається некорельованим випадковим процесом з нульовим математичним чеканням. Оцінки $\varepsilon(t)$ необхідні для визначення точностних характеристик прогнозу.

Складність проблеми прогнозу полягає не лише в тому, щоб побудувати модель адекватну прогнозованому процесу на інтервалі передісторії, але і в тому, щоб адекватність забезпечувалася і на інтервалі попереджень. Очевидно, що будь-який математичний апарат є безглуздим, якщо не враховується фізична суть прогнозованого процесу. Визначення законів зміни фізичних процесів і явищ в завданнях прогнозування засновано на одному з центральних фундаментальних постулатів фізики, якій був сформульований К. Шенноном: «основні закономірності, що спостерігалися у минулому, будуть збережені в майбутньому».

Оскільки прогноз завжди здійснюється на основі деякої передісторії зміни прогнозованого параметра $Y(t)$, то можливість прогнозування на заданий інтервал попередження визначається тривалістю розвитку стану передвідмови $T_{n.c.}$, яка має бути не менше необхідної довжини передісторії $T_{n.c.} \geq T_n$. Необхідна довжина

передісторії залежить від вживаних методів і засобів прогнозування, характеру і тенденції процесу витрати параметричної надмірності та ряду інших умов.

Як правило, довжина передісторії у декілька разів більше часу попередження, тобто $T_n > T_y$ і, отже $T_{n.c.} > T_y$. Тому мінімальний час $T_{n.c.}$ зміни прогнозованого параметра в межах допуску повинен перевищувати періодичність видачі результатів прогнозу. Максимальний час $T_{n.c.}$ має бути менше часу «життя» об'єкту, тобто повного або міжремонтного ресурсу $T_{n.c.} < T_{жс} = T_p$.

Контрольні запитання для самоперевірки

1. У чому полягає принцип стохастичності ресурсу елемента конструкції?
2. У чому полягає принцип зберігання фізичної сутності процесів при прогнозуванні ресурсу елемента конструкції?
3. Наведіть методи оцінки і прогнозування ресурсу елементів конструкції.
4. Що розуміється під функцією, яка прогнозує?
5. Наведіть ознаки за якими класифікується функція, що прогнозує.
6. У чому полягає методика вибору прогнозуючих параметрів елементів конструкції?

2.10 Тема 10. Забезпечення надійності технічних систем на стадіях виробництва й експлуатації

Література: [2], с. 220-236, 340-360; [4], с. 166-253; [5], с. 235-239.

Шляхи підвищення надійності технічних систем: конструкційні, технологічні, експлуатаційні. Оптимізація параметрів та характеристик технічних систем за критерієм надійності: вихідні параметри, регулювання, характеристики експлуатаційних матеріалів. Технологічні засоби підвищення надійності: вибори засобу одержання заготовки, забезпечення точності, якості поверхні, термічне і хіміко-термічне зміцнення робочих поверхонь. Захисні і зносостійкі покриття. Покриття, які формуються: способом фінішної антифрикційної безабразивної обробки (ФАБО) робочих поверхонь деталей приборів, механізмів в поверхнево-активних середовищах;

при застосування присадок до експлуатаційних мастильних матеріалів. Механічні засоби зміцнення робочих поверхонь деталей. Підвищення якості збирання, обкатування і випробування при виготовленні елементів конструкції технічних систем.

Короткі відомості щодо розуміння навчальних питань

Для розв'язання проблеми підвищення рівня надійності в цілому треба знати джерело, причини і саме змінення початкових параметрів, закономірності формування поверхневого шару, причини його напруженого стану та будову, зміну початкових властивостей і стану матеріалів, взаємодію двотертьових поверхонь з урахуванням їхніх геометричних і фізичних властивостей, закономірності та характер руйнування основних деталей машин і, нарешті, формування закону про зміни вихідних параметрів і, як висновок, формування поступових і раптових відмов.

Ефективним методом підвищення надійності є відновлення несправних ТС. Тут основним питанням є виявлення факту відмови і пошук елементів, що відмовили. Така задача може бути вирішена за допомогою діагностування ТС, наприклад, при використанні автоматизованих систем контролю, де як основна центральна ланка застосовується ЕОМ, що забезпечує перевірку великого числа контрольних точок протягом невеликого проміжку часу.

Велике значення для забезпечення надійності має якість виготовлення ТС, що визначається технологічною дисципліною, організацією контролю на всіх стадіях проектування, виробництва, проведення випробувань та якістю комплектуючих і матеріалів. Тут також має велике значення якість експлуатації, прийнята система технічного обслуговування, підготовленість обслуговуючого персоналу і ряд інших факторів.

Контрольні запитання для самоперевірки

1. Які процеси потрібно враховувати при розробці заходів підвищення надійності ТС?
2. На що потрібно звертати увагу під час забезпечення надійності ТС при їх застосуванні за призначенням?

3. На що потрібно звертати увагу під час забезпечення надійності ТС при виготовленні їх складових частин?

5. Яку роль грають захисні покриття на робочих поверхнях елементів ТС? Наведіть приклади застосування в автомобілі.

6. Яку роль грає обкатування, наприклад, автомобіля, для забезпечення його надійності у подальшій експлуатації?

3 ВКАЗІВКИ ДО ОФОРМЛЕННЯ КОНТРОЛЬНОЇ РОБОТИ

Контрольна робота складається з п'яти завдань, які за своїм змістом та обсягом питань, що практично розглядаються, вважаються доцільно достатніми для надбання первинних навиків у здійсненні відповідних розрахунків показників надійності технічних систем.

Робота виконується на стандартних аркушах формату А4 у відповідності з вимогами ДСТУ 3008-2015. При оформленні обов'язково приводяться: назва завдання; мета завдання; вихідні данні; задачі (розрахунки), які необхідно виконати; послідовність виконаних розрахунків та їх результати; ескізи, рисунки, графічні залежності; пояснення до отриманих результатів; висновки.

Кожне завдання оформлюється з нової сторінки.

Відповідні пояснення пишуться магістрантом акуратно, грамотно, чітким почерком. При цьому допускається тільки загально прийняті скорочення та позначення. Графіки виконуються відповідно вимогам конструкторської документації (ДСТУ 3008-95). Для побудови необхідних графіків рекомендується використовувати міліметровий папір (по формату аркуша зошита), який обов'язково вклеюється в зошит. За можливістю вихідні данні для побудування графіків, гістограм можуть бути розраховані за допомогою програм офісних додатків комп'ютерної техніки.

Отримані результати магістрант повинен захищати у час, відведений для проведення консультацій.

Номер варіанту завдання магістрант визначає за порядковим номером у академічному журналі групи. Варіанти приведені у відповідних таблицях за змістом заняття.

Розрахунки необхідно виконувати у наступній послідовності. Спочатку приводиться відповідна формула з поясненнями її змісту, а надалі безпосередньо числові значення у кожному математичному виразі.

При наявності всіх виконаних за планом завдань в кінці семестру магістрант допускається до здачі диференційного заліку.

4 ЗАВДАННЯ № 1.

РОЗРАХУНОК ОДИНИЧНИХ ПОКАЗНИКІВ НАДІЙНОСТІ ДВИГУНІВ

Мета завдання – отримати практичні навички у використанні теорії ймовірностей для розрахунку одиночних показників безвідмовності ДВЗ.

Завдання є комплексним та складається з трьох задач. При цьому набувають навички у практичному застосуванні значень нормованої центрованої функції на підставі розрахунків нової випадкової величини. Задачі спрямовані на застосування параметричного (ймовірного) способу оцінки показників надійності.

Задача 1. Зі спостережень за партією двигунів ЗМЗ-402.10 і наступної обробки результатів отримані значення $t_{сер.}=(*)$ тис. км, $t=(*)$ тис. км. За умови, що розподіл відмов підкоряється нормальному закону, визначити показники надійності – ймовірність безвідмовної роботи, ймовірність відмови, щільність ймовірності відмов, інтенсивність відмов до наробітків t_1, t_2, t_3, t_4 тис. км, за отриманими результатами побудувати графіки зміни показників від заданого напруцювання.

Привести порядок розрахунку відповідно до вихідних даних, які наведено в таблиці А.1 додатку А. За результатами обчислень зробити висновки.

Задача 2. Розподіл наробітки двигуна КамАЗ-740.10 до першої відмови підпорядковується нормальному закону розподілу з параметрами: $t_{сер.}=(*)$ тис. км, $\sigma=(*)$ тис. км.

Використовуючи нормовану функцію, визначити ймовірність відмови деталі в інтервалах пробігу від t_1 до t_2 , від t_3 до t_4 , від t_5 до t_6 , від t_7 до t_8 тис. км.

Привести порядок розрахунку відповідно до вихідних даних, які наведено в таблиці А.2 додатку А. За результатами обчислень зробити висновки.

Задача 3. Наробітку компресійних кілець двигуна ЗМЗ-513 до першої заміни становить $t_{сер.}=(*)$ тис. км, середнє квадратичне відхилення $\sigma=(*)$ тис. км, коефіцієнт відновлення ресурсу становить $\eta=(*)$.

Використовуючи нормальний закон розподілу, нормовану функцію, визначити можливе число замін при наробітках t_1, t_2, t_3, t_4 тис. км.

Привести порядок розрахунку відповідно до вихідних даних, які наведено в таблиці А.3 додатку А. За результатами обчислень зробити висновки.

Методичні вказівки

Для визначення значень показників надійності при застосуванні нової випадкової величини z , яка вводиться при розрахунках замість перемінної величини t , необхідно використовувати табульовані значення центрованої і нормованої функції розподілення $F_0(z)$ та її щільності розподілення $\varphi(z)$ (рис. 4.1). Данні наведено у додатках Б, В.

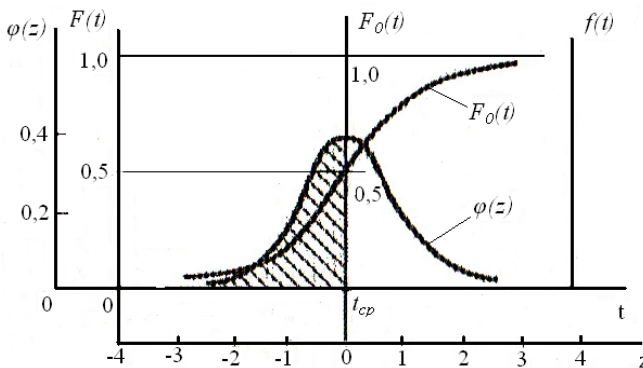


Рисунок 4.1 – Графіки функцій $F_0(z)$ і $\varphi(z)$ при нормальному законі розподілення

Для проведення розрахунків рекомендується використовувати вирази 4.1-4.5, які взяті з джерел інформації [2, 5, 7].

Нова випадкова величини z визначається як

$$z = \frac{t - t_{\text{сер.}}}{\sigma}, \quad (4.1)$$

де t – значення випадкової величини (наробітку до відмови, на відмову), год. (км);

$t_{\text{сер.}}$ – середнє значення наробітку (математичне очікування наробітку), год. (км);

σ – середнє квадратичне відхилення значення наробітку як випадкової величини, год. (км).

Щільність розподілення центрованої і нормованої функції $\varphi(z)$ визначається як

$$\varphi(z) = f(t)\sigma, \quad (4.2)$$

де $f(t)$ – щільність ймовірності відмов, 1/год.

Інтенсивність відмов визначається наступним чином, 1/год.:

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{P(t)}, \quad (4.3)$$

де $P(t)$ – ймовірність безвідмовної роботи.

Ймовірність безвідмовної роботи визначається виходячи з виразу $P(t) = 1 - F_0(z)$, якщо значення ймовірності виникнення відмови $R(t) \approx F_0(z)$ визначена за допомогою табульованої центрованої функції $F_0(z)$ згідно з розрахованим значенням нової випадкової величини z .

Параметр потоку відмов для нормального закону розподілу визначається наступним чином:

$$\omega(t) = \sum_{k=1}^{\infty} F_0 \left(\frac{t - k\eta t_{\text{сер.}}}{\sigma \sqrt{k}} \right), \quad (4.4)$$

де k – число відмов (1, 2, 3, 4...);
 η – коефіцієнт відновлення ресурсу.

У приведеному виразі (4.4) нова випадкова величина z визначається наступним чином:

$$z = \frac{t - k\eta t_{\text{сер.}}}{\sigma \sqrt{k}}. \quad (4.5)$$

Для розрахунку значення параметру потоку відмов (кількості замін, експлуатаційних втручань) при деяких наробітках необхідно провести розрахунки значень числа z , визначити значення центрованої функції $F_0(z)$ змінюючи при цьому число k та скласти ці значення. При цьому значення z розрахуються до тих пір, поки значення функції $F_0(z)$ будуть значущі для сумування.

Наприклад, *потрібно визначити параметр потоку відмов (число замін деталі) при наробітку $t_i=246000$ км, якщо відомі параметри нормального закону розподілення $t_{\text{сер.}}=105000$ км, $\varphi=28000$ км та коефіцієнт відновлення ресурсу $\eta=0,75$.*

Порядок здійснення розрахунків

По-перше, необхідно розрахувати значення величини z , при цьому у виразі (4.5) всі члени будуть мати постійні значення, а змінюватись будуть тільки число k . Тоді отримаємо наступні вирази для обчислень:

$$z_1 = \frac{t_1 - k\eta t_{\text{сер.}}}{\sigma \sqrt{k}} = \frac{246000 - 1 \cdot 0,75 \cdot 105000}{28000 \cdot \sqrt{1}} = 5,97;$$

$$z_2 = \frac{t_1 - k\eta t_{\text{cep.}}}{\sigma\sqrt{k}} = \frac{246000 - 2 \cdot 0,75 \cdot 105000}{28000 \cdot \sqrt{2}} = 2,24;$$

$$z_3 = \frac{t_1 - k\eta t_{\text{cep.}}}{\sigma\sqrt{k}} = \frac{246000 - 3 \cdot 0,75 \cdot 105000}{28000 \cdot \sqrt{3}} = 0,20;$$

$$z_4 = \frac{t_1 - k\eta t_{\text{cep.}}}{\sigma\sqrt{k}} = \frac{246000 - 4 \cdot 0,75 \cdot 105000}{28000 \cdot \sqrt{4}} = -1,23.$$

У подальшому можливо призупинити розрахунки та визначити значення функції $F_0(z)$ – наскільки вона у математичному виразі значима.

$$F_0(z_1) = F_0(5,97) = 0,999;$$

$$F_0(z_2) = F_0(2,24) = 0,987;$$

$$F_0(z_3) = F_0(0,20) = 0,579;$$

$$F_0(z_4) = F_0(-1,23) = 1 - F_0(1,23) = 1 - 0,89 = 0,11.$$

З отриманих розрахунків видно, що потрібно визначити ще, як мінімум одне значення z – z_5 , оскільки $F_0(z_4 = 0,11)$ за порядком цифр після коми значимо для складання за виразом (4.4).

$$z_5 = \frac{t_1 - k\eta t_{\text{cep.}}}{\sigma\sqrt{k}} = \frac{246000 - 5 \cdot 0,75 \cdot 105000}{28000 \cdot \sqrt{5}} = -2,23.$$

При цьому $F_0(z_5) = F_0(-2,23) = 1 - F_0(2,23) = 1 - 0,986 = 0,014$. Таким чином розрахунки потрібно призупинити, оскільки значення 0,014 дуже мало.

По-друге, на підставі виконаних розрахунків випадкової величини z та функції $F_0(z)$ за виразом (4.4) параметр потоку відмов визначиться наступним чином:

$$\omega(t_1) = \sum_{k=1}^{\infty} F_0 \left(\frac{t - k\eta t_{\text{сеп}}}{\sigma \sqrt{k}} \right) = 0,999 + 0,987 + 0,579 + 0,11 + 0,014 = 2,689 \approx 3.$$

Виходячи з отриманих результатів число можливих замін деталі складе 3.

5 ЗАВДАННЯ № 2.

ГРАФІЧНА ІНТЕРПРЕТАЦІЯ РОЗПОДІЛУ ЙМОВІРНОСТЕЙ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДАНИХ ЩОДО НАДІЙНОСТІ ДВИГУНІВ

Мета завдання – отримати практичні навички в обробці експериментальних даних відносно наробіток на відмову двигунів та застосуванні статистичного способу визначення одиночних показників надійності.

Завдання. Використовуючи експериментальні дані, що наведені в таблиці Б.1 додатку Б, по наробітку на відмову для партії дизельних двигунів СМД-60 необхідно:

- скласти варіаційні ряди значень наробітків на відмову й моментів відмов різних ДВЗ;
- побудувати графічно гістограму розподілу наробітку на відмову як емпіричну функцію щільності розподілу наробітку на відмову (частота відмов) $f_n(t)$ і гістограму інтенсивності відмов $\lambda_n(t)$ при експлуатації досліджуваної партії двигунів;
- на підставі гістограми $f_n(t)$ визначити ймовірність відмови для наробітку в діапазоні $t=0 \dots t_{\text{max}}$ (вибрати самостійно);
- зобразити графічно функцію ненадійності як емпіричну інтегральну функцію наробітку на відмову $Q_n(t)$ і функцію надійності $R_n(t)$.

Привести порядок розрахунку необхідних даних для побудови гістограм і графіків залежностей досліджуваних величин.

За результатами виконання роботи зробити відповідні висновки.

Методичні вказівки

Для проведення розрахунків рекомендується використовувати вирази 5.1–5.4 [2].

Щільність розподілу ймовірності наробітку до відмов визначається як

$$f_n(t) = \frac{\Delta n}{n\Delta t}, \quad (5.1)$$

де Δn – кількість відмов в двигунах в інтервалі Δt , якій визначається виходячи з мінімального та максимального часу наробітку до відмови кожного з двигуна в досліджуваній партії, од.;

n – загальна кількість відмов в партії, од.;

Δt – значення інтервалу наробітку, у якому визначається кількість відмов за час випробувань, год.

Інтенсивність відмов визначається як

$$\lambda_n(t) = \frac{\Delta n}{N_0(t)\Delta t}, \quad (5.2)$$

де Δn – кількість відмов в двигунах в інтервалі Δt , од.;

$N_0(t)$ – кількість справних двигунів в партії на момент встановлення технічного стану на протязі випробувань, од.;

Δt – значення інтервалу наробітку, у якому визначається кількість відмов за час випробувань, що визначається згідно складеної таблиці варіаційних рядів моментів відмов, год.

Значення функції надійності визначається як

$$P_n(t) = 1 - R_n(t) = 1 - \frac{\Delta n(0 - t_i)}{\sum_{i=1}^k \Delta n_i}, \quad (5.3)$$

де $\Delta n(0-t_i)$ – кількість відмов кожного з двигунів в партії в інтервалі наробітку від 0 до t_i ;

$\sum_{i=1}^k \Delta n_i$ – загальна кількість відмов усіх двигунів в партії.

Значення величини інтервалу наробітку визначається як

$$\Delta t = \frac{t_{\max} - t_{\min}}{\sqrt{N_{\max}}}, \quad (5.4)$$

де $N_{\max}$ – максимальна кількість відмов в двигуні партії;

$t_{\max}$, $t_{\min}$ – максимальне, мінімальне значення часу до відмови в партії двигунів, год.

Завдання рекомендується виконувати у наступній послідовності.

По-перше, необхідно виписати масив даних щодо наробітку до відмов у відповідності з варіантом завдання. Наприклад, дані наведено в таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 – Масив даних щодо наробітку до відмови

Номер варіанту	Експериментальні дані															
1	Номера відмов			Наробітки двигунів, мото-год.												
				№ 1			№ 2			№ 3			№ 4		№ 5	
	1	11	21	200	90	630	10	370	90	120	50	10	530	80	370	320
	2	12	22	300	110	450	570	160	20	50	190	410	310	390	510	170
	3	13	23	120	20	140	430	50		30	130	160	720	100	330	60
	4	14	24	170	70	310	120	200		340	400	310	30	710	10	180
	5	15	25	140	830	680	110	450		270	410		260	190	170	410
	6	16	26	50	160	740	240	720		810	570		280	20	860	560
	7	17		110	340		240	320		430	540		40	330	210	100
	8	18		730	310		520	130		90	110		520	630	50	700
	9	19		260	120		220	460		120	270		810	400	420	
	10	20		50	320		30	820		640	70		40		440	

По-друге, на підставі таблиці вихідних даних складається таблиця щодо варіаційних рядів наробітку на відмову для кожного з двигунів в партії. Приклад наведено нижче. При цьому потрібно прописати наробітку з меншого значення до більшого не пропускаючи

однакових чисел, якщо такі є, та розміщуються не послідовно. Для того, щоб не допустити помилок, потрібно викреслювати олівцем в таблиці 5.1 ті цифри, які Ви вже занесли у таблицю 5.2.

Таблиця 5.2 – Варіаційні ряди наробітки до відмови

Номер відмови	Наробітки на відмову, год.				
	1	2	3	4	5
1	20	10	10	40	10
2	50	20	30	40	50
3	50	30	50	80	60
4	70	50	50	100	100
5	90	90	70	...	170
6	110	...	120	...	...
<i>n</i>	...	...	...	...	...

Далі необхідно визначитись зі значенням кількості інтервалів k у відповідності з виразом (5.5) та значенням інтервалу Δt :

$$k = \sqrt{N_{\max}} . \quad (5.5)$$

Для цього по таблиці 5.2 визначається максимальна кількість відмов, яка включає всі інші відмови меншого значення, що спостерігалися для інших двигунів. Наприклад, $N_{\max}=34$, тоді $k=5,8 \approx 6$.

Також у відповідності з таблицею 5.2 визначається мінімальне та максимальне значення наробіток, наприклад, $t_{\min}=10$ год., $t_{\max}=820$ год. Тоді у відповідності з виразом (5.4) значення інтервалу буде дорівнювати:

$$\Delta t = \frac{t_{\max} - t_{\min}}{\sqrt{N_{\max}}} = \frac{820 - 10}{6} = 135 \text{ год.}$$

Далі потрібно визначити щільність розподілу $f_n(t)$ для кожного з шести інтервалів у відповідності з виразом (5.1). При цьому для зручності підрахунку кількості відмов у кожному інтервалі Δt рекомендується у таблиці 5.2 обмежити ці інтервали відповідними лініями. Так, наприклад, для першого інтервалу $f_1(t)$ щільність визначиться наступним чином:

$$f_{in}(t) = \frac{\Delta n}{n \Delta t} = \frac{3+7+6+9+5}{(31+34+32+33+32)135} = \frac{30}{162 \cdot 135} = 1,37 \cdot 10^{-3} \text{ год}^{-1}.$$

Таким же чином розраховуються значення диференціальних функцій – щільності розподілення $f_2(t)$ – $f_6(t)$. На підставі отриманих результатів потрібно побудувати гістограму. Ця операція не повинна викликати труднощі. Після її побудування необхідно обрати любий проміжок наробітки та шляхом помноження його значення на відповідну йому щільність визначити елемент ймовірності. Наприклад, для інтервалу наробітки від 50 до 75 год. він визначиться наступним чином:

$$R_1 = f_1(\Delta t_1) \Delta t_1 = 1,37 \cdot 10^{-3} \cdot 25 = 0,034 \approx 3,4\%.$$

По-третє, також у відповідності з даними таблиці 5.2 необхідно визначити значення функції надійності – ймовірності безвідмовної роботи та ненадійності – ймовірності виникнення відмови. Для цього потрібно використати вираз (5.3) та підраховувати кількість відмов для кожного поточного інтервалу шляхом сумування з попередніми значеннями. Наприклад, для інтервалу від 0 до 10 год. кількість відмов складає 3, а загальна кількість – 162. Тоді ймовірність безвідмовної роботи визначиться як

$$P_1(0-10) = 1 - \frac{\Delta n(0-t_i)}{\sum_{i=1}^k \Delta n_i} = 1 - \frac{3}{162} = 1 - 0,0185 = 0,98 \approx 98\%.$$

У наступному інтервалі, наприклад, від 0 до 20 год. кількість відмов складає 4. Тоді ймовірність безвідмовної роботи визначиться як

$$P_2(0-20) = 1 - \frac{\Delta n(0-t_i)}{\sum_{i=1}^k \Delta n_i} = 1 - \frac{3+1}{162} = 1 - 0,0246 = 0,97 \approx 97\%.$$

При отриманні значень для всіх інтервалів будується графічна залежність, при цьому потрібно витримати масштабні вимоги та розуміти про те, що графічна залежність буде мати ступінчастий вигляд.

В четверте, для визначення значень інтенсивності відмов $\lambda_n(t)$ необхідно скласти таблицю 5.3 моментів відмов. Для цього необхідно взяти дані з таблиці 5.1 та шляхом сумування попереднього з наступним побудувати варіаційні ряди моментів відмов. Приклад наведено у таблиці 5.3. Визначення значення інтервалу та підрахунки кількостей відмов у кожному з них проводиться аналогічно з методикою розрахунків щільності розподілу, що наведено вище.

Таблиця 5.3 – Варіаційні ряди моментів відмов

Номер відмови	Наробітки до моментів відмови двигуна, год.				
	1	2	3	4	5
1	200	10	120	530	370
2	500	580	170	840	880
3	420	1010	200	1560	1210
4	590	1130	540	...	...
5	730	1240	...	...	...
6	780	...	...	...	...
<i>n</i>	...	...	...	...	...

6 ЗАВДАННЯ № 3.

ВИЯВЛЕННЯ НАПРЯМКІВ ВДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНІЧНОГО РІВНЯ ЕЛЕМЕНТІВ КОНСТРУКЦІЇ ТРАНСПОРТНОГО ЗАСОБУ НА ПІДСТАВІ ПАТЕНТНОЇ ІНФОРМАЦІЇ

Мета завдання – придбати первісні навички у проведенні збору та обробці інформації щодо напрямів вдосконалення технічного рівня конструкції окремих складових частин транспортних засобів при проведенні патентного пошуку.

Методичні вказівки

Вихідними даними для виконання завдання є об'єкт дослідження у відповідності з напрямком виконання магістерської роботи. Безпосередньо це можуть бути робочі процеси, які відбуваються при роботі підвіски, трансформації крутного моменту, накопичення енергії та інші. Таким чином, предметом пошуку будуть, наприклад, конструкція підвіски, елементи трансмісії та інші, з властивими їм параметрами технічного стану та ознаками прояву.

Пошук рекомендується проводити по двом сайтам:

– <http://www.fips.ru>. Информационно-поисковая система института интеллектуальной собственности Российской Федерации. Информационные ресурсы. Открытые реестры. Базы данных. Поиск.

– <http://www.ukrpatent.jrg.ua>. Інформаційно-пошукова система інституту інтелектуальної власності України. Бази даних. Пошук.

Для обробки визначеного патентного матеріалу рекомендується використовувати повний опис. Якщо наводиться тільки реферат або формула, то в цьому разі доцільним буде тільки знайомлення з інформацією, яку потрібно мати на увазі при визначенні тенденції.

Пошук проводиться по ключовим словам, які потрібно визначити самостійно, щодо тематики магістерської роботи. Ключові слова або логічне їх поєднання вносяться у відповідне поле. Якщо тематика, напрямок, загальний зміст магістерської роботи ще не визначено, то тематику пошуку допомагає визначити індивідуально керівник заняття. При цьому пошук здійснюється за наступними базовими складовими: пристрій, спосіб, матеріал. Наприклад, пристрій для гасіння коливань, спосіб перетворення руху, склад зносостійкого покриття та ін. Якщо попередньо здійснено визначення назви патенту, або відомий автор, то пошук можливо проводити й за цією ознакою.

Завдання. Провести збір патентних даних стосовно вдосконалення рівня технічного стану одного з елементів конструкції транспортного засобу по ключовим словам. Об'єкт пошуку визначити самостійно. При цьому виявити 3-5 патентів на корисну модель, винахід. Отримані данні занести у таблицю 6.1. Зі складеного переліку виділити найбільш близький по суті до об'єкту дослідження магістерської роботи. З отриманого опису визначити: аналогові

пристрої; прототипи; їх недоліки та способи їх усунення; присутні ознаки, що є новітніми; пропонувані технічні рішення. Отримані дані занести у таблицю 6.2. В недоліках особливу увагу звернути на порівняння кількісних та якісних оцінок, в запропонованих технічних рішеннях – який рівень якісного та кількісного стану при цьому досягається. Ретельно проаналізувати запропоновані еволюційні зміни в об'єкті вдосконалення.

На підставі проведеного аналізу дати прогнозну оцінку можливого підвищення рівня надійності елемента конструкції транспортного засобу, якій підлягає дослідженню під час роботи над магістерською роботою. При цьому прогнозна оцінка може мати як кількісний, так і якісний вираз.

Якщо магістрант зупиняється тільки на якісній оцінці, то потрібно більш розгорнуто описати той показник надійності, який заслуговує уваги та поліпшені. Наприклад, формулювання може мати наступний вигляд – *«... є передумови для поліпшення контролепридатності та доступності за рахунок зміни форми корпусу та кількості деталей, що до нього приєднуються, що в цілому вплине на підвищення рівня ремонтпридатності...»*.

Якщо магістрант зупиняється на кількісній оцінці, то потрібно показати ряд чисельних значень показника, який виражає складову надійності, та значення, передумови для якого складаються за рахунок впровадження тих чи інших технічних рішень. Наприклад, *«... визначено, що наробітка на відмову (або ресурс) вузла..... складає 170000 км, 230000 км, 280000 км, а за рахунок застосування метода обробки робочої поверхні....., можливо збільшити його до 350000 км, що збільшить рівень надійності по зрівнянні з зразком попередньої конструкції у 1,25 рази...»*.

Таблиця 6.1 – Зведені дані по результатах пошуку патентної інформації

№ з/п	Назва патенту (винаходу)	№ патенту (винаходу)	МПК*	Область застосування	Дата публ-ції	Автори / співавт.	Патенто-власник
1	2	3	4	5	6	7	8

*Примітка: МПК – міжнародний патентний класифікатор.

Таблиця 6.2 – Зведені дані по результатах обробки патентної інформації

№ з/п	Назва патенту (винаходу)	№ патенту (винаходу)	Аналоговий пристрій	Недолік	Прототип	Недолік прототипу	Запропоновані технічні рішення
1	2	3	4	5	6	7	8

ПОШУК

Записів на сторінці

Актуалізовано 2014-09-26 13:29:58 ☐ Шукати в знайденому

Ключові слова в назві (uk)		велосипед ТА причіп
(10) Вид та номер охоронного документа СРСР		1314963
(11) Номер патенту		56
(21) Номер заявки		u200804180
(22) Дата подання заявки		15.01.2004
(24) Дата, з якої є чинними права		17.06.2002
(31) Номер попередньої заявки		60/171,906
(32) Дата подання попередньої заявки		22.05.2008
(33) Двобуквенний код держави		UA
(46) Дата публікації відомостей про видачу патенту		15.08.2005
(46) Номер бюлетеня		11/2006
(51) Індекс МПК		A01B 13/08
(56) Аналоги винаходу		SU 716711
(86) Номер заявки РСТ		PCT/CN03/00069
(86) Дата подання заявки РСТ		01.12.2004

Рисунок 6.1 – Поле пошуку

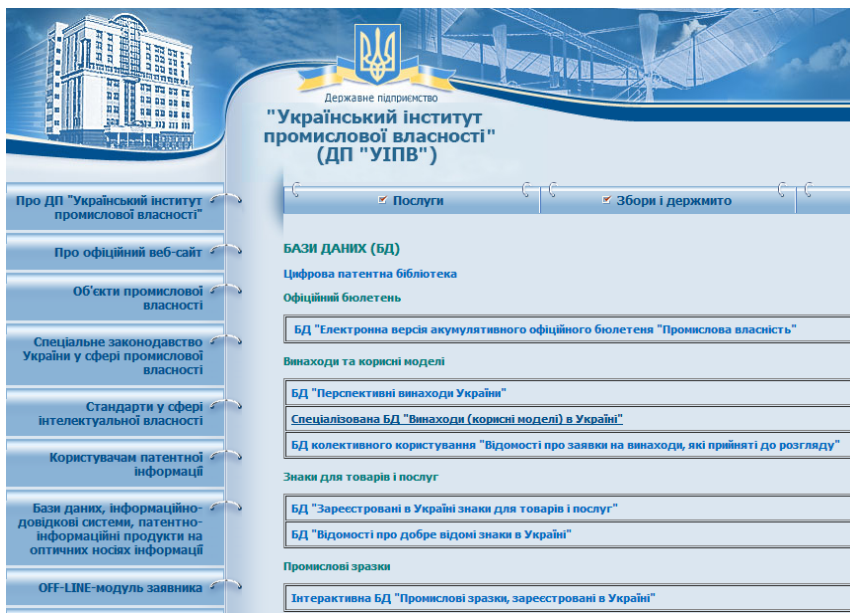


Рисунок 6.2 – Головна сторінка поля пошуку

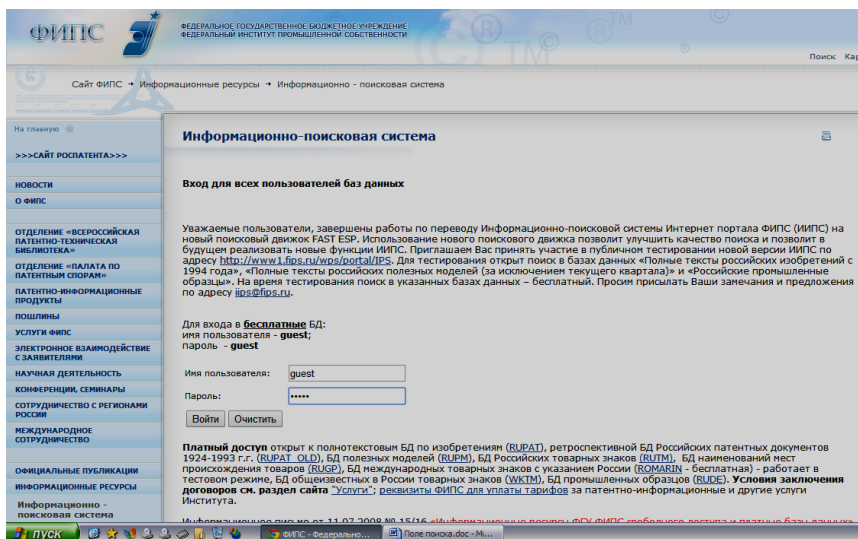


Рисунок 6.3 – Головна сторінка інформаційно-пошукової системи (ПИС) сайту ФІПС

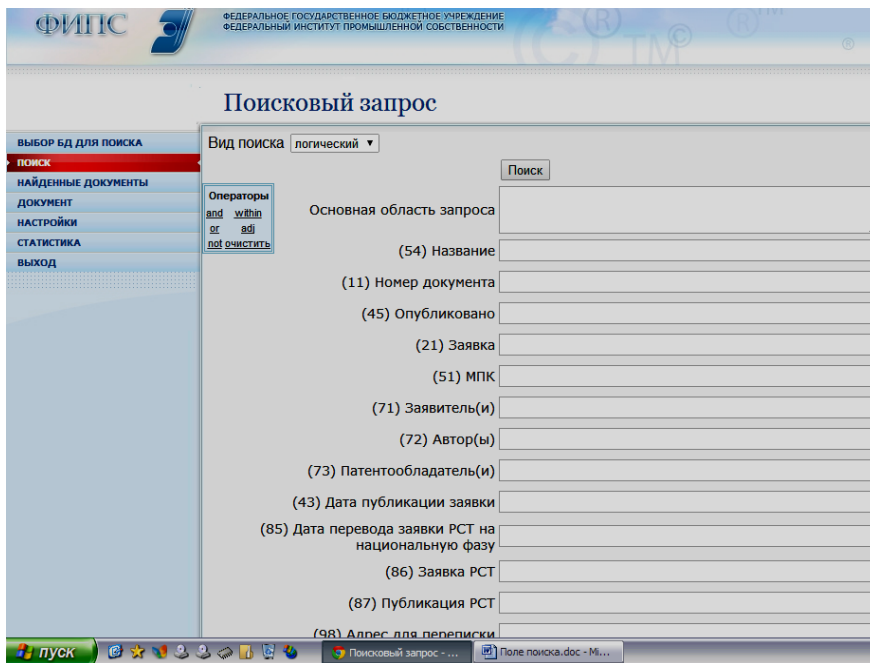


Рисунок 6.4 – Поле пошуку інформаційно-пошукової системи (ІПС) сайту ФПІВ

7 ЗАВДАННЯ № 4.

ВИЗНАЧЕННЯ РЕСУРСУ АГРЕГАТУ АВТОМОБІЛЯ НА ПРОГНОЗОВАНИЙ ПЕРІОД ЧАСУ

Мета завдання – придбати первісні навички у застосуванні аналітичних залежностей для визначення значення прогнозованого показника надійності транспортного засобу методом прямої екстраполяції.

Методичні вказівки

В залежності від процедури побудови моделей методи прогнозування, засновані на екстраполяції, поділяються на наступні

види [7]: пряма екстраполяція; адаптивна екстраполяція; метод кривих, що огинаються; параметричні методи.

Як правило, найчастіше на практиці використовують методи прямої екстраполяції.

В основі прогнозування надійності методами екстраполяції лежать закономірності зміни прогнозованих параметрів надійності машин в часі. При цьому, процедура прогнозування складається з декількох етапів:

- аналіз початкових даних і побудова графіка, що ілюструє зміну прогнозованого параметру у часі;
- визначення аналітичного виразу (математичної моделі), що описує закономірність зміни прогнозованого параметра у часі;
- екстраполяція отриманого рівняння і прогнозування показника надійності на заданий період.

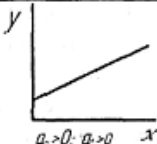
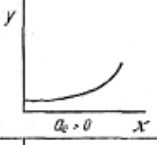
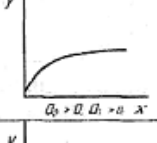
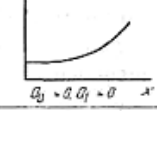
Після побудови графіків за результатами випробувань або досліджень в експлуатації, що відображають зв'язок між змінами, підбирають аналітичну функцію. Вибір кривої визначається суб'єктивними чинниками. Тут велике значення має правильне логічне пояснення залежності аналізованих параметрів з урахуванням їх розвитку у минулому. Необхідно прагнути по можливості підбирати найбільш прості аналітичні функції з мінімальним числом змінних.

В загальному вигляді функція зміни параметра технічного стану (показника надійності) має наступний вигляд $f(x) = a \cdot x^a$.

Основні аналітичні залежності, що найчастіше використовуються при прогнозуванні надійності машин та їх елементів, а також формули для визначення постійних параметрів функції представлені в таблиці 7.1.

Існує ряд методів визначення постійних параметрів емпіричних формул: метод вибраних точок; метод середніх; метод найменших квадратів.

Таблиця 7.1 – Аналітичні залежності за методом прямої екстраполяції, що використовуються при прогнозуванні надійності машин

Аналітичні залежності	Формули для визначення параметрів залежностей	Графіки функцій
$y = a_0 x_0 + a_1$	$a_0 = \frac{n \sum x_i y_i - \sum x_i \sum y_i}{n \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2};$ $a_1 = \frac{\sum y_i \sum x_i^2 - \sum x_i \sum x_i y_i}{n \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2}.$	 $a_0 > 0, a_1 > 0$
$y = a_0 x^2 + a_1 x + a_2$	$a_0 \sum x_i^4 + a_1 \sum x_i^3 + a_2 \sum x_i^2 = \sum x_i^2 y_i;$ $a_0 \sum x_i^3 + a_1 \sum x_i^2 + a_2 \sum x_i = \sum x_i y_i;$ $a_0 \sum x_i^2 + a_1 \sum x_i + a_2 n = \sum y_i.$	 $a_0 > 0$
$y = a_0 x^{a_1}$	$\sum y_i x_i^{a_1} - a_0 \sum x_i^{2a_1} = 0;$ $\sum y_i x_i^{a_1} \ln x_i - a_0 \sum x_i^{2a_1} \ln x_i = 0.$	 $a_0 > 0, a_1 > 0$
$y = a_0 e^{a_1 x}$	$\sum y_i e^{a_1 x_i} - a_0 \sum e^{2a_1 x_i} = 0;$ $\sum y_i x_i e^{a_1 x_i} - a_0 \sum x_i^2 e^{2a_1 x_i} = 0.$	 $a_0 > 0, a_1 > 0$

Завдання. В результаті збору і обробки інформації про надійність агрегатів автомобіля відносно зміни статистичного ресурсу до капітального ремонту отримані наступні данні (табл. 7.2). Провести розрахунки ресурсу агрегату на роки періоду 2015-2018 рр. за довірчою ймовірністю (достовірністю) 0,7; 0,8; 0,9. Вихідні данні для розрахунків наведено в таблиці 7.2. Розрахунки оформити в робочих зошитах. При цьому кожний розрахунок повинен супроводжуватися описом дії та проміжними обчисленнями.

На підставі виконаного завдання зробити відповідні висновки. Поточний контроль знань з розглянутих питань здійснюється на наступному занятті у письмовій формі.

Таблиця 7.2 – Вихідні данні

Варіант	Рік					
	2012	2013	2014	2016	2017	2019
	Δt (інтервал часу)					
	1	2	3	4	5	6
	T (ресурс), тис. мотогод.					
1	5	8	-	13	17	21
2	6	8	10	-	13	15
3	6	13	19	25	-	33
4	5	-	12	14	-	17
5	8	10	-	13	16	18

Приклад рішення полягає у наступному.

1) На підставі вихідних даних необхідно побудувати графік функції $y=f(x)$, наприклад, (рис. 7.1) [7].

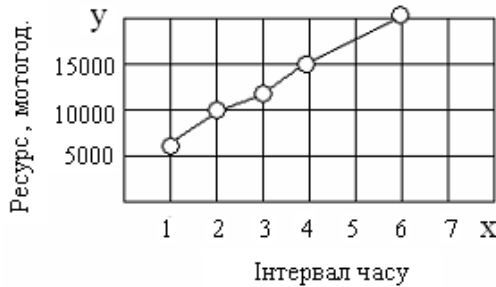


Рисунок 3.1 – Графік зміни прогнозованого параметра в часі

2) Виходячи з виду побудованого графіка потрібно вибирати модель прогнозування. У даному випадку вона буде мати вигляд $y = a_0 + a_1 x$.

3) Надалі по аналітичних залежностях (табл. 7.1) потрібно визначити параметри a_0 та a_1 . У даному випадку параметри будуть мати значення: $a_0 = 4,54 \cdot 10^3$ і $a_1 = 2,6 \cdot 10^3$.

Тоді, лінійна модель прогнозу з урахуванням розрахованих її параметрів набере наступного вигляду: $y = 4,54 \cdot 10^3 + 2,6 \cdot 10^3 x$.

4) Надалі проводиться обчислення теоретичного динамічного ряду:

$$\bar{y}_1 = 4,54 \cdot 10^3 + 2,6 \cdot 10^3 \cdot 1 = 7,14 \text{ тис. мотогод.};$$

$$\bar{y}_2 = 4,54 \cdot 10^3 + 2,6 \cdot 10^3 \cdot 2 = 9,74 \text{ тис. мотогод.};$$

$$\bar{y}_3 = 4,54 \cdot 10^3 + 2,6 \cdot 10^3 \cdot 3 = 12,34 \text{ тис. мотогод.};$$

$$\bar{y}_4 = 14,94 \text{ тис. мотогод.};$$

$$\bar{y}_6 = 20,14 \text{ тис. мотогод.}$$

5) Тоді, на підставі отриманої залежності прогноз на один інтервал вперед (на 2020 р.):

$$\bar{y}_7 = 4,54 \cdot 10^3 + 2,6 \cdot 10^3 \cdot 7 = 22,74 \cdot 10^3 \text{ тис. мотогод.}$$

Прогноз на два інтервали вперед (на 2021 р.):

$$\bar{y}_8 = 4,54 \cdot 10^3 + 2,6 \cdot 10^3 \cdot 8 = 25,34 \cdot 10^3 \text{ тис. мотогод.}.$$

Прогноз на три інтервали вперед (на 2022 р.):

$$\bar{y}_9 = 27,94 \text{ тис. мотогод.}$$

6) Після цього проводиться обчислення помилки прогнозу за формулою:

$$\sigma_y = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y}_i)^2}{1-n}} = \sqrt{\frac{(y_1 - \bar{y}_1)^2 + (y_2 - \bar{y}_2)^2 + \dots + (y_6 - \bar{y}_6)^2}{5}} \\ = 0,21 \text{ тис. мотогод.}$$

Для оцінки розрахунків за довірчою ймовірністю потрібно визначити значення довірчого інтервалу μ , $\mu = \sigma_{arg} \Phi(P_o) = \sigma t$, де $y_{arg} \Phi(P_o)$ – аргумент функції Лапласа або Стюдента (при $n < 10$), t – гарантійний коефіцієнт (табл. 7.3). За допомогою t визначають довірчу ймовірність похибки виміру (розрахунку). Тобто, при: $\Phi(t) = 0,68$, $t = 1,0$; $\Phi(t) = 0,76$, $t = 1,2$; $\Phi(t) = 0,9$, $t = 1,7$; $\Phi(t) = 0,95$, $t = 2,0$; $\Phi(t) = 0,999$, $t = 3,0$.

Таблиця 7.3 – Значення функції Лапласа

t	$\Phi(t)$	t	$\Phi(t)$	t	$\Phi(t)$
0,00	0,0000	0,75	0,5467	1,50	0,8664
0,05	0,0399	0,80	0,5763	1,55	0,8789
0,10	0,0797	0,85	0,6047	1,60	0,8904
0,15	0,1192	0,90	0,6319	1,65	0,9011
0,20	0,1585	0,95	0,6579	1,70	0,9109
0,25	0,1974	1,00	0,6827	1,75	0,9199
0,30	0,2357	1,05	0,7063	1,80	0,9281
0,35	0,2737	1,10	0,7287	1,85	0,9357
0,40	0,3108	1,15	0,7419	1,90	0,9426
0,45	0,3473	1,20	0,7699	1,95	0,9488
0,50	0,3829	1,25	0,7887	2,00	0,9545
0,55	0,4177	1,30	0,8064	2,25	0,9856
0,60	0,4515	1,35	0,8230	2,50	0,9876
0,65	0,4843	1,40	0,8385	3,00	0,9973
0,70	0,5161	1,45	0,8529	4,00	0,9999

7) Тоді з імовірністю $P_0=0,68$ будемо мати наступні значення:

$$y_7^* = y_7 \pm t\sigma = 22,74 \pm 0,21 \text{ тис. мотогод.};$$

$$y_8^* = 25,34 \pm 0,21 \text{ тис. мотогод.};$$

$$y_9^* = 27,94 \pm 0,21 \text{ тис. мотогод.}$$

8) Надалі з ймовірністю 0,95:

$$y_7^* = y_7 \pm 2\sigma = 22,74 \pm 0,42 \text{ тис. мотогод.};$$

$$y_8^* = 25,34 \pm 0,42 \text{ тис. мотогод.};$$

$$y_9^* = 27,94 \pm 0,42 \text{ тис. мотогод.}$$

9) З ймовірністю 0,997:

$$y_7^* = y_7 \pm 3\sigma = 22,74 \pm 0,63 \text{ тис. мотогод.};$$

$$y_8^* = 25,34 \pm 0,63 \text{ тис. мотогод.};$$

$$y_9^* = 27,94 \pm 0,63 \text{ тис. мотогод.}$$

Таким чином, ресурс двигуна машини з ймовірністю 0,95 складе:

– у 2020 році – $T_1=22,74\pm0,42$ тис. мотогод.;

– у 2021 році – $T_2=25,34\pm0,42$ тис. мотогод.;

– у 2022 році – $T_3=27,94\pm0,42$ тис. мотогод.

8 ЗАВДАННЯ № 5.

ПРОГНОЗУВАННЯ ВИТРАТИ ЧАСУ НА ОБСЛУГОВУВАННЯ ТРАНСПОРТНОГО ЗАСОБУ З ВИЗНАЧЕНОЮ ПОТУЖНІСТЮ

Мета завдання – придбати первісні навички у застосуванні аналітичних залежностей для визначення значення прогнозованого часу на технічне обслуговування транспортного засобу методом прямої екстраполяції.

Завдання. В результаті збору та обробки інформації встановлена витрата часу на технічне обслуговування тракторів з деякою номінальною потужністю двигунів (табл. 8.1). Знаючи тривалість щоденного технічного обслуговування (ТО) для існуючих базових колісних тракторів визначити витрати часу на ТО для трактора потужністю N_x кВт за довірчою ймовірністю згідно з варіантом завдання. Розрахунки оформити у відповідності з наведеним прикладом. При цьому кожний розрахунок повинен супроводжуватися описом дії та проміжними обчисленнями.

Таблиця 8.1 – Вихідні данні дані

№ з.п.	Марка трактора	Варіант									
		1		2		3		4		5	
		Номінальна потужність, кВт	Тривалість ТО, хв.	Номінальна потужність, кВт	Тривалість ТО, хв.	Номінальна потужність, кВт	Тривалість ТО, хв.	Номінальна потужність, кВт	Тривалість ТО, хв.	Номінальна потужність, кВт	Тривалість ТО, хв.
1	T-25A	19,6	14	20,4	17	21,4	18	14,2	13	23,8	20
2	T-30A-80	24,3	14	24,1	17	23,6	18	18,1	13	27,4	20
3	ЛТЗ-55	38,8	16	39,9	19	37,8	20	32,4	15	41,4	22
4	МТЗ-572	46,3	16	46,1	19	45,1	20	40,3	15	49,5	22
5	МТЗ-82Д	58,5	18	56,8	19	57,9	20	53,1	15	63,1	22
6	МТЗ-1221	86,0	22	87,2	22	90,0	24	84,0	17	90,2	24
7	ХТЗ-17221	120,6	26	123,4	25	124,2	26	117,0	21	126,8	28
8	K-701M	222,0	32	224,0	31	226,0	33	220,0	27	229,3	34
Потужність N_x , кВт		285		290		270		300		310	
Достовірність P_δ		0,8		0,9		0,8		0,9		0,95	

Приклад рішення полягає у наступному.

Введемо позначення: x – номінальна потужність двигуна трактора; y – тривалість ТО. Оцінимо рівень статистичного взаємозв'язку між даними величинами. Для цього необхідно розрахувати коефіцієнт парної кореляції:

$$r_{xy} = \frac{K_{xy}}{\sigma_x \cdot \sigma_y}, \quad (8.1)$$

де K_{xy} – кореляційний момент;

σ_x , σ_y – відповідно середні квадратичні відхилення даних величин.

Визначимо середні значення $\bar{x}$ і $\bar{y}$ по формулах:

$$\bar{x} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i = \frac{611,8}{8} = 76,5 \text{ кВт};$$

$$\bar{y} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N y_i = \frac{160}{8} = 20 \text{ хв.}$$

Проведемо розрахунки і занесемо їх в таблицю 8.2.

Таблиця 8.2 – Розрахунок коефіцієнта парної кореляції

№	$x_i - \bar{x}$	$y_i - \bar{y}$	$(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})$	$(x_i - \bar{x})^2$	$(y_i - \bar{y})^2$
1	- 58,1	- 4	232,4	3375,61	16
2	- 54,4	- 4	217,6	2959,36	16
3	- 39,7	- 2	79,4	1576,09	4
4	- 32,4	- 2	64,8	1049,76	4
5	- 19,1	- 2	38,2	364,81	4
6	11,5	0	0	132,25	0
7	44,5	4	178,0	1980,25	16
8	147,5	10	1475,0	21756,25	100
Σ	-	-	2285,4	33194,38	160

Обчислимо середні квадратичні відхилення:

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum (x_i - \bar{x})^2} = \sqrt{\frac{33194,38}{8-1}} = 68,86 \text{ кВт};$$

$$\sigma_y = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum (y_i - \bar{y})^2} = \sqrt{\frac{160}{8-1}} = 4,78 \text{ хв.}$$

Визначимо кореляційний момент:

$$K_{xy} = \frac{1}{N} \sum (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y}) = \frac{2285,4}{8} = 285,67 \text{ кВт} \cdot \text{хв.}$$

По формулі (8.1) знайдемо коефіцієнт парної кореляції:

$$r_{xy} = \frac{K_{xy}}{\sigma_x \cdot \sigma_y} = \frac{285,67}{68,86 \cdot 4,78} \approx 0,87.$$

Значення коефіцієнта парної кореляції дорівнює $r_{xy} \approx 0,87$. На практиці значення коефіцієнта $r_{xy} > (0,7 \dots 0,8)$ говорять про високий ступінь статистичного взаємозв'язку між даними величинами. При цьому для практичних розрахунків r_{xy} доцільно використовувати пакети прикладних програм на ПЕОМ.

Дані прикладу нанесемо на графік (рис. 8.2) і виберемо вид залежності для опису заданої закономірності.

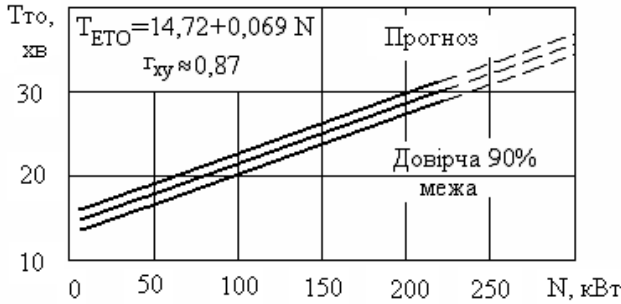


Рисунок 8.2 – Залежність часу на ТО колісних тракторів від номінальних потужності

З урахуванням розташування точок на графіку вибираємо лінійну залежність, що описується рівнянням вигляду $y = a + bx$. Невідомими в цьому рівнянні є значення коефіцієнтів a і b , що визначаються по статистичній інформації методом найменших квадратів. Для цього необхідно розв'язати систему рівнянь (8.2) відносно a і b :

$$\begin{cases} Na + \sum x_i b = \sum y_i; \\ \sum x_i a + \sum x_i^2 b = \sum y_i x_i. \end{cases} \quad (8.2)$$

Значення коефіцієнтів системи рівнянь розраховуємо по залежностях, приведених в таблиці 8.3.

З урахуванням результатів розрахунку система рівняння (8.2) набере наступного вигляду:

$$\begin{cases} 8a + 611,8b = 160; \\ 611,8a + 79981,8b = 14521,4. \end{cases}$$

Таблиця 8.3 – Розрахунок коефіцієнтів системи рівнянь і залишкової дисперсії

№	x_i , кВт	y_i , хв	$x_i y_i$, кВт·хв	x_i^2 , кВт ²	$\bar{y}_i$, хв	$(\bar{y}_i - y_i)^2 \cdot 10^3$, хв ²
1	18,4	16	294,4	338,6	15,98	0,4
2	22,1	16	353,6	488,4	16,24	57,6
3	36,8	18	662,4	1354,2	17,26	547,6
4	44,1	18	793,8	1944,8	17,76	57,6
5	57,4	18	1033,2	3294,8	18,68	462,4
6	88,0	20	1760,0	7744,0	20,79	624,1
7	121,0	24	2904,0	14641,0	23,07	864,9
8	224,0	30	6720,0	50176,0	30,18	32,4
Σ	611,8	160	14521,4	79981,8	-	2647,0

В ході розв'язання системи отримаємо $a=14,72$ і $b=0,069$. Графік залежності показаний на рисунку 8.2 суцільною лінією, а прогнозовані значення – пунктиром. Так, для $x_i=300$ кВт прогнозоване значення $y_i=35,42$ хв.

Залишкову дисперсію, що характеризує розкид даних відносно отриманого рівняння (функції), визначають по формулі:

$$S_{\text{зал.}}^2 = \sum_{i=1}^N (\bar{y}_i - y_i)^2 = 2,647 \text{ хв}^2,$$

де $\bar{y}_i$ – розрахункові значення параметра, що визначаються з рівняння $\bar{y}_i = 14,72 + 0,069 \cdot x_i$.

Стандартну похибку визначають по формулі:

$$S_r = \sqrt{\frac{1}{N-2} S_{\text{зал.}}^2} = \sqrt{\frac{2,647}{8-2}} = 0,664 \text{ хв.}$$

Стандартну похибку прогнозу для $x_i=300$ визначають таким чином:

$$S_y = S_r \sqrt{1 + \frac{1}{N} + \frac{(x_i - \bar{x})^2}{\sum (x_i - \bar{x})^2}} = 0,664 \sqrt{1 + \frac{1}{8} + \frac{(300 - 76,5)^2}{33194,38}} \approx 1,077 \text{ хв.}$$

Таблиця 8.4 – Значення коефіцієнта Стюдента

n	Значення t_β при P_o					
	0,8	0,9	0,95	0,99	0,995	0,999
2	3,080	6,31	12,71	63,70	127,30	637,20
3	1,886	2,92	4,30	9,92	14,10	31,60
4	1,638	2,35	3,18	5,84	7,50	12,94
5	1,533	2,13	2,77	4,60	5,60	8,61
6	1,476	2,02	2,57	4,03	4,77	6,86
7	1,440	1,94	2,45	3,71	4,32	5,96
8	1,415	1,90	2,36	2,50	4,03	5,40
9	1,397	1,86	2,31	3,36	3,83	5,04
10	1,383	1,83	2,26	3,25	3,69	4,78
12	1,363	1,80	2,20	3,11	3,50	4,49
14	1,350	1,77	2,16	3,01	3,37	4,22
16	1,341	1,75	2,13	2,95	3,29	4,07
18	1,333	1,74	2,11	2,90	3,22	3,96
20	1,328	1,73	2,09	2,86	3,17	3,88
30	1,316	1,70	2,04	2,75	3,20	3,65
40	1,306	1,68	2,02	2,70	3,12	3,55
50	1,298	1,68	2,01	2,68	3,09	3,50
60	1,290	1,67	2,00	2,66	3,06	3,46
∞	1,282	1,64	1,96	2,58	2,81	3,29

Відхилення від середнього значення знаходять з урахуванням довірчої ймовірності $\pm t_\beta S_y$. Наприклад, для отриманих даних задачі, яка розглядається, при рівні довірчої ймовірності $P_o=0,9$ значення тривалості на ТО буде знаходитиметься в інтервалі $T_{TO} = 35,42 \pm 1,90 \cdot 1,077$ або $T_{TO} = 35,42 \pm 2,05$ хв. У даному випадку t_β – коефіцієнт Стюдента, який при $n=8$ та $P_o=0,9$ складає 1,9 (табл. 3.7).

РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Надійність сільськогосподарської техніки: підручник; друге видання; перероб. і доп. / М. І. Черновол, В. Ю. Черкун, В. В. Аулін та ін. // За заг. ред. М. І. Чорновола. Кіровоград : КОД, 2010. 320 с.
2. Острейковский В. А. Теория надежности. М. : Высшая школа, 2003. 463 с.
3. Лукинский В. С., Зайцев Е. И. Прогнозирование надежности автомобилей. Л. : Политехника, 1991. 224 с.
4. Двигуни внутрішнього згорання. Надійність машин / Ф. І. Абрамчук та ін. Київ : Либідь, 2005. Т.6.
5. Надійність машин / В. Е. Канарчук та ін. Київ : Либідь, 2003.
6. Кубич В. И., Ивченко Л. Й. Прогнозирование ресурсов элементов трибосопряжения «шейка-покрытие-вкладыш». Проблемы техники. 2012. №3. С. 27-35.
7. Методичні вказівки до виконання практичних занять з дисципліни «Прогнозування надійності та довговічності транспортних засобів» для студентів всіх форм навчання освітньо-кваліфікаційного рівня «магістр» спеціальності 8.05050305 «Колісні та гусеничні транспортні засоби». / Укл. : В. І. Кубіч. Запоріжжя : ЗНТУ, 2014. 78 с.
8. Пронников А. С. Параметрическая надежность машин. М. : Изд-во МГТУ им. Н. Є. Баумана, 2002. 560 с.
9. Крамаренко Г. В. Техническая эксплуатация. М. : Транспорт, 1983.
10. Авдонькин Ф. Н. Теоретические основы технической эксплуатации автомобилей. М. : Транспорт. 1985.
11. Гурвич И. Б. Эксплуатационная надежность автомобильных двигунів. М. : Транспорт. 1984.
12. Термінологічний словник-довідник з трибології, надійності, нанотехнологій / Л. Й. Івченко, В. Ю. Черкун, В. І. Кубіч, В. В. Черкун / за заг. ред. Л. Й. Івченко. Запоріжжя : ЗНТУ, 2016. 116 с.

ІНФОРМАЦІЙНІ РЕСУРСИ

1. Васілевський О. М., Поджаренко В. О. Нормування показників надійності технічних засобів: навч. посіб. URL: <http://posibnyky.vntu.edu.ua/pdf/000754.pdf>.
2. Власенко К. В., Грудкіна Н. С. Надійність технічних систем. Методичні рекомендації до самостійної роботи. URL: <http://www.dgma.donetsk.ua/metod/vm/118.pdf>.
3. Надійність техніки. Оцінювання і прогнозування залишкового ресурсу (терміну служби) технічних систем. ДСТУ. URL: http://www.immsp.kiev.ua/activity/Napriam%208_Standarty/Standart_Zalyshkovij_resurs.pdf.
4. Анализ надежности двигателей внутреннего сгорания с различными системами топливоподачи. URL: <http://cyberleninka.ru/>.
5. Выбор моделей долговечности деталей ДВС на стадии проектирования. URL: <http://www.avtomash.ru/>.
6. Матвеевский В. Р. Надежность технических систем. Учебное пособие. URL: <http://window.edu.ru/resource/741/24741/files/9.pdf>.
7. Надежность технических систем: лекции. file:///C:/Documents%20and%20Settings/.pdf.
8. Болотин В. В. Прогнозирование ресурса машин и конструкций. URL: <http://www.twirpx.com/file/961453/>.
9. Прогнозирование ресурса машин на основе физики их отказа. URL: <http://otherreferats.allbest.ru/manufacture/c00082890.html>.
10. Прогнозирование ресурса машин на основе физики их отказа. URL: <http://revolution.allbest.ru/transport/00304572.html>.
11. Прогнозирование ресурса машин и конструкций. URL: http://www.kodges.ru/tehnika/other_tehn/44513-prognozirovanie-resursa-mashin-i-konstrukcij.html.
12. Прогнозирование ресурса машин и конструкций. URL: <http://mirknig.com/2011/11/02/prognozirovanie-resursa-mashin-i-konstrukciy.html>.

Додаток А

Вихідні дані для завдання № 1 (задачі № 1-3)

Таблиця А.1 - Вихідні дані

В	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
f_{cp}	105	100	110	105	110	90	95	115	110	125	125	95	100	110	115	105	80	120	170	145	130	140	125
σ	45	27	30	42	28	32	25	36	33	32	28	26	31	23	35	32	28	36	45	39	32	40	35
f_1	65	60	75	65	75	55	75	85	90	75	55	45	55	80	75	40	75	85	140	95	100	125	75
f_2	75	65	80	70	85	65	80	95	95	85	75	55	70	90	85	70	85	90	160	100	135	145	90
f_3	85	80	85	75	95	70	85	100	100	90	95	65	80	95	100	85	90	130	190	140	160	170	110
f_4	95	90	95	80	100	85	90	105	105	110	100	75	85	105	105	90	95	150	200	160	200	220	130

Таблиця А.2 - Вихідні дані

В	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
f_{cp}	105	100	110	105	110	90	95	115	110	125	125	95	100	110	115	105	105	110	90	95	115	110	125
σ	35	32	34	25	26	30	35	36	33	40	32	28	32	26	32	42	35	28	26	31	15	34	28
f_1	60	50	55	45	65	50	50	70	65	75	45	30	40	70	45	40	45	65	50	50	70	65	75
f_2	65	55	60	50	70	55	55	75	70	80	55	35	45	80	55	45	50	70	55	55	75	70	80
f_3	70	60	65	55	75	60	60	80	75	85	65	45	50	75	65	50	55	75	60	60	80	75	85
f_4	75	65	70	60	80	65	65	85	80	90	70	55	55	80	70	55	60	80	65	65	85	80	90
f_5	80	70	80	65	85	70	70	90	85	95	75	60	60	85	80	60	65	85	70	70	90	85	95
f_6	85	75	85	70	90	75	75	95	90	100	80	65	70	90	85	70	70	90	75	75	95	90	100
f_7	90	80	90	75	95	85	80	100	95	105	90	70	75	100	95	80	75	95	85	80	100	95	105
f_8	95	85	95	80	100	90	90	110	105	110	100	75	85	105	105	90	80	100	90	90	110	105	110

Таблиця А.3 - Вихідні дані

В	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
f_{cp}	160	170	185	160	175	165	170	160	165	188	175	182	166	170	163	174	182	178	190	160	175	162	164
σ	43	48	32	41	42	39	34	40	42	43	32	38	31	32	33	29	32	31	42	38	34	26	22
η'	0.8	0.7	0.9	0.8	0.8	0.6	0.7	0.8	0.9	0.6	0.8	0.6	0.8	0.9	0.7	0.6	0.9	0.8	0.6	0.7	0.8	0.9	0.9
f_1	140	155	135	138	120	125	130	120	160	125	130	110	160	130	180	140	135	138	120	125	130	120	160
f_2	190	180	185	160	180	190	180	185	200	180	190	150	200	160	220	210	185	165	185	190	180	185	210
f_3	240	240	220	200	240	260	240	255	250	235	260	190	240	220	265	275	220	200	245	260	240	255	250
f_4	285	260	295	250	280	300	280	310	300	290	320	240	280	280	320	315	295	255	280	300	290	310	310

Додаток Б

Вихідні дані для завдання № 2

Таблиця Б.1 – Вихідні дані для завдання № 2

Номер варіанту	Експериментальні дані															
1	Номера відмов			Наробітки двигунів, мотогод.												
				№ 1			№ 2			№ 3			№ 4		№ 5	
	1	11	21	200	90	630	10	370	90	120	50	10	530	80	370	320
	2	12	22	300	110	450	570	160	20	50	190	410	310	390	510	170
	3	13	23	120	20	140	430	50		30	130	160	720	100	330	60
	4	14	24	170	70	310	120	200		340	400	310	30	710	10	180
	5	15	25	140	830	680	110	450		270	410		260	190	170	410
	6	16	26	50	160	740	240	720		810	570		280	20	860	560
	7	17		110	340		240	320		430	540		40	330	210	100
	8	18		730	310		520	130		90	110		520	630	50	700
	9	19		260	120		220	460		120	270		810	400	420	
	10	20		50	320		30	820		640	70		40		440	
2	Номера відмов			Наробітки двигунів, мотогод.												
				№ 1			№ 2			№ 3			№ 4		№ 5	
	1	11	21	190	80	640	20	370	90	120	60	10	530	90	370	320
	2	12	22	310	140	450	520	160	20	50	190	410	310	390	510	170
	3	13	23	130	20	130	460	50	180	30	130	160	720	100	330	60
	4	14	24	170	70	310	120	190		340	400	310	30	710	10	180
	5	15	25	120	850	680	150	460		270	410	240	260	190	170	410
	6	16	26	60	150	730	270	760		810	570		280	20	860	560
	7	17	27	110	440	500	240	320		430	540		40	330	210	100
	8	18		710	370		510	130		90	110		520	630	50	690
	9	19		260	120		220	430		120	270		810	400	420	
	10	20		70	320		40	810		640	70		40	170	440	

Номер варіанту	Експериментальні дані															
3	Номера відмов			Наробітки двипушів, мотогод												
				№ 1			№ 2			№ 3			№ 4		№ 5	
	1	11	21	200	90	630	10	370	90	120	50	10	530	80	370	320
	2	12	22	300	110	450	570	160	20	50	190	410	310	390	510	170
	3	13	23	120	20	140	430	50	390	30	130	160	720	100	330	60
	4	14	24	170	70	310	120	200	270	340	400	310	30	710	10	180
	5	15	25	140	830	680	110	450	610	270	410	170	260	190	170	410
	6	16	26	50	160	740	240	720		810	570	620	280	20	860	560
	7	17	27	110	340	300	240	320		430	540	90	40	330	210	100
	8	18	28	730	310	230	520	130		90	110	180	520	630	50	700
	9	19		260	120		220	460		120	270		810	400	420	440
	10	20		50	320		30	820		640	70		40	150	440	310
4	Номера відмов			Наробітки двипушів, мотогод												
				№ 1			№ 2			№ 3			№ 4		№ 5	
	1	11	21	200	90	630	40	320	70	120	50	10	530	80	370	320
	2	12	22	300	110	450	570	160	20	50	190	410	310	390	510	170
	3	13	23	120	20	140	430	50	390	30	130	160	720	100	330	60
	4	14	24	170	70	310	140	210	290	340	400	310	30	710	10	180
	5	15	25	140	830	680	110	450	610	270	410	170	260	190	170	410
	6	16	26	50	160	740	240	720	550	810	570	620	280	20	860	560
	7	17	27	110	340	300	240	320		430	540	90	40	330	210	100
	8	18	28	730	310	230	520	130		90	110	180	520	630	50	700
	9	19		260	120		220	460		120	270		810	400	420	
	10	20		50	320		30	820		640	70		40	150	440	

Номер варіанту	Експериментальні дані															
5	Номера відмов			Наробітки двипушів, мотогод												
				№ 1			№ 2			№ 3			№ 4		№ 5	
	1	11	21	140	80	640	70	370	90	120	60	10	530	90	370	320
	2	12	22	310	140	450	520	160	20	50	190	410	310	390	510	170
	3	13	23	130	20	130	460	50	180	30	130	160	720	100	330	60
	4	14	24	170	70	310	120	190	330	340	400	310	30	710	10	180
	5	15	25	120	750	680	150	460	290	270	410	240	260	190	170	410
	6	16	26	80	150	730	270	760	120	810	570	510	280	20	860	560
	7	17	27	110	440	500	240	320	90	430	540		40	330	210	100
	8	18	26	710	370		510	130	530	90	110		520	630	50	690
	9	19	28	260	120		220	430	700	120	270		810	400	420	720
	10	20		70	320		40	810		640	70		40	170	440	
6	Номера відмов			Наробітки двипушів, мотогод												
				№ 1			№ 2			№ 3			№ 4		№ 5	
	1	11	21	190	90	630	10	370	90	110	60	10	430	80	340	390
	2	12	22	310	110	450	560	160	20	50	190	410	380	390	510	170
	3	13	23	120	20	140	430	50	330	30	130	160	720	150	310	60
	4	14	24	170	70	310	140	200	610	340	400	310	30	710	30	180
	5	15	25	140	860	690	110	450	30	270	410	90	270	190	170	410
	6	16	26	50	160		240	720	50	810	570	190	280	20	860	560
	7	17		110	340		240	320		430	540		40	330	210	100
	8	18		720	310		520	130		90	110		520	630	70	700
	9	19		260	120		220	460		120	270		810	400	420	630
	10	20		50	320		30	820		640	70		40	710	440	

Номер варіанту	Експериментальні дані																
7	Номера відмов			Наробітки двигунів, мотогод													
				№ 1			№ 2			№ 3			№ 4			№ 5	
	1	11	21	180	100	660	10	370	90	110	60	10	430	80	340	390	
	2	12	22	300	110	450	560	160	20	50	190	410	380	390	510	170	
	3	13	23	120	20	140	430	50	330	30	130	160	720	150	310	60	
	4	14	24	170	70	310	140	200	610	340	400	310	30	710	30	180	
	5	15	25	140	860	690	110	450	30	270	410	90	270	190	170	410	
	6	16	26	50	160	430	240	720	50	810	570	190	280	20	860	560	
	7	17	27	110	340	120	240	320	440	430	540	330	40	330	210	100	
	8	18	28	720	310	50	520	130		90	110	470	520	630	70	700	
	9	19	29	260	120	110	220	460		120	270	630	810	400	420	630	
	10	20		50	320		30	820		640	70	200	40	710	440		
8	Номера відмов			Наробітки двигунів, мотогод													
				№ 1			№ 2			№ 3			№ 4			№ 5	
	1	11	21	150	40	680	50	370	90	120	70	30	530	90	370	320	
	2	12	22	310	140	450	520	160	20	50	190	410	330	380	510	170	
	3	13	23	130	20	130	460	50	180	30	130	160	720	100	330	60	
	4	14	24	170	70	310	120	190	330	340	400	310	30	710	10	180	
	5	15	25	120	750	680	150	460	290	270	410	240	270	190	170	410	
	6	16	26	80	150	730	270	760	120	810	570	510	280	20	860	560	
	7	17	27	110	440	500	240	320	90	430	540	380	40	330	210	100	
	8	18	26	710	370	520	510	130	530	90	110	400	520	630	50	690	
	9	19	28	260	120		220	430	700	120	270		810	400		720	
	10	20		70	320		40	810		640	70		40	170			

Номер варіанту	Експериментальні дані																
9	Номера відмов			Наробітки двигунів, мотогод													
				№ 1			№ 2			№ 3			№ 4			№ 5	
	1	11	21	220	30	430	70	320	70	120	50	10	630	80	370	320	
	2	12	22	300	110	450	570	160	20	50	190	410	410	390	510	170	
	3	13	23	120	20	140	430	50	390	30	130	160	720	100	330	60	
	4	14	24	170	70	310	140	210	290	340	400	310	30	710	10	180	
	5	15	25	140	830	680	110	450	610	270	410	170	260	190	170	410	
	6	16	26	50	160	740	240	720	550	810	570	620	280	20	860	560	
	7	17	27	110	340	300	240	320	570	430	540	90	40	330	210	100	
	8	18	28	730	310	230	520	130		90	110	180	520	140	50	700	
	9	19		260	120		220	460		120	270		810	400	420	520	
	10	20		50	320		30	820		640	70		40	150	440		
10	Номера відмов			Наробітки двигунів, мотогод													
				№ 1			№ 2			№ 3			№ 4			№ 5	
	1	11	21	180	100	660	10	370	90	110	60	10	430	80	340	390	
	2	12	22	300	110	450	560	160	20	50	190	410	380	390	510	170	
	3	13	23	120	20	140	430	50	330	30	130	160	720	150	310	60	
	4	14	24	170	70	310	140	200	610	340	400	310	30	710	30	180	
	5	15	25	140	860	690	110	450	30	270	410	90	270	190	170	410	
	6	16	26	50	160	430	240	720	50	810	570	190	280	20	860	560	
	7	17	27	110	340	120	240	320	440	430	540	330	40	330	210	100	
	8	18	28	720	310	50	520	130		90	110	470	520	630	70	700	
	9	19	29	260	120	110	220	460		120	270	630	810	400	420	630	
	10	20		50	320		30	820		640	70	200	40	710	440		

Додаток В

Значення нормованої функції розподілення $F_0(z)$

z		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0,0	0,	5000	5040	5080	5120	5160	5199	5239	5279	5319	5359
0,1	0,	5398	5438	5478	5517	5557	5596	5636	5675	5714	5753
0,2	0,	5793	5832	5871	5910	5948	5987	6026	6064	6103	6141
0,3	0,	6179	6217	6255	6293	6331	6368	6406	6443	6480	6517
0,4	0,	6554	6594	6628	6664	6700	6736	6772	6808	6844	6879
0,5	0,	6915	6950	6985	7019	7054	7088	7123	7157	7190	7224
0,6	0,	7257	7291	7324	7357	7389	7422	7454	7486	7517	7549
0,7	0,	7580	7611	7642	7673	7704	7734	7764	7794	7823	7852
0,8	0,	7881	7910	7939	7967	7995	8023	8051	8078	8106	8133
0,9	0,	8159	8186	8238	8212	8264	8389	8315	8340	8365	8389
1,0	0,	8413	8438	8461	8485	8508	8531	8554	8577	8599	8621
1,1	0,	8643	8665	8686	8708	8728	8749	8770	8790	8810	8830
1,2	0,	8849	8869	8888	8907	8925	8944	8962	8980	8997	9015
1,3	0,9	0320	0490	0658	0824	0988	1149	1308	1466	1621	1774
1,4	0,9	1924	2073	2220	2364	2507	2647	2785	2922	3056	3189
1,5	0,9	3319	3448	3574	3699	3822	3943	4062	4179	4295	4408
1,6	0,9	4520	4630	4738	4855	4950	5053	5154	5254	5352	5449
1,7	0,9	5543	5637	5738	5818	5907	5994	6080	6164	6246	6327
1,8	0,9	6407	6485	6562	6637	6712	6784	6856	6926	6995	7062
1,9	0,9	7128	7193	7257	7320	7381	7441	7500	7558	7615	7670
2,0	0,9	7725	7778	7831	7882	7932	7982	8030	8087	8124	8169
2,1	0,9	8214	8257	8300	8341	8382	8422	8461	8500	8537	8574
2,2	0,9	8610	8645	8679	8713	8745	8778	8809	8840	8870	8899
2,3	0,9	8928	8956	8983	9010	9036	9061	9086	9111	9143	9158
2,4	0,99	1802	2024	2240	2451	3656	2857	3053	3244	3431	3613
2,5	0,99	3790	3963	4132	4297	4457	4614	4766	4915	5060	5201
2,6	0,99	5339	5473	5603	5731	5855	5975	6093	6207	6319	6427
2,7	0,99	6533	6636	6736	6833	6928	7020	7110	7197	7282	7365
2,8	0,99	7445	7523	7599	7673	7744	7841	7882	7948	8012	8074
2,9	0,99	8134	8193	8250	8305	8359	8411	8462	8511	8559	8605
3,0	0,99	8650	8694	8736	8777	8817	8856	8893	8900	8965	8999
3,1	0,9 ³	0342	0646	0957	1260	1553	1836	2112	2378	2636	2886
3,2	0,9 ³	3129	3363	3590	3810	4022	4230	4429	4623	4810	4991
3,3	0,9 ³	5166	5335	5499	5658	5811	5959	6103	6242	6376	6505
3,4	0,9 ³	6631	6752	6869	6982	7091	7191	7299	7398	7493	7585
3,5	0,9 ³	7674	7760	7842	7922	7999	8074	8146	8215	8282	8347
3,6	0,9 ³	8409	8469	8527	8583	8637	8689	8739	8787	8834	8879
3,7	0,9 ³	8922	8964	9004	9043	9080	9116	9150	9184	9216	9247
3,8	0,9 ⁴	2765	3052	3327	3593	3848	4094	4331	4558	4777	4988
3,9	0,9 ⁴	5190	5385	5573	5753	5926	6092	6252	6406	6554	6696
4,0	0,9 ⁴	6833	6964	7090	7211	7327	7439	7546	7649	7748	7843

Додаток Г

Значення щільності розподілення нормованої функції $\varphi(z)$

$$\text{Значення функції } \varphi(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{z^2}{2}}$$

z		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0,0	0,	3989	3989	3988	3988	3986	3984	3982	3980	3977	3973
0,1	0,	3970	3965	3961	3956	3951	3945	3939	3932	3925	3918
0,2	0,	3910	3902	3894	3885	3876	3867	3857	3847	3836	3825
0,3	0,	3814	3802	3790	3778	3765	3752	3739	3725	3712	3697
0,4	0,	3683	3608	3653	3637	3621	3605	3589	3572	3555	3538
0,5	0,	3521	3503	3485	3467	3448	3429	3410	3391	3372	3352
0,6	0,	3332	3312	3292	3271	3251	3230	3209	3187	3166	3144
0,7	0,	3123	3101	3079	3056	3034	3011	2989	2966	2943	2920
0,8	0,	2897	2874	2850	2827	2803	2780	2756	2732	2709	2685
0,9	0,	2661	2637	2613	2589	2565	2541	2516	2492	2468	2444
1,0	0,	2420	2396	2371	2347	2323	2299	2275	2251	2227	2203
1,1	0,	2179	2155	2131	2107	2083	2059	2036	2012	1989	1965
1,2	0,	1942	1919	1895	1872	1849	1826	1804	1781	1758	1736
1,3	0,	1714	1691	1669	1647	1626	1604	1582	1561	1539	1518
1,4	0,	1497	1476	1456	1435	1415	1394	1374	1354	1334	1315
1,5	0,	1295	1276	1257	1238	1219	1200	1182	1163	1145	1127
1,6	0,	1109	1092	1074	1057	1040	1023	1006	0989	0973	0957
1,7	0,0	9405	9246	9089	8933	8780	8628	8478	8329	8183	8036
1,8	0,0	7895	7754	7614	7477	7341	7206	7074	6943	6814	6687
1,9	0,0	6562	6438	6316	6195	6077	5959	5844	5730	5618	5508
2,0	0,0	5399	5292	5186	5082	4980	4879	4780	4682	4586	4491
2,1	0,0	4398	4307	4217	4128	4041	3955	3871	3788	3706	3626
2,2	0,0	3547	3470	3394	3319	3246	3174	3103	3034	2965	2898
2,3	0,0	2833	2768	2705	2643	2582	2522	2463	2406	2349	2294
2,4	0,0	2239	2186	2134	2083	2033	1984	1936	1888	1842	1797
2,5	0,0	1753	1709	1657	1625	1585	1545	1506	1468	1431	1394
2,6	0,0	1358	1324	1289	1256	1223	1191	1160	1130	1100	1071
2,7	0,0	1042	1014	0987	0961	0935	0908	0885	0867	0837	0814
2,8	0,00	7915	7696	7483	7274	7071	0873	6679	6491	6307	6127
2,9	0,00	5952	5782	5616	5454	5296	5143	4993	4847	4305	4567
3,0	0,00	4482	4301	4173	4046	3928	3810	3095	3584	3475	3370
3,	0,00	4432	3257	2384	1723	1232	0873	0612	0425	0292	0199
4,	0,00	1338	0893	0589	0385	0249	0160	0101	0064	0040	0024
5,	0,00	1487	0897	0536	0317	0186	0108	0062	0035	0020	0011

Додаток Д

Приклад оформлення титульного листа до контрольної роботи

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Запорізький національний технічний університет

Кафедра «Автомобілі»

Контрольна робота
з дисципліни «Надійність технічних систем»

Виконав:
магістрант гр. _____ / П.І.Б.
(дата) (підпис)

Перевірив: _____ / П.І.Б.
(дата) (підпис)

Додаток Е

Приклад оформлення змісту контрольної роботи

Зміст

	Стор.
1 Розрахунок одиничних показників надійності двигунів.....	3
2 Графічна інтерпретація розподілу ймовірностей експериментальних даних щодо надійності двигунів.....	5
3 Виявлення напрямків вдосконалення технічного рівня елементів конструкції транспортного засобу на підставі патентної інформації.....	9
4 Визначення ресурсу агрегату автомобіля на прогнозований період часу.....	11
5 Прогнозування витрати часу на обслуговування транспортного засобу з визначеною потужністю.....	13
Висновки.....	14
Перелік посилань.....	15

Додаток Ж

Приклад оформлення виконаного завдання

Завдання № 1

Розрахунок одиничних показників надійності двигунів

Задача 1.1 Необхідно виписати з методичних вказівок сформульоване завдання, при цьому вихідні данні потрібно вказати у відповідності зі своїм варіантом.

Зі спостережень за партією двигунів ЗМЗ-402.10 і наступної обробки результатів отримані значення $t_{сер.}=96000$ км, $\sigma=18000$ км. За умови, що розподіл відмов підкоряється нормальному закону, визначити показники надійності до напрацювань $t_1=156000$ км, $t_2=182000$ км, $t_3=198000$ км, $t_4=212000$ км:

- ймовірність безвідмовної роботи $P(t)$;
- ймовірність відмови $R(t)$;
- щільність ймовірності відмов $f(t)$;
- інтенсивність відмов $\lambda(t)$.

За отриманими результатами побудувати графіки зміни показників від заданого напрацювання.

Надалі необхідно прописати вираз «Порядок розрахунків», бажано його розмістити по центру сторінки.

Порядок розрахунків

Потрібно прописати ті дії, які безпосередньо виконуються з обов'язковим письмовим супроводженням.

1. Для наробітку $t_1=156000$ км значення показників визначаються наступним чином.

Ймовірність відмови $R(t_1)$ визначається на підставі використання нової випадкової величини z та табульованих значень центрованої функції $F_0(z)$ [1].

Для цього використано математичний вираз (1):

$$z = \frac{t - t_{сер.}}{\sigma}. \quad (1)$$

Так при наробітку $t_1=156000$ км значення z визначиться:

$$z_1 = \frac{t_1 - t_{\text{сер.}}}{\sigma} = \frac{156000 - 96000}{18000} = 3,3.$$

У відповідності з додатком В [1] ймовірність відмови $R(t_1)$ визначиться наступним чином:

$$R(t_1) \approx F_0(z_1) \approx F_0(3) \approx 0,9995.$$

Тоді ймовірність безвідмовної роботи $P(t_1)$ визначиться наступним чином:

$$P(t_1) = 1 - R(t_1) = 1 - 0,9995 = 0,0005.$$

Щільність ймовірності відмов $f(t_1)$ визначиться у відповідності з виразом (2) [1]:

$$f(t) = \frac{\varphi(z)}{\sigma}. \quad (2)$$

Значення диференціального вигляду нормованої центрованої функції $\varphi(z)$ визначиться за значенням z_1 та таблиці додатка Г [1]. Тоді:

$$f(t_1) = \frac{\varphi(z_1)}{\sigma} = \frac{0,999}{18000} = 5,5 \cdot 10^{-5} \text{ км}^{-1}.$$

Інтенсивність відмов $\lambda(t_1)$ визначиться у відповідності з виразом (3) [1]:

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{P(t)}. \quad (3)$$

Тоді для наробітку $t_1=156000$ км інтенсивність відмов $\lambda(t_1)$ буде мати значення:

$$\lambda(t_1) = \frac{f(t_1)}{P(t_1)} = \frac{5,5 \cdot 10^{-5}}{0,0005} = 0,11 \text{ км}^{-1}.$$

Таким чином, отримані чисельні значення показників для наробітку $t_1=156000$ км.

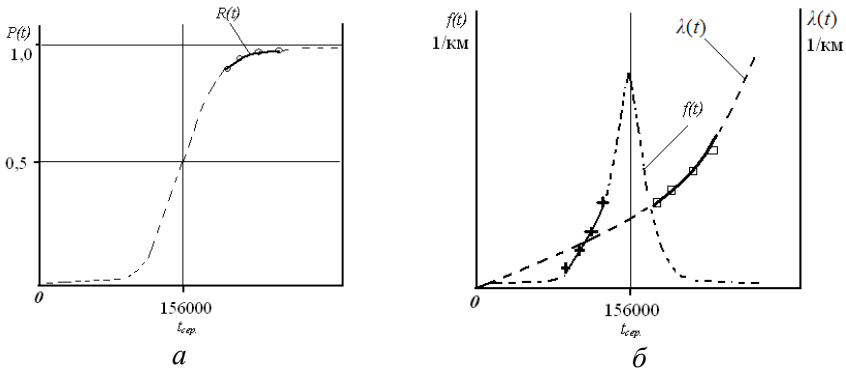
Аналогічним чином здійснюються розрахунки для наступних наробітків (надалі за текстом наводиться порядок розрахунків).

Після виконання розрахунків здійснюється побудування графічних залежностей. При цьому рекомендується до використання два полі координат:

- на першому відображаються значення $P(t)$ і $R(t)$;
- на другому відображаються значення $f(t)$ і $\lambda(t)$.

Перед цим необхідно прописати наступне.

Отримані значення показників відображаю на полях координат та з'єдную лініями для отримання графіків (рис .1 а, б). При цьому розрахункові данні з'єднуються сполушною лінією, а до узагальненого вигляду продовжуються пунктирною.



а – ймовірність безвідмовної роботи $P(t)$ та ймовірність відмови $R(t)$;
 б – щільність ймовірності відмов $f(t)$ та інтенсивність відмов $\lambda(t)$ (на полі за навчальною метою не наведено та не позначені чисельні данні за обраним масштабом)

Рисунок 1 – Графічні залежності показників надійності від наробітку

Надалі необхідно перейти до виконання задачі 1.2 та продовжити розрахунки за запропонованим до використання порядком.