

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Запорізький національний технічний університет

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

**для самостійного вивчення курсу та виконання
контрольних завдань з дисципліни «Прогнозування
надійності та довговічності транспортних засобів»
для студентів всіх форм навчання
освітнього ступеня «магістр»
спеціальності 8.05050305
«Колісні та гусеничні транспортні засоби»**

2015

Методичні вказівки для самостійного вивчення курсу та виконання контрольних завдань з дисципліни «Прогнозування надійності та довговічності транспортних засобів» для студентів всіх форм навчання освітнього ступеня «магістр» спеціальності 8.05050305 «Колісні та гусеничні транспортні засоби». / Укладач: Кубіч В.І. - Запоріжжя: ЗНТУ, 2015. - 46 с.

Укладач: Кубіч В.І., канд. техн. наук, доцент

Рецензент: Слюсаров О.С., канд. техн. наук, доцент

Відповідальний за випуск: Кубіч В.І., канд. техн. наук, доцент

Затверджено
на засіданні кафедри «Автомобілі»
Протокол № 6 від 26.10.2015 р.

ЗМІСТ

	Стор.
Вступ.....	4
1 Загальні положення.....	5
1.1 Ціль викладання дисципліни.....	5
1.2 Рекомендації щодо вивчення дисципліни.....	6
2 Тематика дисципліни.....	7
2.1 Мета, основні задачі прогнозування надійності транспортних засобів.....	7
2.2 Загальна характеристика методів прогнозування надійності транспортних засобів.....	9
2.3 Загальна оцінка якості прогнозування надійності транспортних засобів.....	10
2.4 Система збору та обробки інформації відносно надійності транспортних засобів.....	12
2.5 Розрахунок систем транспортних засобів на надійність.....	12
2.6 Надійність транспортних засобів при випробуваннях.....	13
2.7 Оцінка і прогнозування надійності транспортних засобів....	15
3 Контрольні розрахункові завдання.....	18
3.1 Визначення ресурсу агрегату автомобіля на прогнозований період часу.....	19
3.2 Прогнозування витрати часу на обслуговування транспортного засобу з визначеною потужністю.....	24
3.3 Оцінка відповідності показників надійності встановленим вимогам транспортного засобу при проведенні контрольних випробувань.....	30
3.4 Визначення залишкового ресурсу елемента конструкції транспортного засобу та його межі при заданій надійності...	34
3.5 Прогнозування остаточного ресурсу двигуна на підставі математичної моделі та експертних оцінок.....	37
Література.....	43
Додаток А. Приклад оформлення титульного листа до контрольної роботи.....	44
Додаток Б. Приклад оформлення змісту контрольної роботи.....	45
Додаток В. Приклад оформлення рішення розрахункового завдання.....	46

ВСТУП

Прогноз визначається як імовірнісне науково обґрунтоване судження о перспективах, можливих станах того чи іншого явища у майбутньому і (або) про альтернативні шляхи та строки їх здійснення.

Прогнозування надійності включає визначення показників надійності як характеристик, які розгорнути у часі. При цьому вважається що вихідні данні - вид конструкції, матеріали і технологія їх виготовлення, навантажувальні режими, умови експлуатації транспортних засобів задані. Також прогнозування надійності має на увазі, що вихідні данні для отримання оцінок надійності визначаються з використанням методів прогнозування, що випереджають, наприклад, патентний, публікаційний тощо. Наприклад, на підставі таких підходів прогнозуються параметри кривої зносу, за допомогою якої прогнозуються показники надійності.

Прогнозування довговічності транспортних засобів є важливою складовою частиною теорії надійності. Ресурс та термін служби, як показники надійності, є одним з основних понять теорії надійності. Особливе місце в теорії надійності займає прогнозування ресурсу елементів конструкції на стадії їх експлуатації. На відміну від стадії проектування, коли прогнозу підлягає ресурс генеральної сукупності елементів конструкції, прогнозування ресурсу на стадії експлуатації виконується для конкретних виразів. Визначенню підлягає залишковий ресурс, значення якого є можливою тривалістю експлуатації виразу з даного моменту часу до досягнення параметром технічного стану його граничного стану. Застосування методів індивідуального прогнозування остаточного ресурсу виразів потребує певних витрат, які пов'язані з використанням оперативної діагностики, мікропроцесорної техніки для обробки статистичної діагностичної інформації, розробкою математичних методів прогнозування та програмного забезпечення.

Виходячи з важливості володіння магістрів знаннями, щодо прогновної оцінки показників надійності технічних систем у майбутньої науково-педагогічної, науково-виробничої та науково-дослідницької діяльності, вивчення цієї дисципліни є необхідною складовою їх підготовки.

1 ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ

Навчальний матеріал дисципліни «Прогнозування надійності та довговічності транспортних засобів» для магістрів спеціальності 8.05050305 «Колісні та гусеничні транспортні засоби» підпорядкований загальним принципам вивчення: аналіз і оцінка положень, які розглядаються, дається на базі пред'явлених вимог та класифікаційних ознак та розвиває спеціальне мислення і є необхідною для одержання інших знань.

Методичні вказівки мають мету допомогти магістрам самостійно отримати теоретичні знання, відповідне розуміння підходів, які застосовуються при використанні методів прогнозування показників надійності транспортних засобів, та отримати первісні практичні навички у виконанні відповідних розрахунків при виконанні контрольних завдань.

Дисципліна вивчається на базі положень та практичних завдань, що розглядаються та виконуються в курсі дисципліни «Основи міцності та довговічності транспортних засобів».

1.1 Ціль викладання дисципліни

Мета - формування у студентів системи наукових знань щодо застосування основних методів прогнозування зміни кількісних показників надійності елементів конструкції транспортних засобів при їх створенні, утриманні та використанні за призначенням.

У результаті вивчення навчальної дисципліни студент повинен **знати:**

- мету та основні задачі прогнозування, які вирішуються на етапах розробки, виробництва та експлуатації транспортних засобів;
- загальну характеристику методів прогнозування та особливості їх застосування;
- структурні складові системи збору і обробки статистичної інформації про надійність транспортних засобів;
- принципи оцінки та прогнозування довговічності транспортних засобів;
- сучасні підходи до прогнозування показників довговічності при обмеженій інформації.

Вміги:

- здійснювати збір та обробку даних відносно змін параметрів якості структурних складових транспортних засобів на підставі патентних та інформаційно-технічних джерел;
- визначати ресурс агрегатів автомобіля на прогнозований період часу;
- прогнозувати витрату часу на обслуговування транспортного засобу з призначеною потужністю;
- визначати можливий характер зміни показників надійності вузла, агрегату, системи транспортного засобу на етапі їх ескізного проекту, при проведенні випробувань;
- визначати можливі технічні рішення, які можуть бути запропоновані для поліпшення показників надійності транспортного засобу у цілому.

Розуміги:

- принцип формування та зміни закономірностей, які визначають зв'язок між показником надійності та часом його прояву;
- принцип будування закономірностей зміни фізичних процесів, що мають місце при взаємодії елементів конструкції, та визначають прогнозовану зміну їх показників надійності.

Володіги:

- методикою прогнозування зміни кількісних показників надійності транспортних засобів на прогнозований час;
- навичками здійснення практичних розрахунків.

1.2 Рекомендації щодо вивчення дисципліни

Вивчення дисципліни базується на знаннях, які одержують студенти при вивченні загально наукових і загально-інженерних дисциплін.

Питання тем дисципліни розглядаються студентами самостійно при використанні рекомендованої літератури, при цьому може бути використана ними й інша література, та застосована інформація з електронних ресурсів системи Internet. Консультації для студентів по деяким незрозумілим питанням як при засвоєнні навчальних питань, так і при виконанні контрольного завдання проводяться у відведений для цього час згідно з розкладом занять.

Після розгляду та засвоєння кожної з тем дисципліни студент зобов'язаний перевірити себе при відповідях на контрольні запитання,

які наведено після кожної з тем. Бажано свої відповіді викладати письмово, а весь навчальний матеріал поперед них проробляти з олівцем та папером, на яких відображати схеми, рисунки того, що стосується розуміння, наприклад, схеми алгоритму прогнозування надійності як транспортних засобів, так і їх окремих складових частин, блок-схеми класифікації визначальних випробувань на надійність, блок-схеми класифікації методів оцінки та прогнозування ресурсу елемента конструкції тощо.

Під час розгляду навчальних питань рекомендується брати до уваги як короткі відомості щодо розуміння навчальних питань, що наведені після тем, та загальні положення, що викладені для виконання комплексу практичних завдань [7].

2 ТЕМАТИКА ДИСЦИПЛІНИ

2.1 Мета, основні задачі прогнозування надійності транспортних засобів

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.

Контрольні запитання для самоперевірки

1. Сформулювати мету і 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 вирішуються на етапі проектування та виготовлення дослідного зразка?

Короткі відомості щодо розуміння навчальних питань

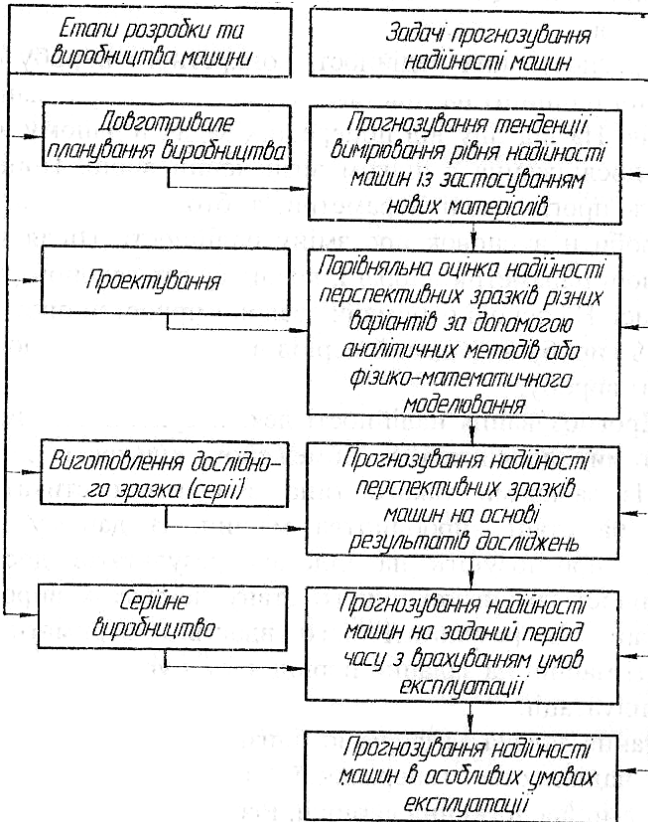


Рисунок 2.1 - Етапи і задачі прогнозування надійності машин

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

приспосованості до експлуатації, обслуговування, технічної діагностики та ремонту. На різних етапах розробки і виробництва транспортних засобів вирішується цілий комплекс завдань (рис. 2.1) [1].

2.2 Загальна характеристика методів прогнозування надійності транспортних засобів

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.

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. 2.2).

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 напрямки призначення спеціальних методів прогнозування.

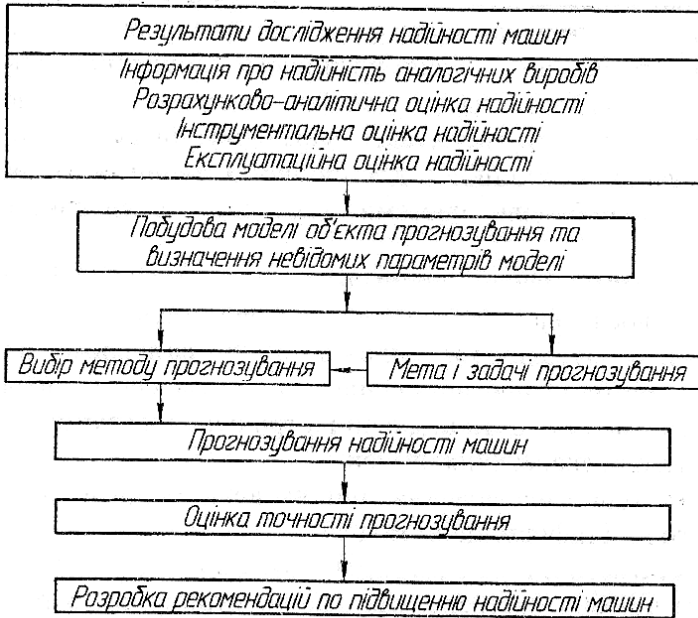


Рисунок 2.2 - Схема алгоритму прогнозування надійності транспортних засобів

2.3 Загальна оцінка якості прогнозування надійності транспортних засобів

Література: [1], с. 225-230; [2], с. 246-263.

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 [1].

Короткі відомості щодо розуміння навчальних питань

Класифікація основних джерел похибки прогнозування приведена на рис. 2.3. Специфіка прогнозування така, що остаточний висновок про його достовірність можна зробити тільки після здійснення прогнозової події. Проте, якщо очікувати реалізацію прогнозу для визначення достовірності та можливості його використання, то прогнозування втрачає сенс. Тому виникає необхідність оцінки достовірності прогнозів в процесі дослідження.

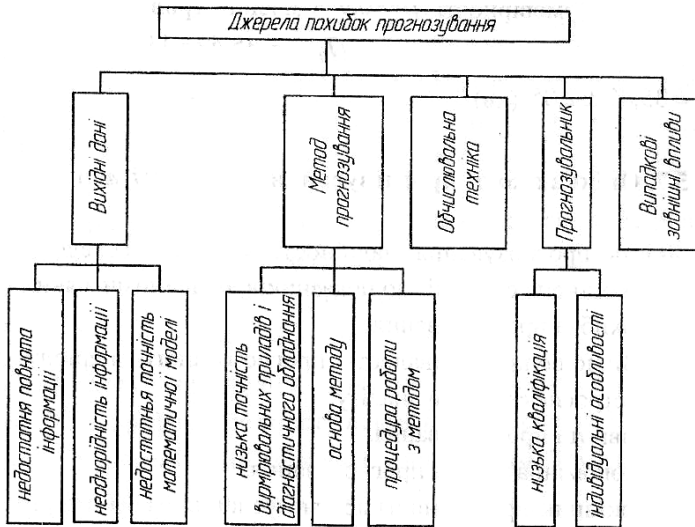


Рисунок 2.3 - Класифікація основних джерел похибок прогнозування

Контрольні запитання для самоперевірки

1. Наведіть ознаки класифікації джерел похибок прогнозування.
2. У чому полягає економічна оцінка прогнозування? Приведіть формулу для її визначення.
3. Яким чином визначається похибка прогнозування? Приведіть формулу для її визначення.
4. Що відображає показник ефективності прогнозування?

2.4 Система збору та обробки інформації відносно надійності транспортних засобів

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

Мета, 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: систематизація даних про умови експлуатації; систематизація даних про зноси та граничних станах деталей; узагальнені навантажувальні режими деталей.

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 Розрахунок систем транспортних засобів 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 транспортних засобів. 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.

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 Надійність транспортних засобів 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, які дорівнюють нулю; на послідовному аналізі. Суть багатофакторних випробувань на надійність.

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].

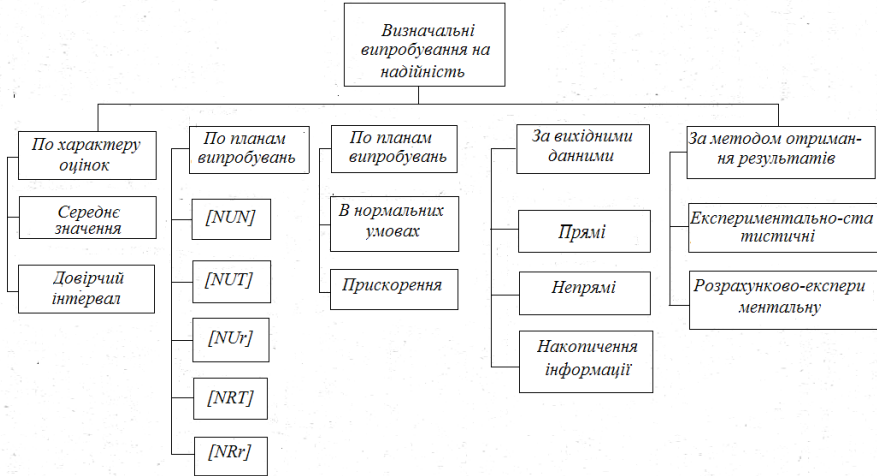


Рисунок 2.4 - Класифікація визначальних випробувань на надійність

По планам проведення випробування розподіляються на такі основні групи:

$[NUN]$, $[NUT]$, $[NUR]$, $[NU(r,T)]$, $[NRT]$, $[NRr]$, $[NR(r,T)]$, $[NMT]$, $[NMr]$ та інші.

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.

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 зниженням 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»?

2.7 Оцінка і прогнозування надійності транспортних засобів 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 й імовірнісних підходів; прогнозування індивідуального ресурсу. Принципи та критерії вибору функції, що прогнозує. Сучасні підходи до прогнозування показників надійності: статистичні; детерміновані, фізико-статистичні; експертні.

Короткі відомості щодо розуміння навчальних питань

Проблема прогнозування технічного стану елементів конструкції складних систем є однією 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 рис. 2.5 показані основні тимчасові величини,

$$Y(t) = \eta(t, \bar{\alpha}) + \varepsilon(t), \quad (2.1)$$

де $\eta(t, \bar{\alpha})$ - 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 $\eta(t, \bar{\alpha})$ 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 і 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 $T_{н.с.}$ має бути менше часу «життя» об'єкту, тобто повного або міжремонтного ресурсу $T_{н.с.} < T_{ж} = T_p$.

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?

3 КОНТРОЛЬНІ РОЗРАХУНКОВІ ЗАВДАННЯ

Контрольні завдання виконуються письмово студентами заочної форми навчання та студентами денної форми, якщо вони навчаються за індивідуальним планом. Контрольна робота складається з контрольних завдань. На підставі виконаної контрольної роботи викладачем проводиться оцінка ступеня засвоєння студентами учбових питань, рівня їх знань, та робиться висновок про допущення до складання іспиту (заліку).

Контрольна робота виконується в процесі вивчення курсу. Оформити роботу рекомендується в зошиті або на гладких аркушах паперу формату А4 (297×210) зброшурованих і закріплених у швидкозшивачі тільки рукописно у відповідності з ДСТУ 3008-96. На обкладинці зошита варто вказати назву предмета, прізвище, ім'я, по батькові студента, шифр, спеціальність. Наприкінці роботи приводиться список використаних джерел, в тому числі електронні ресурси. Робота повинна бути підписана студентом. Приклад оформлення контрольної роботи наведено у додатках А-Е.

При виконанні контрольної роботи рекомендується дотримуватися наступної послідовності.

1 Ознайомитися зі змістом завдань, уважно прочитати відповідно до теми необхідну літературу, зрозуміти наведені пояснення. Рекомендована література приводиться нижче.

2 На підставі розглянутої літератури старанно формулювати відповіді та викласти їх чітко і повно тільки по суті питань, що приведені в завданні. Якщо необхідно при відповіді використання ілюстрації (рисунок, схеми, таблиці), то допускається вклеювання їх ксероксів, але всі підписи щодо них, треба робити тільки рукописно.

Контрольна робота складається з п'яти розрахункових завдань. Номер варіанту завдання обирається по останній цифрі номеру залікової книжки.

3.1 Визначення ресурсу агрегату автомобіля на прогнозований період часу

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

Загальні положення

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.

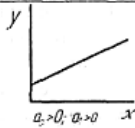
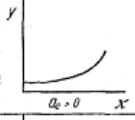
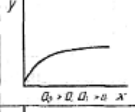
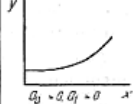
Після побудови графіків за результатами випробувань або досліджень в експлуатації, що відображають зв'язок між змінними, підбирають аналітичну функцію. Вибір кривої визначається суб'єктивними чинниками. Тут велике значення має правильне логічне пояснення залежності аналізованих параметрів з урахуванням 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 табл. 3.1.

Таблиця 3.1 – Аналітичні залежності за методом прямої екстраполяції, що використовуються при прогнозуванні надійності машин

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

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

Завдання. В результаті збору і обробки інформації про надійність агрегатів автомобіля відносно зміни статистичного ресурсу до капітального ремонту отримані наступні данні (табл. 3.2). Провести розрахунки ресурсу агрегату на роки періоду 2015-2018 рр. с довірчою вірогідністю (достовірністю) 0,7; 0,8; 0,9. Вихідні данні для розрахунків наведено у табл. 3.2. Розрахунки оформити в робочих зошитах. При цьому кожний розрахунок повинен супроводжуватися описом дій та проміжними обчисленнями.

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

Таблиця 3.2 – Вихідні данні

Варіант	Рік					
	2008	2009	2010	2011	2012	2013
	Δt (інтервал часу)					
	1	2	3	4	5	6
	T (ресурс), тис. мото-год.					
1	5	8	-	13	16	18
2	6	7	8	-	9	10
3	7	14	19	24	-	31
4	5	-	10	11	-	15
5	9	10	-	12	12	13

Приклад рішення полягає у наступному.

1 На підставі вихідних даних необхідно побудувати графік функції $y = f(x)$, наприклад (рис. 3.1) [7].

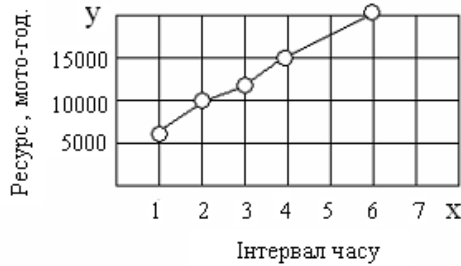


Рисунок 3.1 - Графік зміни прогнозованого параметра в часі

2 Виходячи з виду побудованого графіка потрібно вибирати модель прогнозування. У даному випадку вона буде мати вигляд $y = a_0 + a_1x$.

3 Надалі по аналітичних залежностях (табл. 3.1) 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:

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

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

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

$$\bar{y}_4 = 14,94 \text{ тис. мото-год.};$$

$$\bar{y}_6 = 20,14 \text{ тис. мото-год.}$$

5 Тоді, на підставі отриманої залежності прогноз на один інтервал вперед (на 2014 р.):

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

Прогноз на два інтервали вперед (на 2015 р.):

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

Прогноз на три інтервали вперед (на 2016 р.):

$$\bar{y}_9 = 27,94 \text{ тис. мото-год.}$$

6 Після цього проводиться обчислення помилки прогнозу за формулою:

$$\sigma_y = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}{1-n}} = \sqrt{\frac{(y_1 - \bar{y})^2 + (y_2 - \bar{y})^2 + \dots + (y_6 - \bar{y})^2}{5}}$$

$$= 0,21 \text{ тис. мото-год.}$$

Для оцінки розрахунків за довірчою вірогідністю потрібно визначити значення довірчого інтервалу μ , $m = y_{arg} \Phi(P_\delta) = \sigma t$, де $y_{arg} \Phi(P_\delta)$ - аргумент функції Лапласа або Стьюдента (при $n < 10$), t - гарантійний коефіцієнт (табл. 3.3). За допомогою t визначають довірчу вірогідність 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 3.3 – 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
0,30	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	0,9756
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 $P_\delta = 0,68$ будемо мати наступні значення:

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

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

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

8) Надалі з імовірністю 0,95:

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

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

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

9) з імовірністю 0,997:

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

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

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

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

- у 2014 році – $T_1 = 22,74 \pm 0,42$ тис. мото-год.;

- у 2015 році – $T_2 = 25,34 \pm 0,42$ тис. мото-год.;

- у 2016 році – $T_3 = 27,94 \pm 0,42$ тис. мото-год.

3.2 Прогнозування витрати часу на обслуговування транспортного засобу з визначеною потужністю

Мета: 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. 3.4).

Знаючи тривалість щоденного технічного обслуговування (ТО) для існуючих базових колісних тракторів, необхідно визначити витрати часу на ТО для трактора потужністю N_x кВт за довірчою вірогідністю згідно з варіантом завдання.

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 3.4 – Вихідні дані 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	К-701М	222,0	32	224,0	31	226,0	33	220,0	27	229,3	34
Потужність N_p , кВт		285		290		270		300		310	
Достовірність P_D		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:

$$r_{xy} = \frac{K_{xy}}{\sigma_x \cdot \sigma_y}, \quad (3.1)$$

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:

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

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

Проведемо розрахунки і занесемо їх в табл. 3.5.

Таблиця 3.5 – Розрахунок коефіцієнта парної кореляції

N	$x_i - \bar{x}$	$y_i - \bar{y}$	$(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})$	$(x_i - \bar{x})^2$	$(y_i - \bar{y})^2$
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 (3.1) 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. 3.2) і виберемо вид залежності для опису заданої закономірності.

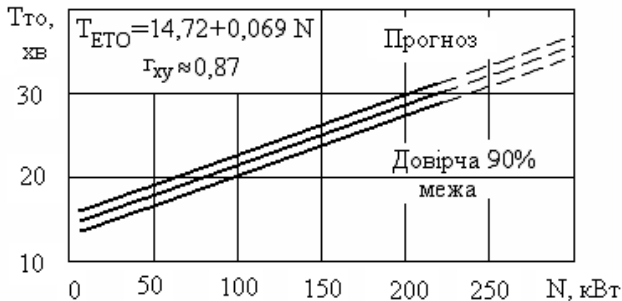


Рисунок 3.2 - Залежність часу на ТО колісних тракторів від номінальних потужності

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 (3.2) відносно a і b :

$$\begin{cases} Na + \sum x_i b = \sum y_i; \\ \sum x_i a + \sum x_i^2 b = \sum y_i x_i. \end{cases} \quad (3.2)$$

Значення коефіцієнтів системи рівнянь розраховуємо по залежностях, приведених в табл. 3.6.

З урахуванням результатів розрахунку система рівняння (3.2) набере наступного вигляду:

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

Таблиця 3.6 – Розрахунок коефіцієнтів системи рівнянь і залишкової дисперсії

N	x_i , кВт	y_i , хв.	$x_i y_i$, кВт·хв.	x_i^2 , кВт ²	\bar{y}_i , хв.	$(y_i - \bar{y}_i)^2 \cdot 10^3$, 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 рис. 3.2 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:

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

де \bar{y}_i - розраховані 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 3.7 – Значення коефіцієнта Стьюдента

n	Значення t_{β} при F_{β}					
	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	5,95
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 імовірності $\pm t_{\beta} S_y$. Наприклад, для отриманих даних задачі, яка розглядається, при рівні довірчої імовірності $P_o = 0,9$ 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_p – коефіцієнт Стьюдента, якій при $n = 8$ та $P_o = 0,9$ складає 1,9 (табл. 3.7).

3.3 Оцінка відповідності показників надійності встановленим вимогам транспортного засобу при проведенні контрольних випробувань

Мета: придбати первісні навички у побудові полів щодо графічного визначення часу проведення контрольних випробувань систем транспортного засобу з прогнозованим підвищенням рівня його надійності.

Загальні положення

Контрольні випробування на надійність проводять для контролю відповідності показників надійності встановленим вимогам. Такі випробування є засобом контролю надійності за деякою непрямою ознакою. Такими ознаками можуть бути, наприклад:

- відсутність відмов при випробуваннях впродовж заданого часу;
- граничні числа допустимих і неприпустимих відмов для послідовних інтервалів часу.

У першому випадку випробування називаються випробуваннями, заснованими на числі відмов, рівному нулю, в другому випадку – випробуваннями, заснованими на послідовному аналізі.

Випробування, засновані на числі допустимих відмов, рівному нулю, ґрунтуються на обробці деякого наперед запланованого об'єму інформації: на випробування ставляться N об'єктів, тривалість випробувань $t_u(r)$; розрахунком визначають або $t_u(r)$ при заданому N , або N при заданому $t_u(r)$, що вимагає значного часу. Скоротити час випробувань можна, використовуючи інший підхід до планування випробувань, який лежить в основі випробувань, заснованими на послідовному аналізі.

Перше. Тривалість випробувань наперед не планується, а розбивається на ряд послідовних етапів. На кожному з цих етапів аналізується результат і приймається одне з трьох рішень:

- а) припинити випробування, оскільки є підстава вважати, що об'єкти задовольняють вимогам надійності;

б) припинити випробування, оскільки є підстава вважати, що об'єкти не задовольняють вимогам надійності;

в) продовжити випробування, оскільки немає підстав для висновку про надійність об'єктів.

Друге. У основу обробки результатів покладено не порівняння їх із заданим показником, а віднесення об'єктів до тієї або іншої групи по показнику надійності, тобто проводиться перевірка гіпотези про приналежність об'єктів до тієї або іншої групи.

Встановлюють дві групи.

До першої відносять об'єкти, бракування яких може бути проведене з малою вірогідністю α : ця вірогідність – ризик постачальника або помилка першого роду.

До другої групи відносять об'єкти, ухвалення яких може бути допущене з малою вірогідністю β : ця вірогідність – ризик споживача або помилка другого роду.

Контрольні значення $T_{0н}^K$ нижнього рівня і $T_{0в}^K$ верхнього рівня вибираються так, щоб ризик α постачальника і ризик β споживача були в межах заданих норм при заданих значеннях $T_{0в}$ і $T_{0н}$ (рис. 3.3). Використання одного контрольного значення приводить до збільшення ризиків (рис. 3.3, б), а одного рівня надійності і одного контрольного значення, співпадаючого з середнім значенням, до того, що 50% придатних виробів бракуватиметься (рис. 3.3, в).

Як верхній рівень надійності приймається рівень, заданий в технічних умовах; як нижнього – такий рівень, з яким можна приймати виріб із заданим ризиком β .

Якщо як показник надійності використовується середнє напрацювання на відмову, то відношення $T_{0в}$ до $T_{0н}$ приймається рівним 1,25–2,5. Значення ризиків рекомендується приймати відповідно до особливостей виробів (0,05 – 0,30).

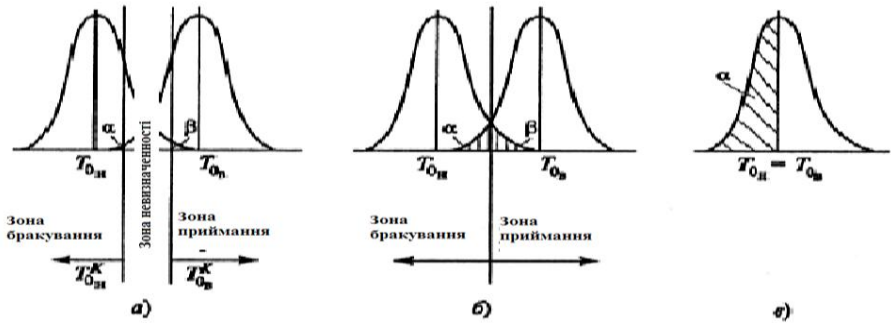


Рисунок 3.3 - Графічне уявлення параметрів контрольних випробувань

Заздалегідь до початку випробувань по значеннях $T_{0\beta}$, $T_{0н}$, α , β будується графік (рис. 3.4).

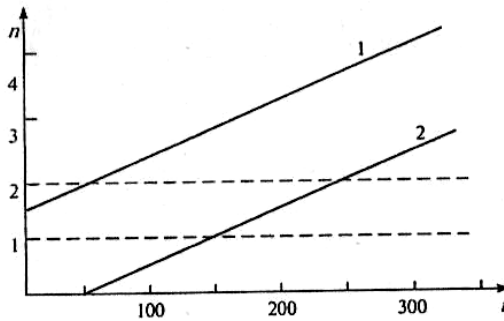


Рисунок 3.4 - Графічна інтерпретація по слідовних випробувань

Вираз для лінії бракування 1 має вигляд:

$$n_{\delta p} \leq \frac{\ln \left[\frac{1 - \beta / \alpha}{T_{0\beta} / T_{0н}} \right]}{\ln \left[\frac{T_{0\beta}}{T_{0н}} \right]} + \frac{1 / T_{0н} - 1 / T_{0\beta}}{\ln \left[\frac{T_{0\beta}}{T_{0н}} \right]} t. \quad (3.3)$$

Вираз для лінії приймання 2 має вигляд:

$$n_{np} \geq \frac{\ln \left[\frac{\beta}{T_{0e}/T_{0n}} - \alpha \right]}{\ln \left[\frac{T_{0e}}{T_{0n}} \right]} + \frac{1/T_{0n} - 1/T_{0e}}{\ln \left[\frac{T_{0e}}{T_{0n}} \right]} t. \quad (3.4)$$

В ході випробувань на графік наносять крапки, відповідні кількості відмов об'єктів n за годину t . Якщо крапка розташовується вище за лінію бракування 1 - випробування припиняється і виноситься рішення про невідповідність об'єкту вимогам надійності. Якщо крапка розташовується нижче за лінію приймання 2 - випробування припиняється - об'єкт відповідає. У зоні невизначеності випробування продовжується.

Завдання. При проведенні випробувань на надійність, заснованих на послідовному аналізі, для досліджуваної системи транспортного засобу встановлені рівні надійності і помилки першого α і другого β роду.

На підставі результатів розрахунку (або статистичних даних), відповідно до вихідних даних, що наведено в табл. 3.8:

- побудувати графіки інтерпретації послідовних випробувань на надійність аналогової та проектованої системи;
- визначити можливе число відмов n за годину t , при яких: об'єкт відповідає n_1 , не відповідає n_2 вимогам надійності; n_3 , при яких випробування продовжуються;
- за результатами роботи зробити відповідні висновки.

Таблиця 3.8 – Вихідні дані

№ п/п	Контрольні параметри	Варіанти											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	α	0,15	0,2	0,25	0,20	0,25	0,30	0,15	0,20	0,25	0,25	0,25	0,30
2	β	0,1	0,15	0,15	0,15	0,20	0,15	0,10	0,10	0,20	0,10	0,20	0,25
3	T_{0e}/T_{0n}	1,25	1,30	1,75	2,0	2,25	2,5	2,25	2,0	1,30	1,75	1,25	2,5

3.4 Визначення залишкового ресурсу елемента конструкції транспортного засобу та його межі при заданій надійності

Мета: Отримати практичні навички у визначенні залишкового ресурсу елемента конструкції механізму двигуна.

Завдання. При проведенні технічного освідчення стану зносу поверхні деталі механізму двигуна встановлено її вимірювальний розмір $h_{вим}$ після напрацювання t_p . Відповідно до вихідних даних, що наведено в табл. 3.9, визначити залишковий ресурс деталі та його межі надійності при довірчій вірогідності α , якщо з технічних умов відомо початковий розмір h , його граничне $h_{гран}$ та допустимі $h_{доп}$ значення. Привести порядок розрахунку, за результатами обчислень зробити висновки.

Таблиця 3.9 – Варіанти завдання

Найменування	1	2	3	4	5	6
	товщина зуба шестерні коліч. валу	шпоночний паз під шків	торцева поверхня шестерні розподіл. валу	паз валика мастильного насоса	хвостовик валика розподільвача	вкладиш корінного підшипника
Довірча вірогідність α	0,7	0,75	0,8	0,85	0,9	0,95
Початковий розмір h , мм	$3,95^{+0,025}$	$8^{+0,11}_{+0,08}$	$27^{+0,25}_{-0,14}$	$4^{+0,09}$	$4^{-0,08}_{-0,16}$	$1,750^{-0,050}_{-0,012}$
Вимірювальний розмір $h_{вим}$, мм	3,94	8,04	26,68	4,06	3,9	1,745
Граничний розмір $h_{гран}$, мм	3,93	8,13	26,67	4,15	3,8	1,735
Допустимий розмір $h_{доп}$, мм	3,93	8,13	26,67	4,15	3,8	1,735
Напрацювання t_p , км	73450	45600	54300	85850	65150	68300
Параметр розподілу b	2,5	2,8	3,0	3,2	3,5	2,2

Таблиця 3.10 – Варіанти завдання

Найменування	7	8	9	10	11	12
	гільза циліндра	отвір поршневої голівки шагуна	циліндрична частина кулачка розподіл. валу	стержень клапана	валик паливного насоса	поверхня шестерні під шпінку коліч. валу
Довірча вірогідність α	0,7	0,75	0,8	0,85	0,9	0,95
Початковий розмір d , мм	$92^{+0,072}_{+0,012}$	$26,25^{+0,045}$	$34,002^{+0,05}_{-0,15}$	$9^{-0,050}_{-0,075}$	$12^{-0,045}_{-0,105}$	$40^{+0,17}$
Вимірювальний розмір $d_{вим}$, мм	92,06	26,28	33,9	8,97	11,93	40,01
Граничний розмір $d_{гран}$, мм	92,1	26,32	33,8	8,91	11,86	40,04
Допустимий розмір $d_{доп}$, мм	92,1	26,32	33,8	8,91	11,86	40,04
Напрацювання t_p , км	55150	83450	95350	75850	58950	99450
Параметр розподілу b	2,5	2,8	3,0	3,2	3,5	2,2

Загальні положення

Для проведення розрахунків рекомендується дотримуватися наступної послідовності [7].

Спочатку визначається середня швидкість зношування поверхні V_h при середньому допуску Δ_{cp} на виготовлення при значеннях верхнього x_1 і нижнього x_2 відхилення від номінального значення h :

$$\Delta_{cp} = -\frac{x_1 - x_2}{2}; \quad (3.5)$$

$$V_h = \frac{u_{вим}}{t_p} = \frac{h - \Delta_{cp} - h_{вим}}{t_p}. \quad (3.6)$$

Далі обчислюється середній залишковий ресурс за рівнянням:

$$T_{зал} = \frac{1}{V_h} (u_{гран} - u_{вим}) = \frac{(h - \Delta_{cp} - h_{гран}) - (h - \Delta_{cp} - h_{вим})}{V_h}. \quad (3.7)$$

Для визначення меж надійності необхідно застосувати значення функції Лапласа $\Phi(t)$ (додаток Б). При цьому довірча вірогідність описується виразом:

$$\alpha = P_o = \alpha(a < t(x) < b) = \frac{1}{2} \left[\Phi \left(\frac{b - \bar{t}}{\sigma} \right) - \Phi \left(\frac{a - \bar{t}}{\sigma} \right) \right]. \quad (3.8)$$

Аргументом функції $\Phi(t)$ є відношення половини довірчий інтервалу μ до середнього квадратичного відхилення σ , т. то $t = \mu/\sigma$,

$\mu = b - \bar{t}$, $\mu = -(a - \bar{t})$, t – гарантований коефіцієнт. Якщо визначена для розрахунків довірча вірогідність α , та відомо значення коефіцієнту t , то стає можливим визначити $\Phi(t)$, значення якої табульовані.

На підставі визначеного середнього залишкового ресурсу $T_{зал}$ визначаються надійні його межі (верхня $t_{зал}^g$ і нижня $t_{зал}^h$) при $\alpha=0,8$ за

формулами для розподілу Вейбула-Гнеденка. Для цього необхідно знати значення середнього квадратичного відхилення σ , параметра розподілу b , деякого середнього значення t_0 (у даному випадку залишкового ресурсу $t_0 = T_{зал}$).

Значення квадратичного відхилення σ для розподілу Вейбула-Гнеденка визначається по формулі:

$$\sigma = \sqrt{t_0 \left[\Gamma(1+2/b) - \left[\Gamma(1-1/b) \right]^2 \right]}, \quad (3.9)$$

де $\Gamma(x)$ – значення гама-функції при відповідному значенні параметру b (додаток А).

Тоді у відповідності з наведеними формулами 3.10 - 3.11 значення верхньої та нижньої межі залишкового ресурсу визначаються наступним чином:

$$t_{зал}^6 = t\sigma + T_{зал}, \quad (3.10)$$

$$t_{зал}^H = T_{зал} - t\sigma. \quad (3.11)$$

Приклад. Відомо, що при вимірюванні товщини зубів шестерні: $h_{вим} = 8,76$ мм; $h_{гран} = 8,34$ мм; $h = 9,35_{-0,158}^{+0,110}$ мм; $t_p = 2200$ мото-год.

Розв'язання. Середній допуск визначиться як:

$$\Delta_{cp} = -\frac{x_1 - x_2}{2} = -\left(\frac{0,110 + 0,158}{2}\right) = -0,134 \text{ мм.}$$

Середня швидкість зношування визначиться як:

$$V_h = \frac{u_{вим}}{t_p} = \frac{h - \Delta_{cp} - h_{вим}}{t_p} = \frac{9,35 - 0,134 - 8,76}{2200} = 0,20 \text{ мкм/мото-год.}$$

Залишковий ресурс визначиться як:

$$T_{зал} = \frac{1}{V_h} (u_{гран} - u_{вим}) = \frac{(h - \Delta_{cp} - h_{гран}) - (h - \Delta_{cp} - h_{вим})}{V_h} =$$

$$\frac{(9,22 - 8,34) - (9,22 - 8,76)}{0,0002} = 2100 \text{ мото - год.}$$

Надійні межі визначаються як:

$$t_{зал}^6 = 1,35T_{зал} = 1,35 \cdot 2100 = 2840 \text{ мото - год.}$$

$$t_{зал}^H = 0,7T_{зал} = 0,7 \cdot 2100 = 1470 \text{ мото - год.}$$

3.5 Прогнозування остаточного ресурсу двигуна на підставі математичної моделі та експертних оцінок

Мета: отримати знання щодо впливу параметрів, які визначають зміну остаточного ресурсу двигуна транспортного засобу та отримати навички у проведенні відповідних розрахунків.

Загальні положення

Особлива роль у вдосконаленні управління надійністю рухомого складу належить розробці та впровадженню методів прогнозування технічного стану агрегатів автомобілів. Для досягнення визначеного рівня надійності автомобіля потрібно вміти керувати нею. Для цього необхідно вміти прогнозувати відмови, вибраковувати агрегати і вузли для їх подальшого ремонту або зняття з автомобіля та таким чином виключати появу небажаних несправностей під час його роботи. Тому досить бажано достатньо повно призначити додатковий ресурс, наприклад, при постановці автомобіля на капітальний ремонт або при заміні зношеного агрегату. Найбільше розповсюдження отримали три основних метода прогнозування:

- за середньостатистичному зміненню параметрів;
- за реалізацією (зміненню) параметрів;
- евристичне прогнозування.

Суть першого наближеного методу полягає у тому, що прогнозування ведеться за зміненню середньостатистичних значень

параметрів для визначеної групи агрегатів та вузлів. Цей метод застосовується у тих випадках, коли відсутні дані про напруження окремих агрегатів або неможливо застосувати другий, більш точний та вдосконалений метод.

Другий метод ґрунтується на результатах безпосередніх вимірювань того чи іншого параметру, якій прогнозується, у минулому або у теперішній (поточний) момент. За наявності математичної моделі зміни параметру, якій прогнозується, у залежності від експлуатаційних факторів (режими роботи агрегатів, дорожні, транспортні та кліматичні умови), можливо проводити розрахунки залишкового ресурсу агрегату. Приклад математичної моделі залишкового ресурсу наведено у формулі 3.12.

$$L_{ocm} = k\delta_{ocm} = \frac{0,0087 S_n D_u \rho x_u V_a}{0,5 \cdot 10^{-4} \frac{i_o i_k V_k}{r_k} - 2,53 \cdot 10^{-7} \frac{i_o^2 i_k^2 V_a^2}{r_k^2} + 5,21 \cdot 10^{-10} \frac{i_o^3 i_k^3 V_a^3}{r_k^3} + 6,5 \cdot 10^{-3} \frac{r_k}{V_h i_o i_k \eta_{mp}} \left(G_a \psi + \frac{k F V_a^2}{13} \right)} \delta_{ocm}, \quad (3.12)$$

де: k - коефіцієнт, якій враховує умови експлуатації автотранспортних засобів;

δ_{ocm} - залишковий знос циліндрів двигуна, мм;

S_n - хід поршня, мм;

D_u - діаметр циліндра, мм;

ρ - щільність матеріалу циліндра, г/мм³;

x_u - кількість циліндрів;

V_a - швидкість автомобіля, км/год.;

r_k - радіус колеса, м;

i_o, i_k - передаточні числа головної передачі і коробки передач на відповідній передачі;

η_{mp} - коефіцієнт корисної дії трансмісії;

G_a - вага автомобіля, Н;

ψ - коефіцієнт опору руху;

kF - фактор обтічності автомобіля, Н с²/м⁻²;

V_h - об'єм циліндрів двигуна, л.

Точність прогнозування залежить від того, наскільки вірно та точно математична модель описує поведінку об'єкту, якій прогнозується. Для отримання математичних моделей потрібно проводити спеціальні дослідження. Не менший вплив на точність прогнозування надає й точність параметра, що вимірюється. При цьому провідну роль має значення залишку величини основного параметру, наприклад, зносу елементів конструкції, поєднання яких визначають ресурс агрегату в цілому. Наприклад, залишковий знос циліндрів двигуна, який визначається відповідними методиками.

Прогнозування можливо вести через періоди t_1, t_2, t_3 (рис. 3.4). При цьому пробіг в несприятливих умовах, наприклад, до капітального ремонту складе l_{min} , в сприятливих легких умовах – l_{max} . За аналогічною методикою прогноуються ресурси і інших агрегатів транспортних засобів.



a - важкі умови експлуатації, *б* - легкі умови експлуатації
Рисунок 3.4 - Схема прогнозування терміну служби двигуна

Однак, при застосуванні інструментальних методів прогнозування можуть бути деякі труднощі. На підставі цього при оцінці технічного стану транспортних засобів використовуються евристичні методи. Евристичні методи засвоєні на рівні думок (ерудитії, інтуїції) фахівців (експертів) у даній області технічних знань. На автотранспортних підприємствах для визначення технічного стану автомобілів та агрегатів наказом або розпорядженням створюються спеціальні експертні комісії, які й вирішують питання про необхідність заміни окремих агрегатів та направлення автомобіля до капітального ремонту.

Евристичне прогнозування виключає можливість грубих помилок. Завдяки здатності людського мозку оперувати нечітко окресленими поняттями людина інтуїтивно шляхом порівняння

величин і факторів з безлічі можливих варіантів, відкидаючи другорядне і несуттєве, знаходить головне. Евристичне прогнозування зводиться до усереднення результатів оцінки, висловлюваних групою експертів [7].

Середня експертна оцінка ресурсу (точечний прогноз усіх експертів) визначається за виразом:

$$L_{cp} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{L_{i\max} + L_{i\min}}{2}. \quad (3.13)$$

Середньоквадратичне відхилення для кожного експерта при такому виді розподілення визначається виразом:

$$\sigma_i = \sqrt{\frac{L_{i\max} - L_{i\min}}{12}} \approx 0,29 (L_{i\max} - L_{i\min}). \quad (3.14)$$

Середньоквадратичне відхилення для загальної думки усіх експертів визначається виразом:

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (L_{cpi} - L_{cp})^2}, \quad (3.15)$$

де L_{cpi} – середнє значення прогнозу i -го експерта.

Ступінь однотайності щодо середньої експертної оцінки характеризується коефіцієнтом варіації $k_v = \sigma/L_{cp}$.

Компетентність експертів можливо прогнозувати за величиною $L_i/L_{cp} - 1$. Якщо ця величина менше нуля, експерт обережний, більше – експерт рішучий, приблизно дорівнює – 0, то об'єктивне. А якщо це велике значення, то експерт – малограмотний.

Заняття складається з двох завдань. На перше завдання відводиться 4 години навчального часу, на друге 2 години. На підставі вихідних даних студентом виконуються відповідні розрахунки, при необхідності строяться графічні залежності, та формулюються висновки.

Завдання 1. Під час проведення досліджень визначено вид математичної моделі остаточного ресурсу двигуна вантажного автомобіля, на підставі даних, наведених у табл. 3.8.

Таблиця 3.8 – Вихідні данні

Найменування параметра	Варіант				
	1	2	3	4	5
	КрАЗ-260	ГАЗ-66	Урал-4320	МАЗ-6422	УАЗ-3151
Залишковий знос $\delta_{ост}$, мм	0,14	0,240	0,37	0,12	0,5
Хід поршня S_p , мм	140	80	120	140	92
Діаметр циліндра D_c , мм	130	92	120	130	92
Об'єм циліндрів двигуна V_h , л.	14,86	4,25	10,85	14,86	2,45
Щільність матеріалу циліндра ρ , г/мм ³	$7,2 \cdot 10^{-3}$	$7,2 \cdot 10^{-3}$	$7,2 \cdot 10^{-3}$	$7,2 \cdot 10^{-3}$	$7,2 \cdot 10^{-3}$
Кількість циліндрів x_c	8	8	8	8	4
Швидкість автомобіля V_a , км/год.	80	90	85	85	100
Радіус колеса r_k , м	0,585 1300x530-533	0,505 12.00-18	0,555 14.00-20	0,505 300-508P	0,37 8.40-15
Передаточне число головної передачі i_o	8,173	6,83	7,32	6,59	5,125
Передаточне число у коробці передач на відповідній передачі i_k	7,73; 5,52; 3,94; 2,8; 1,96; 1,39; 1,00; 0,71	6,55; 3,09; 1,71; 1,00	5,61; 2,89; 1,64; 1,0; 0,723	7,73; 5,52; 3,94; 2,8; 1,96; 1,39; 1,00; 0,71	4,12; 2,64; 1,58; 1,00
Коефіцієнт корисної дії трансмісії η_{mp}	0,84	0,86	0,84	0,82	0,9
Вага автомобіля G_a , Н	127750 220000	36400 59700	80200 13245	90500 327000	16500 24500
Коефіцієнт опору руху ψ	0,002-0,45	0,02-0,3	0,02-0,2	0,018-0,45	0,02-0,35
Фактор обтічності автомобіля kF , Н с ² /м ²	0,04	0,027	0,034	0,054	0,008
Побудувати залежність	$L_{ocm}=f(G_a)$ $L_{ocm}=f(V_a)$ П*	$L_{ocm}=f(\psi)$ $L_{ocm}=f(V_a)$ П*	$L_{ocm}=f(G_a)$ $L_{ocm}=f(\psi)$ П*	$L_{ocm}=f(G_a)$ $L_{ocm}=f(V_a)$ П*	$L_{ocm}=f(\psi)$ $L_{ocm}=f(V_a)$ П*

- провести розрахунки можливого остаточного ресурсу двигуна при зміні вказаних за варіантами значень параметрів впливу, при цьому шаг зміни параметрів визначити самостійно;

- на підставі отриманих даних побудувати графічні залежності, у відповідності з якими сформулювати висновки про інтенсивність впливу позначених меж параметрів на зміну остаточного ресурсу.

Примітка. Π^* - інші значення параметрів приймати постійними. Особливу увагу потрібно звертати на значення параметрів, які будуть максимально вірогідними для прогнозованих режимів руху автомобілів. Наприклад, при збільшенні ваги необхідно мати на увазі збільшення передаточного числа у коробці передач, а при русі на прямих передачах при найменшому завантаженні мінімальні значення коефіцієнтів опору руху.

Завдання 2. Групою експертів автотранспортного підприємства дана оцінка технічного стану агрегату автомобіля. На підставі даних табл. 3.9 визначити прогнозований ресурс, ступінь однотайності та компетентність експертів щодо прогнозованої оцінки ресурсу агрегату. Отримані результати занести у табл. 3.10, зробити відповідні висновки.

Таблиця 3.9 – Вихідні дані

Варіанти									
1		2		3		4		5	
Ресурси, тис. км									
<i>min</i>	<i>max</i>	<i>min</i>	<i>max</i>	<i>min</i>	<i>max</i>	<i>min</i>	<i>max</i>	<i>min</i>	<i>max</i>
14,0	16,0	41,0	45,0	33,0	40,0	68,0	75,0	38,0	43,0
22,0	31,0	36,0	44,0	25,0	32,0	59,0	63,0	29,0	33,0
27,0	33,0	37,0	39,0	29,0	38,0	51,0	59,0	42,0	45,0
18,0	21,0	51,0	55,0	31,0	33,0	72,0	74,0	31,0	37,0
17,0	23,0	38,0	41,0	28,0	35,0	60,0	66,0	40,0	49,0
24,0	29,0	46,0	50,0	40,0	42,0	54,0	64,0	35,0	42,0

Таблиця 3.10 – Зведені дані

Номер експерта	L_i , тис. км		L_{cp} , тис. км	σ_i , тис. км	$L_i/L_{cp}-1$	Оцінка
	<i>min</i>	<i>max</i>				
1	2	3	4	5	6	7

ЛІТЕРАТУРА

1. Надійність сільськогосподарської техніки: Підручник. Друге видання, перероблене і доповнене. / 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. / В. А. Острейковский. - М.: Высшая школа, 2003. - 463 с.
3. Лукинский, В. С. Прогнозирование надежности автомобилей. / В. С. Лукинский, Е. И. Зайцев. - Л.: Политехника, 1991. - 224 с.
4. Абрамчук, Ф. І. и др. Двигуни внутрішнього згорання. 6 том. Надійність машин. - Київ: Либідь, 2005.
5. Канарчук, В. Е. и др. Надійність машин. - Київ: Либідь, 2003.
6. Кубич, В. И. Прогнозирование ресурсов элементов трибосопряжения «шейка-покрытие-вкладыш». / В. И. Кубич, Л. Й. Ивченко // 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.: Кубич В. І. - Запоріжжя: ЗНТУ, 2014. - 78 с.
8. Пронников, А. С. Параметрическая надежность машин. - М.: Изд-во МГТУ им. Н. С. Баумана, 2002. - 560 с.

Додаток А

Приклад оформлення титульного листа до контрольної роботи

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Запорізький національний технічний університет

Кафедра «Автомобілі»

Контрольна робота
з дисципліни «Прогнозування надійності та довговічності
транспортних засобів»

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

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

Додаток Б

Приклад оформлення змісту контрольної роботи

Зміст

	Стор.
1 Розрахункове завдання 1. Визначення ресурсу агрегату автомобіля на прогнозований період часу.....	2
2 Розрахункове завдання 2. Прогнозування витрати часу на обслуговування транспортного засобу з призначеною потужністю.....	5
3 Розрахункове завдання 3. Оцінка відповідності показників надійності встановленим вимогам транспортного засобу при проведенні контрольних випробувань.....	8
4 Розрахункове завдання 4. Визначення залишкового ресурсу елемента конструкції транспортного засобу та його межі при заданій надійності.....	12
5 Розрахункове завдання 5. Прогнозування остаточного ресурсу двигуна на підставі математичної моделі та експертних оцінок.....	14
Загальні висновки.....	19
Перелік посилань.....	20

Додаток В

Приклад оформлення рішення розрахункового завдання**Розрахункове завдання 1. Визначення ресурсу агрегату автомобіля на прогнозований період часу****Завдання**

В результаті збору і обробки інформації про надійність агрегатів автомобіля відносно зміни статистичного ресурсу до капітального ремонту отримані наступні данні (табл. 1).

Таблиця 1 – Вихідні данні

Варіант	Рік					
	2008	2009	2010	2011	2012	2013
	Δt (інтервал часу)					
	1	2	3	4	5	6
	T (ресурс), тис. мото-год.					
1	5	8	-	13	16	18

Провести розрахунки ресурсу агрегату на роки періоду 2015-2018 р.р. с довірчою вірогідністю (достовірністю) 0,7; 0,8; 0,9.

Порядок виконання розрахунків

(надалі наводяться пояснення та математичні вирази щодо відповідних дій)

Висновок

(формулюються тези стосовно досягнення мети та придбання первісних навиків у виконання розрахунків)

....

.....

Загальні висновки

(формулюються тези стосовно практичного засвоєння теоретичних положень відносно прогнозування показників надійності транспортних засобів)