

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Запорізький національний технічний університет

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»

2014

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.: Кубіч В.І. - Запоріжжя: ЗНТУ, 2014.-78 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 № 4 від 11.11.2014 р.

ЗМІСТ

	Стор.
1 Практичне заняття № 1. Виявлення напрямків вдосконалення технічного рівня елементів конструкції транспортного засобу на підставі патентної інформації.....	4
2 Практичне заняття № 2. Визначення ресурсу агрегату автомобіля на прогнозований період часу.....	9
3 Практичне заняття № 3. Прогнозування витрати часу на обслуговування транспортного засобу з визначеною потужністю.....	15
4 Практичне заняття № 4. Визначення рівнів показників норми надійності елемента конструкції на етапі розробки технічного завдання.....	21
5 Практичне заняття № 5. Визначення впливу прогнозованого рівня вдосконалення проектного елемента конструкції на зміну його показників надійності.....	27
6 Практичне заняття № 6. Оцінка відповідності показників надійності встановленим вимогам транспортного засобу при проведенні контрольних випробувань.....	32
7 Практичне заняття № 7. Визначення об'єму вибірки для проведення випробувань на надійність.....	36
8 Практичне заняття № 8. Визначення залишкового ресурсу елемента конструкції транспортного засобу та його межі при заданій надійності.....	40
9 Практичне заняття № 9. Прогнозування остаточного ресурсу двигуна на підставі математичної моделі та експертних оцінок.....	44
10 Практичне заняття № 10. Визначення місць відмов при незавершених випробуваннях транспортного засобу та оцінка його середньої наробітки на відмову.....	50
11 Практичне заняття № 11. Прогнозування ресурсу деталей з використанням кореляційних рівнянь довговічності.....	57
Рекомендована література.....	76
Додаток А. Значення гама-функції розподілу $\Gamma(x)$	77
Додаток Б. Значення функції розподілу Лапласа $\Phi(t)$	78

1 ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 1.

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

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

Місце проведення - комп'ютерний клас.

Час проведення - 4 год.

Загальні положення

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 1.1. 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; пропоновані технічні рішення. Отримані дані занести у таблицю 1.2. 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 дослідництво, під час праці над темою магістерської роботи.

За результатами роботи підготувати звіт, який оформити у відповідності з ДСТУ 3008-95 на листах формату А4, та здати для оцінки керівникові заняття.

Таблиця 1.1 – 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 1.2 – 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 ЄСПР		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) Двобуквений 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		РСТ/CN03/00069
(86) Дата подання заявки РСТ		01.12.2004

Рисунок 1.1 – Поле пошуку



Рисунок 1.2 – Головна сторінка поля пошуку

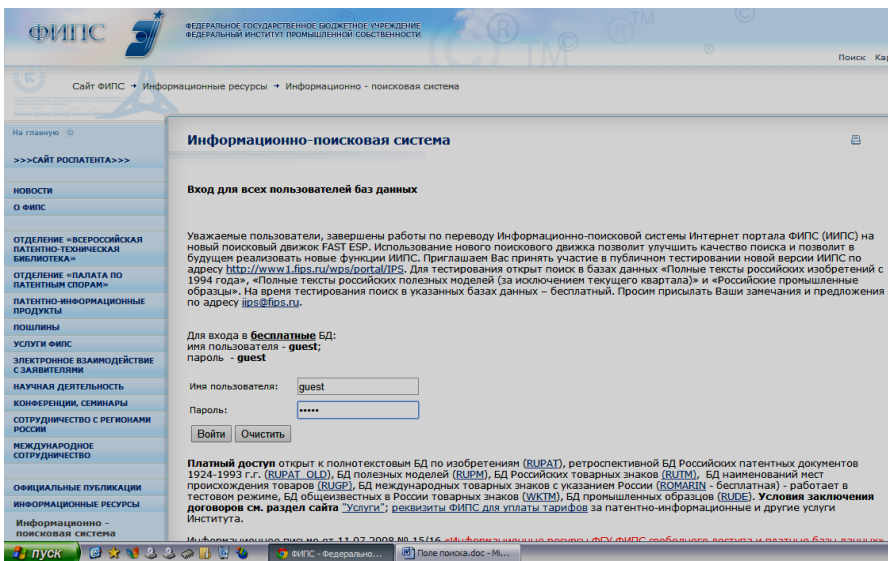


Рисунок 1.3 – Головна сторінка інформаційно-пошукової системи (ІПС) сайту ФПВ

ФИПС
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ИНСТИТУТ ПРОМЫШЛЕННОЙ СОБСТВЕННОСТИ

Поисковый запрос

ВЫБОР БД ДЛЯ ПОИСКА

ПОИСК

НАЙДЕННЫЕ ДОКУМЕНТЫ

ДОКУМЕНТ

НАСТРОЙКИ

СТАТИСТИКА

ВЫХОД

Вид поиска логический

Поиск

Основная область запроса

Операторы
and within
or adj
not очистить

(54) Название

(11) Номер документа

(45) Опубликовано

(21) Заявка

(51) МПК

(71) Заявитель(и)

(72) Автор(ы)

(73) Патентообладатель(и)

(43) Дата публикации заявки

(85) Дата перевода заявки РСТ на национальную фазу

(86) Заявка РСТ

(87) Публикация РСТ

(98) Адрес для переписки

Рисунок 1.4 – Поле пошуку інформаційно-пошукової системи (ІПС) сайту ФПВ

2 ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 2.

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.

Місце проведення - аудиторія.

Час проведення - 2 год.

Загальні положення

В залежності від процедури побудови моделей методи прогнозування, засновані на екстраполяції, поділяються на наступні види [10]:

- пряма екстраполяція;
- адаптивна екстраполяція;
- метод огибаючих кривих;
- 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 в часі;
- визначення аналітичного виразу (математичної моделі), що описує закономірність зміни прогнозованого параметра в часі;
- екстраполяція отриманого рівняння і прогнозування показника надійності на заданий період.

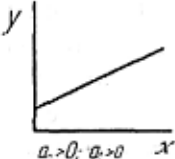
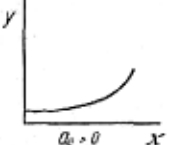
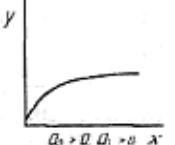
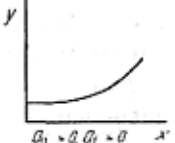
Після побудови графіків за результатами випробувань або досліджень в експлуатації, що відображають зв'язок між змінами, підбирають аналітичну функцію. Вибір кривої визначається суб'єктивними чинниками. Тут велике значення має правильне

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:

$$f(x) = a \cdot x^{\alpha}.$$

Таблиця 2.1 – Аналітичні залежності за методом прямої екстраполяції, що використовуються при прогнозуванні надійності машин

Аналітичні залежності	Формули для визначення параметрів залежностей	Графіки функцій
$y = a_0 x_0 + a_1$	$a_0 = \frac{n \sum x_i y_i - \sum x_i y_i}{n \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2};$ $a_1 = \frac{\sum y_i \sum x_i^2 - \sum x_i \sum x_i y_i}{n \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2}.$	 $a_0 > 0, a_1 > 0$
$y = a_0 x^2 + a_1 x + a_2$	$a_0 \sum x_i^4 + a_1 \sum x_i^3 + a_2 \sum x_i^2 = \sum x_i^2 y_i;$ $a_0 \sum x_i^3 + a_1 \sum x_i^2 + a_2 \sum x_i = \sum x_i y_i;$ $a_0 \sum x_i^2 + a_1 \sum x_i + a_2 n = \sum y_i.$	 $a_0 > 0$
$y = a_0 x^{\alpha_1}$	$\sum y_i x_i^{\alpha_1} - a_0 \sum x_i^{2\alpha_1} = 0;$ $\sum y_i x_i^{\alpha_1} \ln x_i - a_0 \sum x_i^{2\alpha_1} \ln x_i = 0.$	 $a_0 > 0, \alpha_1 > 0$
$y = a_0 e^{\alpha_1 x}$	$\sum y_i e^{\alpha_1 x_i} - a_0 \sum e^{2\alpha_1 x_i} = 0;$ $\sum y_i x_i e^{\alpha_1 x_i} - a_0 \sum x_i e^{2\alpha_1 x_i} = 0.$	 $a_0 > 0, \alpha_1 > 0$

Основні аналітичні залежності, що найчастіше використовуються при прогнозуванні надійності машин та їх елементів, а також формули для визначення постійних параметрів функцій представлені в табл. 2.2.

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. 2.2). Провести розрахунки ресурсу агрегату на роки періоду 2015-2018 р.р. с довірчою вірогідністю (достовірністю) 0,7; 0,8; 0,9. Вихідні данні для розрахунків наведено у табл. 2.2. 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 2.2 – Вихідні данні

Варіант	Рік					
	2008	2009	2010	2011	2012	2013
	Δt (інтервал часу)					
1	1	2	3	4	5	6
	T (ресурс), тис. мото-год.					
	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. Потрібно на підставі вихідних даних необхідно побудувати графік функції $y = f(\text{⌚})$, наприклад (рис. 2.1) [10].

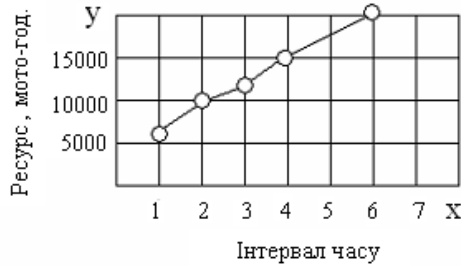


Рисунок 2.1 – Графік зміни прогнозованого параметра в часі

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 аналігічних залежностях (табл. 2.1) 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:

$$\sigma_y = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{y}_i)^2}{1-n}} = \sqrt{\frac{(x_1 - \bar{y}_1)^2 + (x_2 - \bar{y}_2)^2 + \dots + (x_6 - \bar{y}_6)^2}{5}} = 0,21 \text{ тис. мото-год.}$$

Для оцінки розрахунків за довірчою вірогідністю потрібно визначити значення довірчого інтервалу μ , $\mu = \sigma_{arg} \Phi(P_0) = \sigma t$, де $\sigma_{arg} \Phi(P_0)$ - аргумент функції Лапласа або Стьюдента (при $n < 10$), t - гарантійний коефіцієнт (табл. 2.3). За допомогою t визначають довірчу вірогідність похибки виміру (розрахунку). Тобто, при $\Phi(t) = 0,68$; $t=1,0$; $\Phi(t) = 0,76$; $t = 1,2$; $\Phi(t) = 0,9$; $t = 1,7$; $\Phi(t) = 0,95$; $t = 2,0$; $\Phi(t) = 0,999$; $t = 3,0$ [1, 6, 10].

Таблиця 2.3 – 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	0,9756
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 $P_d = 0,68$ 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 ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 3.

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 прямій екстраполяції.

Місце проведення - аудиторія.

Час проведення - 4 год.

Завдання. В результаті збору та обробки інформації щодо встановлено витрата часу на технічне обслуговування тракторів з деякою номінальною потужністю двигунів (табл. 3.1).

Таблиця 3.1 – 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	К-701М	222,0	32	224,0	31	226,0	33	220,0	27	229,3	34
Потужність N_n , кВт		285		290		270		300		310	
Достовірність P_o		0,8		0,9		0,8		0,9		0,95	

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.

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:

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

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

Проведемо розрахунки і занесемо їх в табл. 3.2.

Таблиця 3.2 – 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.

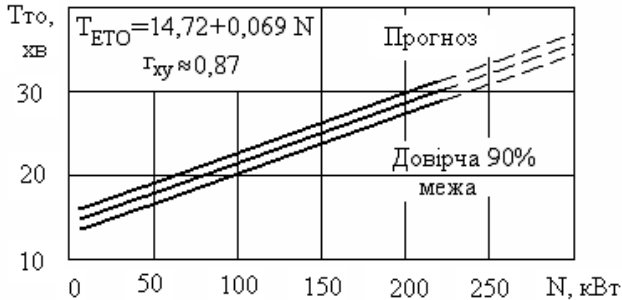


Рисунок 3.2 – Залежність часу на ТО колісних тракторів від номінальних потужностей

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 (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. 3.3.

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 3.3 – 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.	$(x_i - y_i)^2 \cdot 10^3$, 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 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:

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

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:

$$S_{\bar{y}} = S_r \sqrt{1 + \frac{1}{N} + \frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{\sum (x_i - \bar{x})^2}} = 0,664 \sqrt{1 + \frac{1}{8} + \frac{400 - 76,5}{33194,38}} \approx 1,077 \text{ хв.}$$

Відхилення від середнього значення знаходять з урахуванням довірчої імовірності $\pm t_{\beta} S_{\bar{y}}$. Наприклад, для отриманих даних задачі, яка розглядається, при рівні довірчої імовірності $P_0 = 0,9$ значення тривалості на ТО буде знаходитиметься в інтервалі $T_{TO} = 35,42 \pm 1,90 \cdot 1,077$ або $T_{TO} = 35,42 \pm 2,05 \text{ хв.}$ У даному випадку t_{β} – коефіцієнт Стюдента, якій при $n=8$ та $P_0=0,9$ складає 1,9 (табл. 3.4).

Таблиця 3.4 – Значення коефіцієнта Стюдента

n	Значення t_{β} при P_0					
	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	12,91
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	3,50	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

4 ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 4.

ВИЗНАЧЕННЯ РІВНІВ ПОКАЗНИКІВ НОРМИ НАДІЙНОСТІ ЕЛЕМЕНТА КОНСТРУКЦІЇ НА ЕТАПІ РОЗРОБКИ ТЕХНІЧНОГО ЗАВДАННЯ

Мета: придбати первісні навички у проведенні розрахунку норми надійності для складової частини транспортного засобу на етапі розробки технічного завдання та виконання оцінки впливів на зміну її складових.

Місце проведення - аудиторія.

Час проведення - 4 год.

Загальні положення

Наявність чисельних значень показників надійності є однією з умов для проведення досліджень по встановленню закономірностей їх зміни і виробленню рекомендацій по процесах управління надійністю на різних етапах існування транспортних засобів: проектування, виготовлення, експлуатації.

Вибір норм надійності для проекрованої системи і їх попередній розрахунок на етапі передескізного проекту, розробки технічного завдання і технічної пропозиції розглядається як один з методів системного аналізу показників надійності при її дослідженні, до якого крім вказаного, відносяться також [8]:

- орієнтовний розрахунок норм надійності на етапі ескізного проекту;
- повний розрахунок норм надійності з урахуванням режимів роботи елементів і основних чинників, що впливають на даний об'єкт на етапі технічного проекту;
- остаточний варіант розрахунку надійності з урахуванням додаткових чинників, які залежать від схемних, конструктивних, технологічних рішень на етапі робочого проекту (випуску робочих креслень);

- розрахунок реальних показників надійності за даними контрольної (підконтрольної) експлуатації на етапі експлуатаційної перевірки.

Під *нормою надійності* розуміють значення показника надійності, який підлягає забезпеченню.

Ця норма для систем транспортних засобів та її елементів формулюється і визначається при розробці і узгодженні вимог щодо надійності транспортних засобів, висунутих замовником в технічному завданні на її проектування.

Сьогодні нормування починають з вимоги замовника щодо рівня моторесурсу даної системи до першого капітального ремонту. Крім того, доцільно до цієї норми надійності додати показники безвідмовності і терміну служби.

Таким чином, норма надійності нового виробу включає:

- моторесурс до першого капітального ремонту M ;
- вірогідність безвідмовної роботи $R(t)$;
- середнє напрацювання повністю T_m ;
- інтенсивність (небезпека) відмов $\lambda(t)$;
- термін служби до списання або призначений термін служби

$T_{\text{служ.}}(t_0)$.

Знання і дотримання цих норм надійності дозволяє забезпечити і норми надійності елементів, що входять в структуру транспортної системи:

- вірогідність безвідмовної роботи R_i ;
- інтенсивності відмов λ_i ;
- середнє напрацювання повністю T_m^i ;
- ресурс M_i .

Визначення норм надійності для систем автомобіля та її елементів виконується за допомогою спрощених аналітичних методів розрахунку.

Для аналітичного розрахунку нормативів безвідмовності систем автомобіля або їх елементів треба задаватися рівнем вірогідності безвідмовної роботи для певного напрацювання $R(t)$. Для того, щоб не допустити нереального нормування надійності, виконують і аналізують декілька варіантів його розрахунку.

З урахуванням таких підходів можливі два принципово відмінні варіанти аналітичних розрахунків норм надійності:

- за нормою для $R(t_0)$ і значення t_0 відшуковують інші норми для двигуна (T_m, λ) і його елементів (T_m^i, λ_i, R_i) ;

- за нормою $R(t_0)$ для системи і нормативом для елемента λ_i відшуковують інші норми для системи (T, λ) і його елементів (T_m^i, λ_i, R_i) .

Перший варіант розрахунку норм надійності даної транспортної системи полягає в наступному.

Задані: кількість елементів N ; норма надійності $R(t_0)$; призначений ресурс t_0 для даної системи транспортного засобу.

Якщо вважати, що система складається тільки з послідовно сполучених елементів, то це, по-перше, простіше, а по-друге, це дає мінімум R_i , що дозволяє призначити норму з гарантією.

За умови, що всі елементи системи рівнонадійні, то за теоремою множення вірогідності отримуємо умову безвідмовності з вірогідністю $R(t_0)$:

$$\prod_{i=1}^N R_i \geq R(t_0), \quad (4.1)$$

або

$$R_i^N \geq R(t_0), \quad (4.2)$$

або

$$R_i \geq \sqrt[N]{R(t_0)}. \quad (4.3)$$

При експоненціальному розподілі, оскільки $\lambda = \text{const}$ і однакова для елементів системи, вірогідність безвідмовної роботи елемента визначиться як:

$$R_i \geq \exp(-\lambda_i t_0) = \exp\left(-\frac{\lambda}{N} t_0\right), \quad (4.4)$$

де: $\lambda_i \leq \lambda/N$ – максимально допустима небезпека відмови для елемента або норма інтенсивності відмови для елемента.

Величину λ розраховують за формулою для всього діапазону часу $(0 - t_0)$:

$$\lambda = -\frac{\ln R(t_0)}{t_0} = \text{const}. \quad (4.5)$$

Якщо до складу i -го елемента входить f_i компонентів, то, виходячи з їх рівнонадійності, для компонентів норму безпеки (інтенсивності) відмов визначають як:

$$\lambda_{fi} \leq \frac{\lambda_i}{f_i}. \quad (4.6)$$

Норма для середнього напруження повністю обчислюється по формулі:

$$T_m = \frac{1}{\lambda}. \quad (4.7)$$

Потім визначають і норми середніх напружень на відмову для елементів:

$$T_{m_i} = \frac{1}{\lambda_i}. \quad (4.8)$$

Другий варіант розрахунку норм надійності даної транспортної системи полягає в наступному.

Задаються N і $R(t_0)$, а також норма надійності елементів λ_i .

Норматив для інтенсивності відмов системи визначиться як:

$$\lambda = N \lambda_i. \quad (4.9)$$

Далі уточнюється призначений ресурс:

$$t_0 = - \frac{\ln R(t_0)}{\lambda}. \quad (4.10)$$

Потім використовуються формули 4.4, 4.6, 4.8.

Зручнішим є другий варіант розрахунку норм надійності систем, оскільки усувається можливість нереального нормування рівня надійності систем, коли для реалізації норм надійності власне систем

треба забезпечувати надвисокі нормативи безвідмовності його елементів. Доцільніше при призначенні норм надійності йти від реальних норм надійності елементів системи, що дозволяє виконувати другий варіант розрахунку.

Завдання. На етапі розробки технічного завдання на проектування рульового управління автомобіля:

- задані три рівня безвідмовної роботи $R(t_0)$ для певного напруження (призначеного ресурсу) t_0 ;
- визначена інтенсивність відмови для елементу системи λ_i ;
- визначена можлива кількість елементів N структури системи.

Відповідно до початкових нормативних даних для проектованої системи автомобіля, наприклад «рульове управління» тощо, приведені в табл. 4.1:

- виконати аналітичний розрахунок норм надійності для системи в цілому і для елементів, що входять в її структуру по двох варіантах у варіативному плані;
- на підставі отриманих даних побудувати графічні залежності $R_i=f(N)$, $\lambda_i=f(N)$;
- для аналізу отриманих результатів значення показників звести в табл. 4.2;
- за отриманими даними зробити висновки про реальність норми надійності, а при необхідності позначити можливі заходи для отримання достовірніших результатів.

Завдання виконати в робочих зошитах або на листах формату А4, привести порядок розрахунку.

Таблиця 4.1 – Вихідні дані

№ п/п	Значення показника	Варіант									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	N , од.	12	13	11	8	12	10	13	8	9	12
		14	17	15	13	16	15	18	16	14	16
		18	19	17	16	19	20	21	20	17	18
2	$R(t_0)$	0,75	0,7	0,75	0,6	0,7	0,5	0,7	0,7	0,65	0,5
		0,85	0,9	0,95	0,8	0,85	0,7	0,9	0,85	0,75	0,7
3	t_0 , год.	140	160	130	110	160	125	130	150	130	120
4	$\lambda_i \cdot 10^{-3}$ 1/год.	4,22	3,75	5,2	4,6	4,8	4,1	5,2	3,95	5,15	4,7

Таблиця 4.2 – Значення показників норм надійності

Варіант розрахунку	Показники							
	N	$R(t_0)$	t_0	R_i	λ	λ_i	T_m	T_{mi}
1								
2								

5 ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 5.

ВИЗНАЧЕННЯ ВПЛИВУ ПРОГНОЗОВАНОГО РІВНЯ ВДОСКОНАЛЕННЯ ПРОЕКТОВАНОГО ЕЛЕМЕНТА КОНСТРУКЦІЇ НА ЗМІНУ ЙОГО ПОКАЗНИКІВ НАДІЙНОСТІ

Мета: придбати первісні навички у проведенні оцінки зміни показників надійності складової частини системи транспортного засобу на підставі прогнозованої зміни рівня надійності при проведенні орієнтовного розрахунку її надійності.

Місце проведення - аудиторія.

Час проведення - 4 год.

Загальні положення

Орієнтовний розрахунок надійності розглядається як один з складальних методів системи розрахунку надійності, і є також важливим етапом дослідження надійності проекрованої системи транспортного засобу.

При орієнтовному розрахунку надійності: системи (агрегату, вузла, механізму) транспортного засобу, проводять оцінку надійності і при необхідності вносять зміни до даної структурної схеми. Дані зміни більшою мірою стосуються коректування конструктивного виконання тих елементів структурної схеми, функціонування яких, забезпечує використання виробу в цілому, тобто основних. Також не виключена можливість вносити корективи і відносно використовуваних методів резервування, якщо це може підвищити досліджувані показники надійності.

Орієнтовного розрахунку проекрованої системи транспортного засобу ставиться за мету визначення наступних показники надійності: вірогідність безвідмовної роботи системи $P(t)$; щільність розподілу часу безвідмовної роботи $f(t)$; інтенсивність відмов λ ; середнє напруження $T_{сер}$. При цьому приймають наступні допущення:

- інтенсивності відмов елементів структурної схеми відомі;
- відоме число елементів кожного типу;

- однотипні елементи рівнонадійні;
- всі елементи працюють в номінальному режимі.

Для орієнтовного розрахунку надійності системи будь-якого ступеня складності досить знати склад елементів, їх число і середньостатистичне значення інтенсивності відмов елементів кожного типу m .

Для обліку режиму роботи елементів при розрахунку надійності використовується поняття коефіцієнта навантаження, під яким розуміється відношення робочого значення навантаження K_n до її номінального значення. При $K_n=1$ інтенсивність відмов елементів $\lambda=\lambda_0$, де λ_0 - інтенсивність відмов елементу системи, кількісні характеристики надійності якого відомі, дані по ним приводяться в довідниках по надійності. Якщо $K_n \neq 1$, то функція $\lambda=\lambda(K_n)$ є такою, яка монотонно зростає.

При проектуванні нового вигляду об'єктів можуть бути відсутніми дані по інтенсивності відмов деяких елементів. В цьому випадку може бути використаний коефіцієнтний метод розрахунку надійності, при якому:

$$K_i = \frac{\lambda_i}{\lambda_0}. \quad (5.1)$$

Той, елемент, який має інтенсивність відмов λ_0 , називається основним елементом розрахунку надійності системи, а K_i - коефіцієнтом надійності i -го елементу.

Співвідношення для розрахунку показників надійності мають наступний вигляд (формули 5.2-5.5):

$$P \approx e^{-\lambda_0 \sum_{i=1}^m N_i K_i}, \quad (5.2)$$

$$\lambda = \lambda_0 \sum_{i=1}^m N_i K_i, \quad (5.3)$$

$$T_{cp} = \frac{1}{\lambda_0 \sum_{i=1}^m N_i K_i}, \quad (5.4)$$

$$f \text{ (с)} = \lambda_0 \sum_{i=1}^m N_i K_i e^{-t \lambda_0 \sum_{i=1}^m N_i K_i}, \quad (5.5)$$

При оцінці безвідмовності проєктованих об'єктів обов'язково визначається час роботи кожного блоку. Для впорядкування даних відносно впливу елементів блоків досліджуваної структурної схеми на показники надійності для подальшого розрахунку надійності рекомендується скласти облікову таблицю, приклад оформлення наведено в табл. 5.1.

Таблиця 5.1 – Значення елементів досліджуваної структурної схеми проєктованого виробу

Тип елемента	Коефіцієнт навантаж.	Найменування елементів рахунку						
		Блок № 1		Блок № 2		...	Блок № k	
		N_{i1}	$N_{i1} \lambda_{i1}$	N_{i2}	$N_{i2} \lambda_{i2}$		N_{ik}	$N_{ik} \lambda_{ik}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9
основний								
		...	...	...	...	...	...	...
резервний								
		...	...	...	...	...	...	...
		$\sum_{i=1}^{m_1} N_{i1} \lambda_{i1}$		$\sum_{i=1}^{m_2} N_{i2} \lambda_{i2}$			$\sum_{i=1}^{m_k} N_{ik} \lambda_{ik}$	

Більшість елементів складних систем є відновлюваними, при цьому швидкість і якість відновлення об'єкту залежить від пристосованості до ремонту і організації відновлення, яке включає виявлення факту появи відмови, виявлення місця появи відмови, забезпечення хорошої пристосованості до заміни елементів, що відмовили.

Час після появи відмови може бути розділений на три періоди:

- час з моменту появи відмови до моменту встановлення цього факту системою контролю (t_ϕ);

- час з моменту встановлення факту появи відмови до моменту виявлення місця появи відмови (t_o);

- час з моменту виявлення місця появи відмови до моменту заміни елементу, що відмовив (t_y).

Якщо відомі інтенсивності відмов кожного елементу системи, то середній час відновлення при експоненціальному законі рівний:

$$T_{\theta} = 1/\mu = \frac{N_{i1} \lambda_{i1} / \mu_1 + N_{i2} \lambda_{i2} / \mu_2 + \dots + N_{ik} \lambda_{ik} / \mu_k}{N_{i1} \lambda_{i1} + N_{i2} \lambda_{i2} + \dots + N_{ik} \lambda_{ik}}, \quad (5.6)$$

де: $\mu_i = 1/[T_{\theta io} + T_{\theta iy}]$ - інтенсивність відновлення i -го елементу;

$T_{\theta io}$ - середній час виявлення місця відмови;

$T_{\theta iy}$ - середній час усунення відмови.

Завдання. При розробці рульового управління на етапі ескізного проекту розглядається якась типова конструкція і вноситься ряд технічних рішень, направлених на його удосконалення для поліпшення експлуатаційних властивостей автомобіля.

У структурній схемі даного рульового управління виділено: n -а кількість блоків, N -а кількість елементів їх складових, співвідношення типів елементів m (основних, резервних) в кожному блоці.

Аналіз статистичних даних експлуатації аналогових конструкцій дозволив визначити середньостатистичні значення:

- інтенсивності відмов $\lambda_{o1}, \lambda_{o2}$ для кожного типового елементу m ;
- співвідношення основних і резервних елементів 2:1;
- середній час виявлення місця відмови $T_{\theta io}$;
- середній час усунення відмови $T_{\theta iy}$.

За умови, що в проектуваній конструкції значення інтенсивності відмов визначаються значеннями коефіцієнтів надійності що задаються для кожного i -го елементу блоку, відповідно до вихідних даних, приведених в табл. 5.2:

- схематично зобразити структурну схему виробу;
- скласти таблиці розрахунку надійності;
- виконати розрахунок показників надійності аналогової і проектуваної системи.

Відповідно до отриманих результатів:

- визначити межі, усередині яких знаходитимуться кількісні характеристики надійності;
- встановити характер зміни показників надійності даної структурної схеми;
- залежно від зміни показників визначити способи можливого впливу на досліджувану надійність.

Для аналізу отриманих даних рекомендується для вірогідності безвідмовної роботи $P(t)$ даних систем побудувати графічні залежності, а постійні значення показників λ , $T_{сер.}$, T_e занести в табл. 5.3.

Таблиця 5.2 – Вихідні дані

№ п/п	Найменування	Варіант									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	n	3	4	3	4	3	4	3	4	3	4
2	N	6,4,8	5,7,3,4	8,6,3	4,4,6,2	6,5,8	4,7,3,6	4,8,9	5,6,3,6	4,8,3,2	3,7,2,6
3	з'єднання, n	пар.	посл.	пар.	посл.	пар.	посл.	пар.	посл.	пар.	посл.
4	$\lambda_{01}, 10^{-4} 1/г$	5,3	3,8	4,1	2,7	6,4	8,3	5,8	2,9	6,2	4,2
5	$\lambda_{02}, 10^{-4} 1/г$	5,5	3,9	5,0	2,9	6,7	8,9	5,8	3,2	6,5	4,2
6	K_{11}	0,85	0,8	0,9	0,8	0,75	0,85	0,9	0,8	0,75	0,8
7	K_{12}	0,9	0,85	0,95	0,9	0,8	0,9	0,95	0,85	0,9	0,9
8	K_{13}	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
9	$T_{едо}, \text{хв.}, \text{для:}$										
	n_1	15	23	28	12	15	10	15	8	5	12
	n_2	24	12	45	8	19	22	15	23	5	23
	n_3	13	45	27	25	20	25	10	25	20	25
	n_4		26		5		10	15	5	15	16
10	$T_{едр}, \text{хв.}, \text{для:}$										
	n_1	18	15	20	13	25	35	24	15	20	25
	n_2	12	8	25	5	15	35	12	5	5	30
	n_3	34	25	10	20	15	20	18	15	15	15
	n_4		15		15		20	10	10		20

Таблиця 5.3 – Значення показників надійності

№ п/п	Найменування системи	λ	$T_{сер.}$	T_e
1	2	3	4	5
1	Аналогова система			
2	Проектована система			

6 ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 6.

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

Місце проведення - аудиторія.

Час проведення - 4 год.

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, заснованих 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 гіпотеза 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_{0n}^K нижнього рівня і $T_{0\phi}^K$ верхнього рівня вибираються так, щоб ризик α постачальника і ризик β споживача були в межах заданих норм при заданих значеннях $T_{0\phi}$ і T_{0n} (рис. 6.1). Використання одного контрольного значення приводить до збільшення ризиків (рис. 6.1, б), а одного рівня надійності і одного контрольного значення, співпадаючого з середнім значенням, до того, що 50% придатних виробів бракуватиметься (рис. 6.1, 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 $T_{0\phi}$ до T_{0n} приймається рівним 1,25–2,5. Значення ризиків рекомендується приймати відповідно до особливостей виробів (0,05 – 0,30).

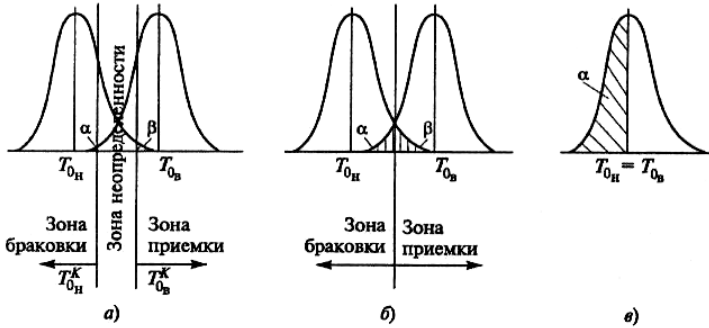


Рисунок 6.1 – Графічне уявлення параметрів контрольних випробувань

Заздалегідь до початку випробувань по значеннях $T_{0в}$, $T_{0н}$, α , β будується графік (рис. 6.2).

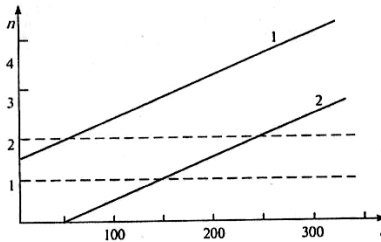


Рисунок 6.2 – Графічна інтерпретація послідовних випробувань

Вираз для лінії бракування 1 має вигляд:

$$n_{\text{бп}} \leq \frac{\ln \left[1 - \beta / \alpha \right]}{\ln \left[T_{0в} / T_{0н} \right]} + \frac{1/T_{0н} - 1/T_{0в}}{\ln \left[T_{0в} / T_{0н} \right]} t. \quad (6.1)$$

Вираз для лінії приймання 2 має вигляд:

$$n_{\text{п}} \geq \frac{\ln \left[\beta / \alpha \right]}{\ln \left[T_{0в} / T_{0н} \right]} + \frac{1/T_{0н} - 1/T_{0в}}{\ln \left[T_{0в} / T_{0н} \right]} t. \quad (6.2)$$

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, отриманих при виконанні практичного завдання № 5 (потрібно використати значення середнього напрацювання на відмову $T_{сер}$ для систем транспортного засобу) відповідно до вихідних даних, що наведено в табл. 6.1:

- 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 6.1 – 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	$T_{0с} / T_{0н}$	1,25	1,30	1,75	2,0	2,25	2,5	2,25	2,0	1,30	1,75	1,25	2,5

7 ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 7.

ВИЗНАЧЕННЯ ОБ'ЄМУ ВИБІРКИ ДЛЯ ПРОВЕДЕННЯ ВИПРОБУВАНЬ НА НАДІЙНІСТЬ

Мета: придбати первісні навички у визначенні факторів впливу на зміну кількості об'єктів та обсягу вибірки при проведенні випробувань на надійність

Місце проведення - аудиторія.

Час проведення - 2 год.

Загальні положення

Основне питання, яке виникає при плануванні експерименту, це питання про розмір вибірки, тобто кількості випробовуваних об'єктів. Під об'єктами слід розуміти як деталі, вузли, механізми, агрегати транспортних засобів, що випробовуються окремо, так і транспортні засоби, що випробовуються в цілому з такими виробами. Причому виробами, у яких і конструкція, і можливо технологія виготовлення зазнала зміни, направлені на підвищення їх якісного рівня. Оцінки якісного рівня виробів нерозривно пов'язані з дослідженням їх надійності. У зв'язку з цим питання, пов'язані з визначенням об'єму вибірки для дослідження надійності на транспортних засобах представляються не маловажними.

У багатофакторних експериментах розмір вибірки залежить від кількості експериментів і необхідної точності визначення значень вихідної характеристики об'єкта. Кількість експериментів визначається числом досліджуваних чинників і порядком рівняння регресії, яким описується залежність вихідної характеристики від чинників впливу зовнішнього середовища.

При збільшенні кількості досліджуваних чинників і числа рівнів варіювання потрібна кількість експериментів істотно зростає. Проте в деяких випадках для знаходження рівняння наближеної регресії буває досить варіювати чинники на двох рівнях, тобто проведення експерименту типу 2^k . В цьому випадку повне дослідження впливів, що є результатами зміни до чинників, зажадає проведення $N = 2^k$

експериментів. В табл. 7.1 показана кількість експериментів, необхідна для виявленнь основних впливів і взаємодій низького порядку для декількох 2^k факторних експериментів.

Таблиця 7.1 – Кількість експериментів залежно від числа досліджуваних чинників

Вплив	Число експериментів при						
	$k = 2$	$k = 3$	$k = 4$	$k = 5$	$k = 6$	$k = 7$	$k = 8$
Основне (лінійне)	2	3	4	5	6	7	8
Взаємодія двох факторів	1	3	6	10	15	21	28
Взаємодія трьох факторів	-	1	4	10	20	35	56
Взаємодія чотирьох факторів	-	-	1	5	15	35	70
Загальне число експериментів	4	8	16	32	64	128	256

Кількість випробовуваних об'єктів для кожного експерименту залежить від необхідної точності результатів експерименту і визначається з формули:

$$n = \frac{t_{\alpha}^2 \sigma^2}{\Delta^2}, \quad (7.1)$$

де n – кількість об'єктів для одного експерименту;

t_{α} – коефіцієнт, який характеризує вірогідність того, що розходження не буде більше Δ (при $t_{\alpha} = 2$ вірогідність $\alpha = 0,95$; при $t_{\alpha} = 2$ вірогідність $\alpha = 0,997$);

σ – середнє квадратичне відхилення параметра в генеральній сукупності;

Δ – максимальне розходження між вибірковими та генеральними середніми арифметичними відхиленнями параметра, яке відповідає заданій вірогідності α .

Даний вираз справедливий, якщо вихідний параметр об'єкта має нормальний закон розподілу.

Для оцінки відтворюваності експерименту потрібне проведення m паралельних дослідів. Для одного режиму випробувань досить тричотири паралельні досліді.

Якщо на кожен режим (дослід) встановлюється кожного разу нова партія об'єктів, то загальна витрата об'єктів при випробуваннях з використанням планів типу 2^k рівна:

$$N \geq \frac{t_{\alpha}^2 \sigma^2}{\Delta^2} (m + 1). \quad (7.2)$$

Завдання. Для визначення рівня надійності вдосконаленого вузла конструкції транспортного засобу планується проведення експерименту. Проведений вибір варійованих чинників, їх число, визначена кількість рівнів їх варіювання. За даними генеральної сукупності результатів відоме значення середнього квадратичного відхилення досліджуваного параметра, заданий рівень точності результатів експерименту.

Відповідно до вихідних даних, приведених в таблиці 7.2, використовуючи формули 7.1, 7.2:

- виконати розрахунок необхідної кількості об'єктів n для кожного експерименту;
- розмір вибірки N , необхідний для проведення експериментів;
- встановити, як зміниться кількість об'єктів n і розмір вибірки N , необхідних для проведення експерименту, якщо змінювати кількість чинників впливу і величину допустимої помилки.
- отримані результати звести в табл. 7.3;
- по виконанню завдання зробити висновки.

Таблиця 7.2 – Вихідні дані

№ п/п	Найменування параметра	Варіанти											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	Кількість факторів, k	2; 3	3; 4	2; 4	2; 3	3; 4	2; 4	2; 3	3; 4	2; 4	2; 3	3; 4	2; 4
2	Число рівнів	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3
3	Кількість дослідів, m	3	4	3	4	3	4	3	4	3	4	3	4
4	Коефіцієнт, t_α	3	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3	2
5	Відхилення параметра σ , год	18	24	13	19	12	31	45	21	77	52	33	28
6	Розходження Δ , год	2; 4	3; 5	2; 3	3; 6	2; 5	8; 11	5; 8	3; 6	4; 6	6; 9	2; 7	3; 6

Таблиця 7.3 – Значення аналізованих величин

№ п/п	Найменування	Варіанти аналізованих величин			
		k_1, Δ_1	k_2, Δ_2	k_1, Δ_2	k_2, Δ_1
1	Кількість об'єктів, які випробовуються, n				
2	Розмір вибірки, N				

8 ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 8.

ВИЗНАЧЕННЯ ЗАЛИШКОВОГО РЕСУРСУ ЕЛЕМЕНТА КОНСТРУКЦІЇ ТРАНСПОРТНОГО ЗАСОБУ ТА ЙОГО МЕЖІ ПРИ ЗАДАНІЙ НАДІЙНІСТІ

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

Місце проведення - аудиторія.

Час проведення - 2 год.

Матеріальне забезпечення - калькулятори.

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. 8.1 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 8.1 – Варіанти завдання

Найменування	1	2	3	4	5	6
	товщина зуба шестерні коліяч. 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	$3,95^{+0,025}_{-0,08}$	$8^{+0,11}_{-0,08}$	$27^{+0,25}_{-0,14}$	$4^{+0,09}_{-0,16}$	$4^{+0,08}_{-0,16}$	$1,750^{+0,050}_{-0,012}$
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 8.2 – Варіанти завдання

Найменування	7	8	9	10	11	12
	гільза циліндра	отвір поршневої голівки шагуна	циліндрична частина кулачка розподіл. валу	стержень клапана	валик паливного насосу	поверхня шестерні під шпінку коліщ. валу
Довірча вірогідність α	0,7	0,75	0,8	0,85	0,9	0,95
Початковий розмір d , мм	$92^{+0,072}_{+0,012}$	$26,25^{+0,045}$	$34,002^{+0,05}_{-0,15}$	$9^{+0,030}_{-0,075}$	$12^{+0,045}_{-0,105}$	$40^{+0,877}$
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
Напращовання 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 [2, 9].

Спочатку визначається середня швидкість зношування поверхні V_h при середньому допуску $\Delta_{сер.}$ на виготовлення при значенні верхнього x_1 і нижнього x_2 відхилення від номінального значення h :

$$\Delta_{cp} = -\frac{x_1 - x_2}{2}, \quad (8.1)$$

$$V_h = \frac{u_{вим}}{t_p} = \frac{h - \Delta_{cp} - h_{вим}}{t_p}, \quad (8.2)$$

Далі обчислюється середній залишковий ресурс за рівнянням:

$$T_{зал} = \frac{1}{V_h} (u_{гран} - u_{вим}) = \frac{(h - \Delta_{cp} - h_{гран}) - (h - \Delta_{cp} - h_{вим})}{V_h}. \quad (8.3)$$

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

$$\alpha = P_{\phi} = \alpha(a < t(x) < b) = \frac{1}{2} \left[\Phi \left(\frac{b - \bar{t}}{\sigma} \right) - \Phi \left(\frac{a - \bar{t}}{\sigma} \right) \right]. \quad (8.4)$$

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 – гарантовний коефіцієнт. Якщо визначено для розрахунків довірна вірогідність α , та відомо значення коефіцієнту t , то стає можливим визначити $\Phi(t)$, значення якої табульовані (додаток Б).

На підставі визначеного середнього залишкового ресурсу $T_{зал}$ визначаються надійні його межі (верхня $t_{зал}^g$ і нижня $t_{зал}^n$) при $\alpha=0,8$ за формулами для розподілу Вйбула-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 Вйбула-Гнеденка визначається по формулі:

$$\sigma = \sqrt{t_0 \left[\Gamma(1 + 2/b) - \Gamma^2(1 - 1/b) \right]}, \quad (8.5)$$

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

Тоді у відповідності з наведеними формулами 8.4-8.5 значення верхньої та нижньої межі залишкового ресурсу визначаються наступним чином:

$$t_{зал}^g = t\sigma + T_{зал}, \quad (8.6)$$

$$t_{зал}^n = T_{зал} - t\sigma. \quad (8.7)$$

Приклад. Відомо, що при вимірюванні товщини зубів шестерні:

$$h_{вим} = 8,76 \text{ мм}; h_{гран} = 8,34 \text{ мм}; h = 9,35^{+0,110}_{-0,158} \text{ мм}; t_p = 2200 \text{ мото-год.}$$

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:

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

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

9 ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 9.

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.

Місце проведення - аудиторія.

Загальний час - 4 год.

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 данні о напрацюванні окремих агрегатів або неможливо застосувати другий, більш точний та вдосконалений метод.

Другий метод ґрунтується на результатах безпосередніх вимірювань того чи іншого параметру, який прогнозується, у минулому або у теперішній (поточний) момент. За наявності математичної моделі зміни параметру, який 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 виразі 9.1 [4].

$$L_{ocm} = k\delta_{ocm} = \frac{0,0087 S_n D_{\psi} \rho x_{\psi} V_a}{0,5 \cdot 10^{-4} \frac{i_o i_k V_k}{r_k} - 2,53 \cdot 10^{-7} \frac{i_o^2 i_k^2 V_a^2}{r_k^2} + 5,21 \cdot 10^{-10} \frac{i_o^3 i_k^3 V_a^3}{r_k^3} + \frac{+ 6,5 \cdot 10^{-3} \frac{r_k}{V_h i_o i_k \eta_{mp}} \left(G_a \psi + \frac{k F V_a^2}{13} \right)}{\delta_{ocm}}, \quad (9.1)$$

де k - коефіцієнт, який враховує умови експлуатації автотранспортних засобів;

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

S_n - хід поршня, мм;

D_{ψ} - діаметр циліндра, мм;

ρ - щільність матеріалу циліндра, г/мм³;

x_{ψ} - 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/м²;

V_h - об'єм циліндрів двигуна, л.

Точність прогнозування залежить від того, наскільки вірно та точно математична модель описує поведінку об'єкту, який 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 у цілому. Наприклад, залишковий знос циліндрів двигуна, який визначається відповідними методиками.

Прогнозування можливо вести через періоди t_1, t_2, t_3 (рис. 9.1). При цьому пробіг в несприятливих умовах, наприклад до капітального ремонту складе l_{min} , в сприятливих легких умовах – l_{max} . За аналогічною методикою прогнозуються ресурси і інших агрегатів транспортних засобів.



Однак, при застосуванні інструментальних методів прогнозування можуть бути деякі труднощі. На підставі цього при оцінці технічного стану транспортних засобів використовуються евристичні методи. Евристичні методи засновані на обліку думок (єрудиції, 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 безліччю можливих варіантів, відкидаючи другорядне і несуттєве, знаходить головне. Евристичне прогнозування

зводиться до усереднення результатів оцінки, висловлюваних групою експертів [4].

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

$$L_{cp} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{L_{i \max} + L_{i \min}}{2}. \quad (9.2)$$

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

$$\sigma_i = \sqrt{\frac{L_{i \max}^2 - L_{i \min}^2}{12}} \approx 0,29 L_{i \max} - L_{i \min}. \quad (9.3)$$

Середнєквадратичне відхилення для загальної думки усіх експертів визначається виразом:

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (L_{cpi} - L_{cp})^2}, \quad (9.4)$$

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

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

Компетентність експертів можливо прогнозувати за величиною $L_i / L_{cp} - 1$. Якщо ця величина менше нуля, експерт обережний, більше – експерт смів, 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 9.1. Під час проведення досліджень визначено вид математичної моделі остаточного ресурсу двигуна вантажного автомобіля, на підставі даних, наведених у табл. 9.1 [6]:

Таблиця 9.1 – 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_n , мм	140	80	120	140	92
Діаметр циліндра $D_{ц}$, 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 $x_{ц}$	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 коробки 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	$L_{ocm}=f(G_a)$ $L_{ocm}=f(V_a)$ Π^*	$L_{ocm}=f(\psi)$ $L_{ocm}=f(V_a)$ Π^*	$L_{ocm}=f(G_a)$ $L_{ocm}=f(\psi)$ Π^*	$L_{ocm}=f(G_a)$ $L_{ocm}=f(V_a)$ Π^*	$L_{ocm}=f(\psi)$ $L_{ocm}=f(V_a)$ Π^*

- 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. P^* - 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 9.2. Групою експертів автотранспортного підприємства дана оцінка технічного стану агрегату автомобіля. На підставі даних табл. 9.2 визначити прогнозований ресурс, ступінь однотайності та компетентність експертів щодо прогнозованої оцінки ресурсу агрегату. Отримані результати занести у табл. 9.3, зробити відповідні висновки.

Таблиця 9.2 – Вихідні данні

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 9.3 – Зведені данні

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

10 ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 10.

ВИЗНАЧЕННЯ МІСЦЬ ВІДМОВ ПРИ НЕЗАВЕРШАНИХ ВИПРОБУВАННЯХ ТРАНСПОРТНОГО ЗАСОБУ ТА ОЦІНКА ЙОГО СЕРЕДНЬОЇ НАРОБІТКИ НА ВІДМОВУ

Мета: отримати первинні навички застосування методики визначення місця відмови при змінах технічних станів транспортних засобів при їх експлуатаційних випробуваннях, та можливості визначення аналітично - графічним методом середньої наробітки на відмову його елемента конструкції.

Місце проведення - аудиторія.

Загальний час - 4 год.

Загальні положення

При визначенні ресурсу агрегатів і деталей в експлуатаційних умовах можливі вимушені припинення випробувань деяких автомобілів. Момент припинення зазвичай випадковий, і напрацювання незавершених випробувань різне для різних автомобілів. Це є істотною відмінністю від усічених випробувань, коли вони припиняються за заздалегідь продуманим планом і всі автомобілі з агрегатами, які не відмовили мають напрацювання, єдине для всіх автомобілів. Для обробки незавершених випробувань може бути використаний комбінаторний метод - метод Джонсона. Метод дозволяє дати оцінку очікуваного місця відмови при зміні станів транспортного засобу [7].

Ідея комбінаторного методу полягає у наступному. Наприклад ставиться завдання визначити математичне очікування місця третьої відмови при оцінці довговічності кузова автобуса за результатами спостережень (табл. 10.1).

За результатами випробувань видно, що відмова кузова спостерігається тільки у трьох з шести автобусів. Якщо відкинути випробування, що не відбулися, то вибірка буде складатися тільки з трьох випадкових величин, що не може забезпечити високої точності визначення числових характеристик розподілу ймовірностей. У той же

час нехтувати інформацією по другому та п'ятому автобусам, які залишалися в працездатному стані при напрацюваннях 213 і 500 тис. км є явно нелогічним.

Таблиця 10.1 – Результати випробувань автобусів

Номер автобуса	Пробіг, тис. км	Технічний стан автобуса
1	112	Відмова F_1
2	213	Попав у аварію S_1
3	250	Відмова F_2
4	484	Згорів S_2
5	500	Попав у аварію S_3
6	572	Відмова F_3

Загальна послідовність результатів випробувань буде представлена рядом станів: $F_1, S_1, F_2, S_2, S_3, F_3$.

Якщо оброблювати результати по трьом відмова, як за випробуваннями, які повністю завершилися, то ймовірності відмови будуть наступними:

$$F(x=112)=1/3, F(x=250)=2/3, F(x=572)=3/3.$$

Якщо приймати до уваги всі шість автобусів, то $F(x=112)=1/6$, а далі або $F(x=250)=2/6$, або $F(x=572)=3/6$ в залежності від напрацювання до відмови автобуса, який вибув з випробувань при напрацюванні 213 тис. км (відмова могла бути більше або менше 250 тис. км). Таким чином, відмова при 250 тис. км може знаходитися на другому або третьому місці, у першому наближенні можливо прийняти середнє місце 2,5.

Для більш точного визначення очікуваного місця відмови слід розглянути всі можливі варіанти її розташування. Для цього потрібно зробити наступне.

Визначається кількість можливих фіналів випробувань автобусів, якщо відмова при 250 тис. км буде знаходитись на другому місці у рядку станів: $F_1, F_2, S_1, S_2, S_3, F_3; F_1, F_2, S_2, F_3, S_2, S_1$ і т.д. – у 24 випадках (по кількості перестановок з чотирьох елементів S_1, S_2, S_3, F_3 : $P=4!=4 \cdot 3 \cdot 2 \cdot 1=24$).

Якщо відмова при 250 тис. км буде знаходитися на третьому місці, то кількість можливих фіналів подій буде виражатися

наступним набором станів: $F_1, S_1, F_2, S_2, S_3, F_3; F_1, S_1, F_2, F_3, S_2, S_3$ і т. д. – у $P=31=6$ випадках. Таким чином, усього є $24+6=30$ варіантів результату випробувань. Математичне очікування місця відмови при 250 тис. км визначиться наступним чином:

$$n_2 = \frac{2 \cdot 23 + 3 \cdot 6}{30} = 2,2.$$

Третя відмова автобуса при напрацюванні 572 тис. км могла би зайняти 3, 4, 5 або 6-те місце в рядку відмов, якщо би в наших дослідженнях всі випробування були би закінченні. Розглянемо можливі варіанти фіналів випробувань:

А) $F_1, F_2, F_3, S_1, S_2, S_3; F_1, F_2, F_3, S_3, S_2, S_1; \dots$ у $31=1 \cdot 2 \cdot 3$, тобто у шести випадках;

Б) $F_1, S_1, F_2, F_3, S_2, S_3; F_1, F_2, S_1, F_3, S_2, S_3; \dots$ у восьми випадках;

В) $F_1, S_1, F_2, S_2, F_3, S_3; F_1, F_2, S_1, S_2, F_3, S_3; \dots$ у восьми випадках;

Г) $F_1, S_1, S_2, F_2, S_3, F_3; F_1, F_2, S_1, S_2, S_3, F_3; \dots$ у восьми випадках.

Кількість можливих фіналів може бути визначено звичайним перебором комбінацій, але слід попам'ятати, що S_2 та S_3 не можуть бути поставлені раніше F_2 , оскільки у наших випробуваннях ці автобуси вже відробили більше чим 250 тис. км.

Таким чином, математичне очікування місця третьої відмови визначиться за виразом:

$$n_2 = \frac{3 \cdot 6 + 4 \cdot 8 + 5 \cdot 8 + 6 \cdot 8}{6 + 8 + 8 + 8} = 4,6.$$

Джонсон запропонував для розрахунків очікуваного місця відмови наступний вираз:

$$n_i = n_{i-1} + \frac{N+1-n_{i-1}}{N+1-m_{i-1}}, \quad (10.1)$$

де n_i – місце відмови, яка очікується при напрацюванні x_i ;

n_{i-1} – місце попередньої відмови;

m_i – кількість об'єктів, які попередньо відмовили та вибили з випробувань;

N – кількість об'єктів, що випробуються.

Для випадку, що розглядається $N=6$, місце відмови при напрацюванні 112 тис. км $n_1=1$, при напрацюванні 250 тис. км - $n_2 = 1 + \frac{6+1-1}{6+1-2} = 2,2$, при напрацюванні 572 тис. км - $n_2 = 2,2 + \frac{6+1-2,2}{6+1-5} = 4,6$. Таким чином розрахунки повністю співпадають з результатами комбінаторних розрахунків.

Знаючи місця очікуваних відмов, знаходять не зсунені значення ймовірностей за виразом:

$$F(x_i) = \frac{n_i}{N+1}. \quad (10.2)$$

Отриманні значення наносять на ймовірний папір (графік з нелінійними шкалами). По точках ймовірностей проводять пряму, що буде відображати закон розподілення ймовірностей (рис. 10.1, 10.2). Для цього використовують ймовірну шкалу, наприклад для нормального закону розподілу (табл. 10.1).

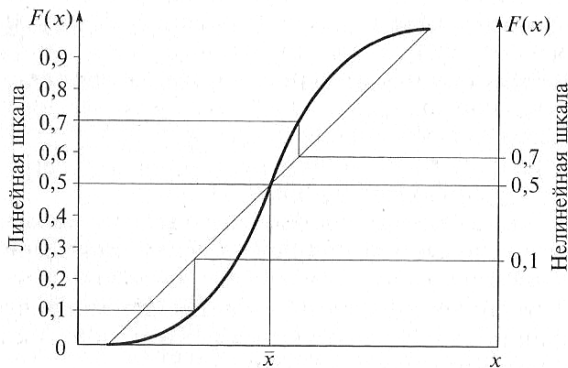


Рисунок 10.1 – Схема побудови нелінійної шкали нормального закону розподілу ймовірностей

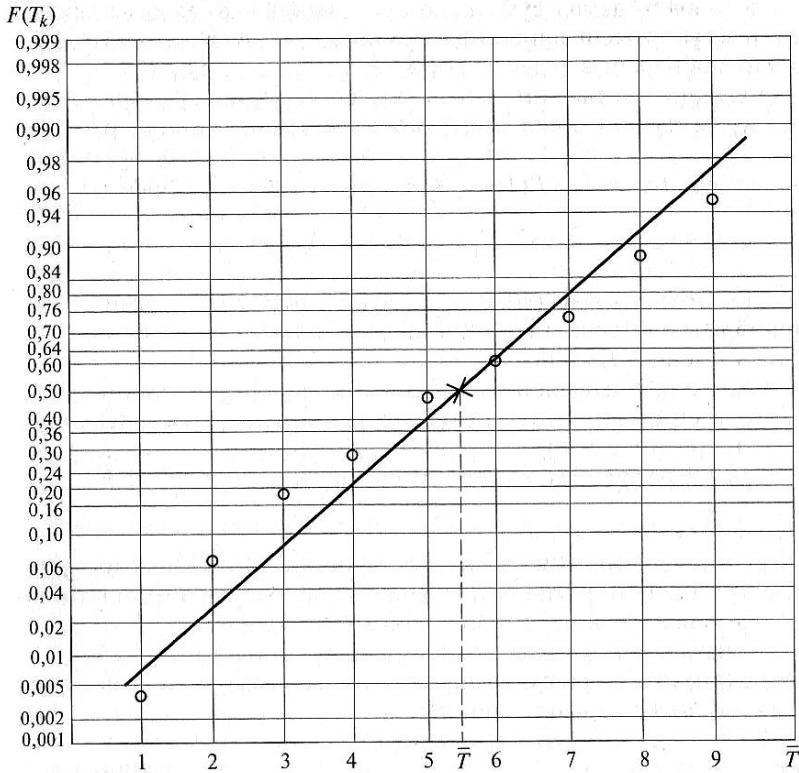


Рисунок 10.2 – Приклад побудови закону розподілення ймовірностей строку служби автомобіля на графіку з нелінійною шкалою ймовірностей

За отриманої графічної залежності можливо знайти численні характеристики випадкової величини. Наприклад, можливо визначити ймовірність відмови при тому, чи іншому напруженні, а також визначити середній ресурс та його середнє квадратичне відхилення.

Гідністю розглянутого методу оцінки надійності транспортних засобів є те, що він дає можливість визначити середній термін служби, середній ресурс їх елементів конструкцій. А знаючи середній річний пробіг транспортних засобів парку автомобілів підприємств, легко визначити середній ресурс, що дозволяє оцінювати їх надійність і планувати витрату запасних частин.

Таблиця 10.1 – Ймовірна шкала для нормального закону розподілення ймовірностей

$F(x)$	$S_{F,MM}$	$F(x)$	$S_{F,MM}$
0,50	0	0,93	71,5
0,52	2,4	0,94	75,4
0,54	4,8	0,95	79,8
0,56	7,3	0,955	82,3
0,58	9,8	0,960	85,0
0,60	12,3	0,965	88,0
0,62	14,8	0,970	91,2
0,64	17,4	0,975	95,1
0,66	20,0	0,980	99,6
0,68	22,7	0,985	106,2
0,70	25,4	0,990	112,9
0,72	28,3	0,991	114,8
0,74	31,2	0,992	116,9
0,76	34,2	0,993	119,0
0,78	37,4	0,994	121,9
0,80	40,8	0,995	124,9
0,82	44,4	0,9955	126,7
0,84	48,2	0,9960	128,7
0,86	52,4	0,9965	131,0
0,88	57,0	0,9970	133,2
0,90	62,2	0,9975	136,2
0,91	65,0	0,9980	139,5
0,92	68,1	0,9985	144,9
0,93	71,5	0,999	150

Завдання. При проведенні випробувань агрегатів трансмісії вантажних автомобілів за результатами спостережень встановлено, що події за змінами їх технічних станів розвивалися так, як вказано у табл. 10.2. На підставі даних, що наведені в табл. 10.2, та розглянутої методики проведення відповідних розрахунків:

- визначити математичні очікування місць кожної з вказаних відмов;

- побудувати закон розподілення ймовірностей на працювання на відмову агрегату автомобіля на графіку з нелінійною шкалою ймовірностей;

- визначити середнє значення наробітки на відмову та її середнє квадратичне відхилення;

- дати прогнозу оцінку зміни середньої наробітки на відмову у випадку, якщо буде виключений випадковий характер припинення випробувань;

- за результатами роботи зробити відповідні висновки.

Таблиця 10.2 – Вихідні данні

Номер автомобіля	Напрацювання автомобілів L , тис. км					Стан автомобіля
	Варіант 1	Варіант 2	Варіант 3	Варіант 4	Варіант 5	
	КПП КамАЗ-4310	Кардана передача УАЗ-3160	Зчеплення ГАЗ-3307	Роздавальна коробка КрАЗ-6322	КПП ЗІЛ-131	
1	106	36	54	155	155	Відмова F_1
2	124	55	59	162	165	Попав у аварію S_1
3	153	63	84	183	175	Відмова F_2
4	196	81	98	192	202	Попав у аварію S_3
5	203	88	122	200	220	Відмова F_3
6	210	96	134	241	234	Попав у аварію S_4
7	246	121	141	258	271	Відмова F_4
8	273	127	183	260	285	Попав у аварію S_5
9	295	138	194	270	301	Відмова F_5
10	310	142	210	293	324	Попав у аварію S_6

11 ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 11.

ПРОГНОЗУВАННЯ РЕСУРСУ ДЕТАЛЕЙ З ВИКОРИСТАННЯМ КОРЕЛЯЦІЙНИХ РІВНЯНЬ ДОВГОВІЧНОСТІ

Мета - ознайомитися з методикою прогнозування ресурсу деталей з використанням кореляційних рівнянь довговічності

Місце проведення - аудиторія.

Загальний час - 2 год.

Загальні положення

Заняття носить ознайомчий характер, припускає розвиток наукового мислення на підставі знань, придбаних за фахом.

Основна спрямованість - самостійне вивчення навчального матеріалу з використанням викладок, викладених в описі методики прогнозування, формування системного розуміння взаємозв'язку між розглянутими категоріями. Більш ретельну увагу пропонується зосередити на змісті формул і можливості їх використання при проведенні досліджень відповідно до тематики магістерської роботи. Для більш повного розуміння викладеного матеріалу наводяться конкретні приклади використання даної методики. За результатами ознайомлення пропонується систематизувати зібрані матеріали в рамках виконання магістерської роботи і відобразити їх у вигляді наповнення блоків пропонованого алгоритму. Матеріал представляється конкретно для елемента конструкції розглянутого транспортного засобу. З причини обмеженості можливостей збору статистичних даних зміст (відомості) можна відобразити з використанням тільки фізичних величин, формулювання критерію (критеріїв) з поясненням їх значення, а також прописуванням назви проведених заходів.

Завдання. Ознайомитися зі змістом методики прогнозування, яке викладено в описовій частині. За результатами систематизації даних аналізу стану питання відповідно до тематики наукового

дослідження, попередньо позначеними вихідними даними, скласти алгоритм прогнозування ресурсу елемента конструкції транспортного засобу. Як елемент розглядати той, щодо якого пропонується виконати заходи з підвищення рівня надійності. Алгоритм зобразити графічно на папері формату А4 (А3) у вигляді блоків, пов'язаних між собою порядком виконання. До графічної частини додається коротка довідка про об'єкт дослідження і титульний лист. У довідці відобразити наступне: назва елемента конструкції, його приналежність, загальний вигляд (схема, рисунок), оціночні параметри, спрямованість досліджень.

Опис методики прогнозування [10]

Моделі розрахунку ресурсу деталей, засновані на фізиці відмов, формально не враховують накопичену інформацію про ресурси раніше випущених виробів і з точки зору прогнозування можуть бути віднесені до евристичних (інтуїтивних) методів. Відомо, що в порівнянні з екстраполяційним евристичні методи дозволяють передбачити якісні стрибки у розвитку, наприклад збільшення ресурсу при розробці нової конструкції або її модернізації. Водночас представляє інтерес розробка методики прогнозування ресурсу деталей без складання логічної моделі, але з урахуванням накопиченої інформації про експлуатацію (випробування) раніше випущених машин-аналогів.

Проведені дослідження показали, що для деталей автомобіля такі оцінки можуть бути отримані за допомогою кореляційних рівнянь довговічності (КРД), що відображають зв'язок між обраними критеріями $A_{\text{л}}$, які характеризують навантажувальний режим, і даними про ресурси деталей, отриманими в результаті спостережень за експлуатацією підконтрольних груп автомобілів. Якщо скористатися кібернетичною схемою «чорного ящика», то мова йде про встановлення функції відгуку між «входами» - факторами й «виходами» - параметрами, один з яких відображає ресурс деталі.

Один з можливих варіантів критерію з урахуванням впливу на довговічність умов експлуатації можна представити у вигляді суперпозиції розподілів:

$$\begin{aligned}
 A_{\Pi} = & \beta \sum_{i=1}^m \sum_{k=1}^l \alpha_i \alpha_{ik} n_{ik}^z \int_a^b S^m f_{ik}^z(S) dS + \\
 & + \beta \sum_{i=1}^m \sum_{k=1}^l \alpha_i \alpha_{ik} n_{ik}^o \int_a^b S^m f_{ik}^o(S) dS, \quad (11.1)
 \end{aligned}$$

де β - коефіцієнт використання пробігу;

α_i - коефіцієнт, що враховує розподіл пробігу автомобіля за типами

доріг $\sum_{i=1}^m \alpha_i = 1$;

α_{ik} - коефіцієнт, що враховує розподіл пробігу автомобіля по «елементарним» навантажувальним режимам (рух з місця, розгін, встановлений рух, гальмування та ін.), характерним для даної деталі

$\sum_{i=1}^m \alpha_{ik} = 1$;

n_{ik}^o , n_{ik}^z - інтенсивності k -го «елементарного» для даної деталі навантажувального режиму на 1-му дорожньому покритті, відповідно для ненавантаженого і навантаженого автомобілів;

$f_{ik}^o(S)$, $f_{ik}^z(S)$ - щільності розподілу k -го «елементарного» навантажувального режиму на i -му дорожньому покритті відповідно для ненавантаженого і навантаженого автомобілів.

У формулі (11.1) узагальнений навантажувальний режим представлений у вигляді сум щільностей розподілів елементарних навантажувальних режимів $f_{ik}^o(S)$ і $f_{ik}^z(S)$, які визначаються шляхом обробки статистичних даних дорожніх випробувань автомобілів або аналітично.

Накопичений досвід побудови КРД для деталей двигунів, трансмісії, підвіски дозволив сформулювати основні положення методики прогнозування показників ресурсу, яка представлена у вигляді блок-схеми на рис. 11.1.

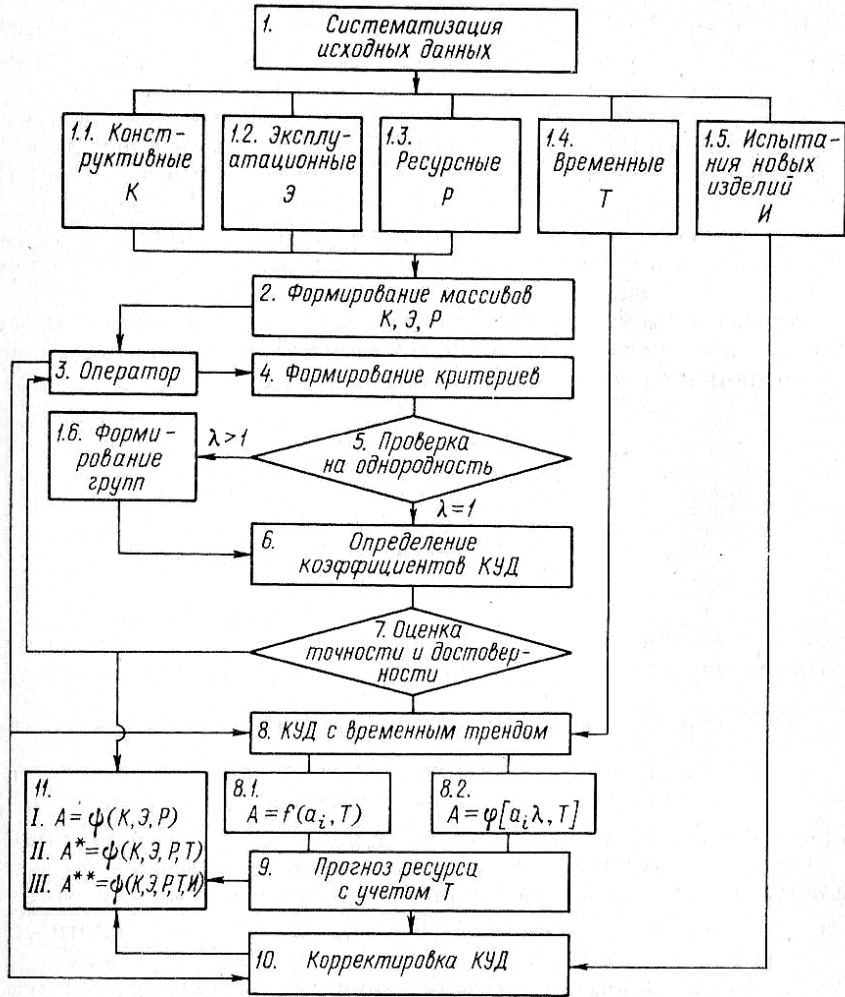


Рисунок 11.1 - Схема прогнозування ресурсу деталей з використанням кореляційних рівнянь довговічності

Залежно від наявності вихідної інформації методикою передбачається три варіанти кореляційних рівнянь довговічності:

- перший – КРД без урахування тимчасового тренда;
- другий – КРД з урахуванням тимчасового тренда;

- третій – КРД з урахуванням тимчасового тренда і коригуванням за результатами випробувань нових виробів.

В блоці 1 виробляється систематизація вихідних даних про підконтрольні партії автомобілів, які поділяються на:

- конструктивні (розміри, матеріали);
- експлуатаційні (умови експлуатації);
- ресурсні (оцінки параметрів: середні значення, дисперсії і т.п.);
- тимчасові (враховують час випуску або модернізації виробів);
- результати випробувань нових виробів, якщо вони отримані на момент розробки прогнозу.

На підставі вихідних даних (блоки 1.1, 1.2 і 1.3) формуються масиви для подальшої обробки у разі використання ЕОМ (блок 2).

Оскільки процедура пошуку КРД нині повністю не формалізована, то одним з основних елементів методики є наявність оператора (блок 3), який приймає рішення про формування критеріїв A_i (блок 4) і можливих варіантах КРД (блоки 8, 10).

Для підвищення точності КРД необхідно проводити оцінку однорідності отриманих в результаті розрахунків критеріїв A_i (блок 5). Це може бути виконано різними способами, зокрема, з використанням теорії розпізнавання образів. Якщо вихідні дані можуть бути сформовані в групи, що відносяться до різних поколінь автомобілів, то доцільно шукати КРД для кожної групи окремо (блок 5.1).

При виборі моделі КРД необхідно звернути увагу на наступні факти. Наприклад, при випробуваннях на втому між навантаженням (амплітудами напружень S) і ресурсом (числом циклів до поломки N) має місце гіперболічна залежність:

$$NS^m = N_0 S_{-1}^m = \text{const} . \quad (11.2)$$

Аналогічна залежність спостерігається і при зносі:

$$A + m_u R = C_n , \quad (11.3)$$

де m_u - швидкість зношування;

C_n - граничний знос.

Якщо в формулах (11.2), (11.3) помножувачі S і m_u розглядати як критерій навантаженості, а N і R як ресурс, то можна зробити висновок, що моделі КРД повинні задовільно описуватися залежностями:

$$A_{II} = a - m \ln N, \quad (11.4)$$

$$A_{II} = A + BR^{-1}, \quad (11.5)$$

тобто гіперболічної (11.5), логарифмічною (11.4) і т.п.

Для знаходження коефіцієнтів рівнянь (11.4), (11.5) найбільш прийнятним є метод найменших квадратів (МНК). Враховуючи, що моделі КРД є нелінійними і для них неможна отримати систему так званих нормальних рівнянь, то для знаходження коефіцієнтів слід використовувати або спеціальні методи, наприклад, градієнтний, випадкового пошуку і т.п., або скористатися підстановками типу $R^{-1} = z$, $\ln N = z$, що дозволяє привести залежності (11.4, 11.5) до лінійного вигляду.

Оцінка точності і достовірності є останнім етапом при використанні КРД для прогнозування ресурсу в першому варіанті, тобто без урахування тимчасового тренда (блок 7). Для оцінки достовірності можуть бути використані різні статистичні характеристики: стандартна помилка, середня відносна помилка, кореляційне відношення, F - критерій Фішера й т.д.

В даній методиці для оцінки достовірності КРД використовується коефіцієнт множинної кореляції:

$$R_{yx_i} = \sqrt{1 - \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - f(x_i))^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - y_{cp})^2}}$$

де: y_i - значення залежної змінної (критерій довговічності);

$f(x_i)$ - рівняння множинної регресії, коефіцієнти якого визначені з використанням МНК;

y_{cp} - середнє значення.

Чим менше відхилення y_i від підібраної залежності $f(x_i)$, тим інтенсивніше кореляція, а значення коефіцієнта ближче до одиниці. Це дозволяє за рахунок зворотного зв'язку в схемі здійснити вибір такого критерію АП, при якому коефіцієнт множинної кореляції досягає максимального значення.

За кореляційним рівнянням виробляється прогноз параметрів ресурсу (блок 11).

Оцінка точності прогнозу проводиться за допомогою довірчого інтервалу. Чим довірливе інтервал, тим точніше прогноз.

В блоці 8 проводиться визначення коефіцієнтів КРД з урахуванням тимчасового тренда. Тут можливі два типи залежностей:

- у вигляді множинного кореляційного рівняння, коли одним з факторів є час початку випуску T (або модернізації) деталі (блок 8.1);
- коли вихідна інформація розбита на групи, відповідні певним періодам розвитку автомобільних конструкцій (блок 8.2).

В цьому випадку тимчасовий тренд враховується у вигляді кореляційних рівнянь для коефіцієнтів КРД. Наприклад, для залежності (11.5) маємо:

$$A_{II} = A(T) + B(T)R^{-1}, \quad (11.6)$$

де $A(T)$, $B(T)$ - кореляційні рівняння, розраховані на основі A_λ і B_λ для різних груп.

Прогноз параметрів ресурсу R^* виконується на основі прогнозного значення критерію A^* і вибраного інтервалу попередження T^* (блок 9).

У методиці передбачено коригування КРД з тимчасовим трендом за результатами випробувань нових виробів (блок 10). Для цього може бути використано дисконтування, тобто зменшення цінності ранньої інформації в порівнянні з більш пізньої, а також методи адаптивного експоненціального згладжування.

Необхідно відзначити, що при прогнозуванні по КРД можна отримати невірні результати, якщо розглянута деталь якісно відрізняється за конструктивними або технологічними параметрами. В цьому випадку перехід до нової технології або конструкції повинен

бути врахований при розрахунку критерію довговічності введенням поправочних коефіцієнтів.

При побудові КРД для однієї марки автомобіля можна чекати підвищення точності розрахункових оцінок середніх ресурсів.

Про синтези прогнозів показників ресурсу деталей

Специфіка прогнозів ресурсів деталей пояснюється їх природною невизначеністю, тобто відсутністю в даний час повного фізичного і математичного опису причин відмов. Наприклад, незважаючи на те, що в середньому при використанні коректованого варіанту гіпотези підсумовування ушкоджень (при програмному навантаженні) розраховані ресурси збігаються з фактичними, проте в кожному конкретному випадку немає впевненості, що отриманий розрахунком ресурс буде близький до фактичного. Аналогічна ситуація виникає і при використанні КРД, що включає тимчасовий тренд або який-небудь інший метод.

Таким чином, недосконалість методик розрахунку (прогнозування) ресурсів деталей призводить до отримання декількох варіантів і задача полягає у знаходженні оптимального рішення.

В теорії прогнозування загальновизнаної класифікації методів і стратегії складання прогнозу немає. У той же час кожен метод володіє певною достовірністю, має свої переваги й недоліки. У цьому зв'язку найбільш перспективними слід вважати комбіновані методи прогнозування (синтез прогнозів), які дозволяють компенсувати недоліки одних способів перевагами інших.

Синтез прогнозів ресурсу слід розглядати як прийняття рішення в умовах невизначеності з ймовірнісною оцінкою несуперечності результатів. Накопичений досвід складання комбінованих прогнозів дозволив сформулювати основні етапи вдосконаленої методики, блок-схема якої наведена на рис. 11.2.

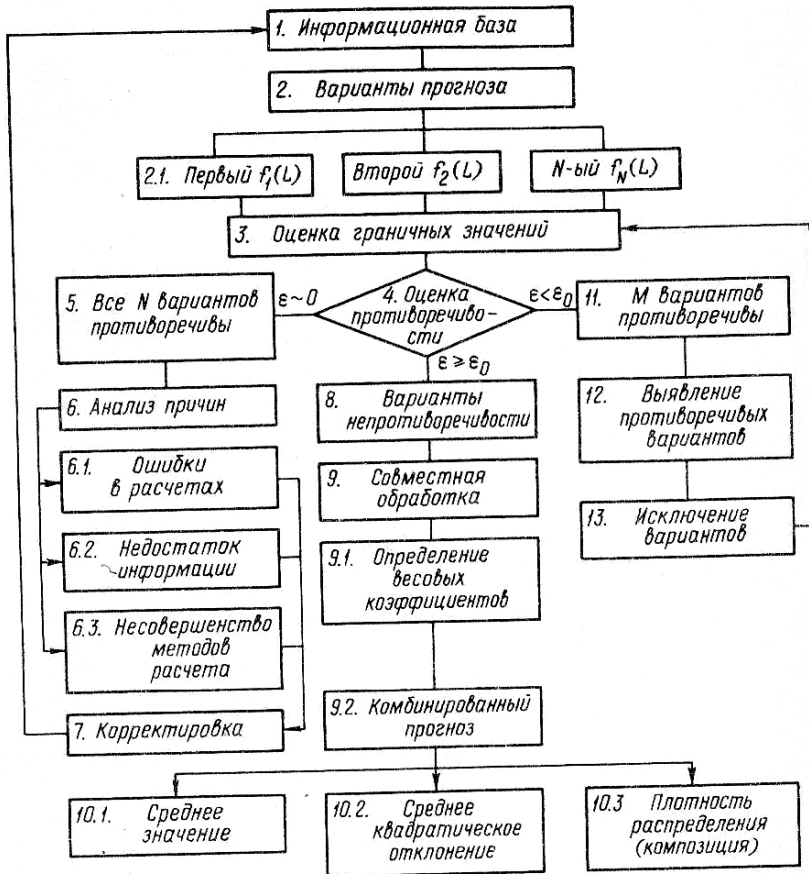


Рисунок 11.2 – Схема складання комбінованого прогнозу ресурсу деталей

В блоках 1 і 2 визначаються параметри і щільності розподілу варіантів прогнозу ресурсів деталі $f_i(L)$, при цьому $i = \overline{1, N}$, $N \geq 2$.

Якщо хоча б один з варіантів дозволяє оцінити граничні значення прогнозу ресурсу, то це необхідно виконати (блок 3). Встановлення меж, наприклад, у вигляді середніх значень дозволяє гарантувати, що комбінований прогноз і фактичний ресурс знаходяться всередині «вилки» граничних значень. Крім цього з розгляду слід виключити ті варіанти прогнозу, оцінки яких знаходяться поза граничних значень. Наприклад, при комбінованому

прогнозі розглядають два варіанти: один, отриманий методом екстраполяції, інший - експертним методом. Несуперечливими вважаються прогнози, якщо виконано нерівність $t_p \leq t_m(p, \lambda)$, де t_p - модуль розрахункового значення критерію Стюдента для p -го рівня надійності і числа ступенів свободи $\lambda = N_1 + N_2 - m - 1$ (N_1 - число спостережень динамічного ряду, m - число параметрів екстраполяційної залежності, N_2 - число експертів).

При такій оцінці несуперечності йдеться фактично про використання параметричних методів визначення приналежності вибірок до однієї генеральної сукупності. Однак ці методи не можуть бути використані, якщо хоч один з варіантів прогнозу отриманий аналітично (тобто, без використання вибірки об'ємом N_j).

Нижче, як приклади, наведено результати побудови КРД на основі обробленої статистичної інформації.

КРД гільз циліндрів

Відповідно до розглянутої методики побудови КРД була зібрана і оброблена статистична інформація, необхідна для розрахунку критерію довговічності гільз циліндрів A_G , яка в результаті проведеного пошуку була представлена у вигляді:

$$A_G = K_m p N_\kappa K_T, \quad (11.7)$$

де: K_m - коефіцієнт, який відображає фізико-механічні властивості матеріалів;

p - параметр, що характеризує силовий і швидкісний режими навантаження гільз;

N_κ - число циклів навантаження гільзи за 1 км пробігу автомобіля;

K_T - коефіцієнт, який відображає теплонапруженість деталі.

Коефіцієнт K_m розраховується за формулою:

$$K_m = \left(1g \frac{\varepsilon_0^t HB_\Gamma^\alpha HB_\kappa^\beta}{HB_\Gamma + HB_\kappa} \right)^{-1}, \quad (11.8)$$

де: HB_{Γ} , HB_{κ} - твердість по Бринелю відповідно гільзи циліндра і кільця;

ε_0 - відносне подовження матеріалу %;

t - показник фрикційно-контактної втоми;

α, β - коефіцієнти.

Вихідні дані для розрахунку K_m наведені в табл. 11.1. Для розрахунків можна прийняти $K_m = 0,169 \div 0,174$ (карбюраторні двигуни), $K_m = 0,152$ (дизельні двигуни).

Як параметр p вибрано питомий тиск кільця на стінку циліндра:

$$p_y = \frac{0,125 p_{\Gamma} D^2}{b \sqrt{0,5D - t}} + p_R, \quad (11.9)$$

де: p_{Γ} - поточне значення тиску газів за кільцем, Па;

D - діаметр циліндра, дм;

b - висота, яка з'єднана рухоме з циліндром частини кільця, дм;

t - радіальна товщина кільця, дм.

Таблиця 11.1 – Вихідні дані для розрахунку коефіцієнтів K_m гільз циліндрів поршневих кілець і поршнів

Параметр	Гільзи циліндрів		Поршневі кільця	Поршні	
	Д*	К*		Д	К
HB	420-450	170-240	700/100*	100	90-0
ε_0^t	1,59	1,77	1,42		
α	2,5		1,5	-	-
β	1,0		2,0	-	-

*Примітка.

1. Д - дизельний двигун; К - карбюраторний двигун.

2. 700/100 - в чисельнику для радіальної поверхні, в знаменнику - для торцевої.

Питомий тиск p_R , створюване пружною силою кільця, визначається за формулою:

$$p_R = \frac{0,434E \left(\frac{A}{t} \right)^2}{\left(\frac{A}{t} - \xi \right) \left(\frac{A}{t} + \frac{D}{t} - 1 \right)^2}, \quad (11.10)$$

де: E - модуль пружності, МПа;

A - зазор в замку кільця у вільному стані, дм;

ξ - постійна, що залежить від епюри тиску, $\xi = 0,2$.

Розрахунок p_T здійснюється за формулою:

$$p_T = 0,8 \cdot (p_e + p_{m.n}), \quad (11.11)$$

де: p_e - середнє ефективне тиск, МПа;

$p_{m.n}$ - тиск механічних втрат, МПа.

При розрахунку p_e враховуються умови експлуатації автомобілів, різні види доріг a_i , завантаження Q_j , середні швидкості руху автомобіля v_{ij} , вплив несталих режимів.

Розрахункова формула для p_e наступна:

$$p_e = \frac{1,25r_k 10^{-6}}{V_h u_o u_{\kappa.n}^* \eta_T} \sum_{j=1}^n \beta_j \cdot \sum_{i=1}^m \alpha_i \left[k_i P_{kj} + \left(1 - k_j \right) \left(G_{Aj} g \overline{\psi}_i + \frac{W v_{ij}^2}{13} \right) \right], \quad (11.12)$$

де: r_k - радіус колеса, м;

V_h - робочий об'єм циліндрів двигуна, л;

u_o - передавальне число головної передачі;

$u_{\kappa.n}^*$ - середньозважене значення передавального числа коробки передач;

η_T - ККД трансмісії;

k_j - коефіцієнт обліку несталих режимів руху;

β_j - коефіцієнт використання пробігу;

P_{kj} - тягова сила на ведучих колесах, Н;

G_{Aj} - маса автомобіля, т;

ψ_i - коефіцієнт опору руху;

W - фактор обтічності автомобіля, Н (с/м)².

Облік несталих режимів проводився тільки для умов експлуатації в місті (коефіцієнт $k_j = 0,2$). При розрахунку P_{kj} використовувалося передавальне число передачі u_{κ} , на якій проводиться рух автомобіля з місця: для навантаженого з чотириступінчастою коробкою передач - перша, з п'ятиступінчастою - друга; для навантаженого автомобіля - середнє значення u_{κ} для першої та другої передач.

Величина $u_{\kappa,п}^*$ визначається за формулою:

$$u_{\kappa,п}^* = 0,6v_{\max} \left(\sum_j \beta_j \sum_i \alpha_i \bar{V}_{ij} \right)^{-1}, \quad (11.13)$$

де: $v_{\max}$ - максимальна швидкість автомобіля;

$\bar{V}_{ij}$ - середня швидкість автомобіля в i -х дорожніх умовах при i -й завантаженні.

Зважаючи на відсутність точної інформації коефіцієнти β_j обрані на підставі статистичних даних: для вантажних бортових автомобілів і сідельних тягачів $\beta_j = 0,63$, для самоскидів $\beta_j = 0,5$.

Тиск механічних втрат $p_{м.п}$ розраховується за формулою:

$$p_{м.п} = A + BC_m, \quad (11.14)$$

де: A, B - коефіцієнти (для карбюраторних двигунів $A = 0,04, B = 0,02$; для дизельних $A = 0,05, B = 0,027$).

Для визначення середньої швидкості поршня використано вираз:

$$C_m = 0,053 S u_0 u_{\kappa,п}^* v_{\max} / r_k, \quad (11.15)$$

де: S - хід поршня, м.

Число циклів навантаження гільзи N_u за 1 км пробігу розраховується за формулою:

$$N_u = u_0 u_{k,n}^* 10^3 / \pi r_k^2. \quad (11.16)$$

Оцінка теплонапруженості деталей циліндро-поршневої групи проводиться за допомогою коефіцієнта K_T , що представляє собою відношення коефіцієнтів теплонапруженості для заданих умов експлуатації $K_{T,e}$ і для максимальної потужності двигуна $K_{T_{\max}}$,

$$K_T = \left(\frac{C_M}{C_{M_N}} \right)^{0,5} \left[\frac{632(p_e + p_{M_N})}{p_{e_N} g_{e_N} H_u \eta_i} \right]^{0,88}, \quad (11.17)$$

де: C_{M_N} , g_{e_N} , p_{e_N} - середня швидкість поршня, питома витрата палива та середнє ефективне тиск при максимальній потужності;

H_u - теплотворна здатність палива;

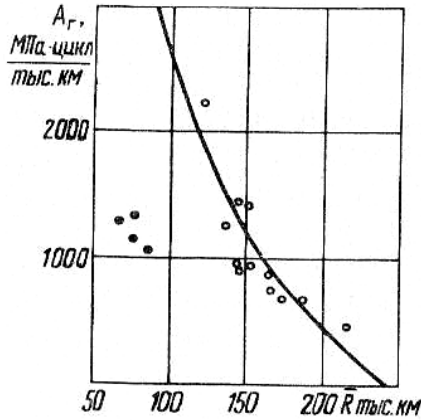
η_i - індикаторний ККД (для карбюраторних двигунів $\eta_i = 0,31$, для дизельних $\eta_i = 0,45$).

З урахуванням вищевикладеного розмірність критерію A_T визначається p і N_u виражається в МПа · цикл на 1 км пробігу.

Розрахунки критеріїв A_T виконувалися для двигунів двох груп автомобілів. КРД гільз циліндрів для другої групи має вигляд (рис. 11.3):

$$A_T = -1744 = 439 \cdot 10^3 / \bar{R}, \quad (11.18)$$

де: $\bar{R}$ - середній ресурс гільз, тис. км.



● - двигуни першої групи; ○ - двигуни другої групи

Рисунок 11.3 – Кореляційне рівняння довговічності гільз циліндрів

Середньоквадратичне відхилення $\sigma_r = 270$ МПа · цикл, кореляційне відношення $\eta = 0,85$.

Зважаючи на малий об'єм першої групи для неї не вдалося розрахувати КРД, але дані по критеріям A_r були використані для побудови прогнозного тренда гільз циліндрів:

$$A_r = -1744 + \frac{439 \cdot 10^3}{R - \lambda(T - 2005)} \quad 1995 < T < 2015, \quad (11.19)$$

де: T - рік початку випуску або істотної модернізації автомобіля;
 λ - коефіцієнт (в розрахунках $\lambda = 6$).

Відповідно до розглянутої методики проведено прогноз середнього ресурсу гільз циліндрів автомобілів КамАЗ-5320 випуску 1986 р. (спостереження за підконтрольною партією автомобілів вироблялося на АТП міста N).

Параметри, що характеризують умови експлуатації, наведені в табл. 11.1, при цьому параметри: $G_{ag} = 255 \text{ кН}$; $G_{a0} = 121 \text{ кН}$, $\eta = 0.63$.

Таблиця 11.1 – Вихідні дані для розрахунку критеріїв навантаженості деталей двигуна підконтрольної партії автомобілів КамАЗ

Дорожні умови	α_i	v_{ij}  км / ч	$\overline{\psi}_i$	u_k 	k_j
Город	0,55	25 (30)	0,02	3,29 (2,9)	0,2
Пригород	0,44	45 (50)	0,02	-	-
Шляхи для під'їзду	0,01	5(10)	0,05	-	-

Примітка.

*В скобках значення для ненавантаженого автомобіля.

**Передаючі числа коробки передач, на яких виробляється рух з місця завантаженого (ненавантаженого) автомобіля.

За формулою (11.10) при $D = 1,2$ дм, $t = 0,05$ дм, $A = 0,188$ дм і $E = 1,2 \cdot 10^5$ МПа визначимо питомий тиск $p_R = 0,234$.

При $v_{\max} = 100$ км / год. середньозважене значення передавального числа коробки передач з виразу (11.13) склало $u_{k.p}^* = 1,69$. Середня швидкість поршня при $S = 0,12$ м, $u_0 = 5,94$ і $r_k = 0,454$ м склало $C_m = 8,33$ м / с. Тиск механічних втрат відповідно до формули (11.14) склало:

$$p_{m.n} = 0,05 + 0,027 C_m = 0,275 \text{ МПа}.$$

Середньооефективний тиск відповідно до формули (11.12) при $V_h = 10,65$ л, $\eta_T = 0,9$, $W = 4,1$ Н  і даних табл. 11.1 склало $p_e = 0,392$ МПа.

За знайденим значенням p_R , p_m та p_e визначимо параметр p (при $b = 0,03$ дм):

$$p = 0,234 + \frac{0,1 \cdot 1,2^2}{0,03 \cdot 1,2 - 0,05} = 0,392 + 0,275 = 6,05 \text{ МПа}.$$

Число циклів навантаження гільз за 1 км пробігу відповідно до формули (11.16) склало $N_{\text{ц}} = 1760$. Коефіцієнт теплонапруженості (при $C_{\text{мН}} = 12,4 \text{ м/с}$, $p_{\text{еН}} = 0,66 \text{ МПа}$, $g_{\text{еН}} = 0,175 \text{ г/л}$ с.ч. та $H_{\text{ц}} = 10500 \text{ ккал/кг}$) склав $k = 0,653$.

Таким чином, критерій довговічності $A_{\text{Г}} = 1056 \text{ МПа} \cdot \text{цикл}$.

Середній прогнозний ресурс гільз циліндрів (11.19) до першої відмови:

$$\bar{R}_{\text{Г}} = 6 \cdot (976 - 1970) + \frac{439 \cdot 10^3}{1744 - 1035} = 193 \text{ тис.км}.$$

Середнє квадратичного відхилення ресурсу $\sigma_{\text{Г}}$ склало:

$$\sigma_{\text{Г}} = 12 + 0,26 \bar{R}_{\text{Г}} = 62 \text{ тис.км}.$$

КРД зубчастих коліс коробок передач

Для прогнозу середнього ресурсу $\bar{R}$ використано КРД, яке враховує тимчасовий тренд, у вигляді:

$$\bar{R} = \frac{70}{A_{\text{з,к}} - 7,6 S_{\text{k}}} + 4 \cdot (-1995), 1995 < T < 2015, \quad (11.20)$$

де: $A_{\text{з,к}}$ - критерій довговічності, $\text{Н} \cdot \text{м/мм}$;

T - рік випуску або істотної модернізації автомобіля;

S_{k} - коефіцієнт використання передачі.

Критерії $A_{\text{з,к}}$ розраховується за формулою:

$$A_{3, \kappa} = \frac{1}{b} \sum_{i=1}^n \alpha_i \left[M_e u_k \frac{\beta_k x_{ik}}{\delta_k} + \left(1 - \frac{x_{ik}}{\delta_k} \right) \overline{\psi}_i \frac{G_A g r_k}{u'_k} \right], \quad (11.21)$$

де: b - робоча ширина зубчастого колеса, мм;

M_e - максимальний крутний момент двигуна, Н мм;

u_k, u'_k - передавальні числа трансмісії відповідно від двигуна і від ведучих коліс до вала шестерні.

На рис. 11.4 наведено КРД зубчастих коліс при $T = 1995$ року, побудоване у вигляді:

$$A_{3, \kappa}^* = 7,6 + \sqrt{40/R^*},$$

де: $R^* = S_k \overline{R}$.

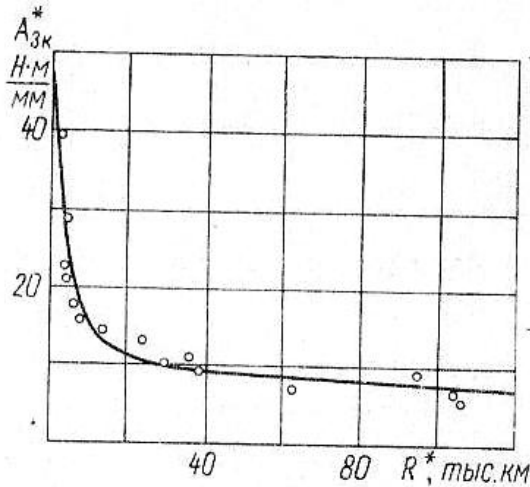


Рисунок 11.4 – Корреляційне рівняння довговічності зубчастих коліс коробок передач

КРД підшипників коробки передач

Для прогнозу середнього ресурсу підшипників $\bar{R}_{50}$ (при 50% ймовірності не руйнування, при базовому числі циклів кривої втоми $N_{O50} = 10^6$) отримано КРД у вигляді:

$$\bar{R}_{50} = \frac{418}{100A_n - 1,76} + 4 \left(\begin{matrix} -1995 \\ 1995 \end{matrix} \right) 1995 < T < 2015, \quad (11.22)$$

де: A_n - критерій довговічності;

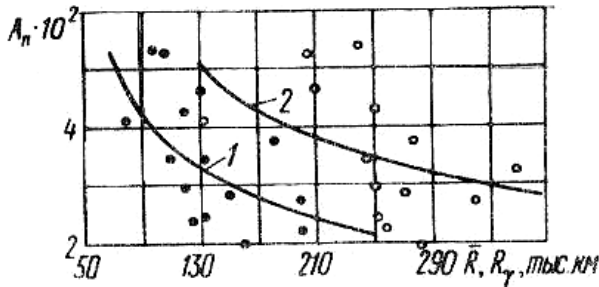
T - рік випуску або істотної модернізації конструкції.

Критерій A_n розраховується за формулою:

$$A_n = \frac{0,5}{C_0} \sum_{i=1}^n \alpha_i \sum_{k=1}^m \gamma_{ik} P_{ik}, \quad (11.23)$$

де: P_{ik} - приведена навантаження на підшипник при русі на k -й передачі в i -х умовах;

C_0 - динамічна вантажопідйомність.



1 - для 90% - них ресурсів, 2 - для середніх ресурсів

Рисунок 11.5 – Кореляційні рівняння довговічності підшипників коробок передач

На рис. 11.5 наведені два варіанти КРД підшипників коробки передач (при $T = 1995$): перший варіант - для середніх ресурсів у вигляді $A_n^* \cdot 10^2 = 1,76 + (418 / \bar{R})$; другий варіант - для 90% ресурсів у

вигляді $A_n^* \cdot 10^2 = 1,1 + (296 / \bar{R})$.

РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Канарчук В.Е.и др. Надійність машин. - Київ: Либідь, 2003.
2. Надійність сільськогосподарської техніки: Підручник. Друге видання. / М.І. Черновол, В.Ю. Черкнун, В.В. Аулін та ін. За заг. ред. М.І. Черновола. - Кіровоград: КОД, 2010. - 320 с.
3. Острейковский В.А. Теория надежности. - М.: Высшая школа, 2003.
4. Говорущенко Н.Я. Техническая эксплуатация автомобилей. - Харьков: Вища школа. Из-во при Харьк. ун-те, 1984. - 312 с.
5. Пронников А.С. Параметрическая надежность. - М.: Изд. им. Баумана, 2002.
6. Краткий автомобильный справочник. — 10-е., перераб. и доп. - М.: Транспорт, 1983. - 220 с.
7. Малкин В.С. Техническая эксплуатация автомобилей: Теоретические и практические аспекты: учеб. Пособие для студ. высш. учебн. заведений. / В.С. Малкин. - М.: Издательский центр «Академия», 2007. - 288 с.
8. Абрамчук Ф.І. и др. Двигуни внутрішнього згорання. 6 том. Надійність машин. - Київ: Либідь, - 2005.
9. Грушко И.М. Основы научных исследований. / И.М. Грушко, В.М. Сиденко // . - Харьков: Вища школа. Изд-во при Харьк. ун-те, 1983. - 224 с.
10. Лукинский В.С. Прогнозирование надежности автомобилей. / В.С. Лукинский, Е.И. Зайцев // - Л.: Политехника, 1991. - 224 с.

Додаток А

Значення гама-функції розподілу $\Gamma(x)$

x	$\Gamma(x)$	x	$\Gamma(x)$	x	$\Gamma(x)$	x	$\Gamma(x)$
1,00	1,0000	1,25	0,9064	1,50	0,8862	1,75	0,9191
1,01	0,9943	1,26	0,9044	1,51	0,8866	1,76	0,9214
1,02	0,9888	1,27	0,9025	1,52	0,8870	1,77	0,9238
1,03	0,9835	1,28	0,9007	1,53	0,8876	1,78	0,9262
1,04	0,9784	1,29	0,8990	1,54	0,8882	1,79	0,9288
1,05	0,9735	1,30	0,8975	1,55	0,8889	1,80	0,9314
1,06	0,9687	1,31	0,8960	1,56	0,8896	1,81	0,9341
1,07	0,9642	1,32	0,8946	1,57	0,8905	1,82	0,9368
1,08	0,9597	1,33	0,8934	1,58	0,8914	1,83	0,9397
1,09	0,9555	1,34	0,8922	1,59	0,8924	1,84	0,9426
1,10	0,9514	1,35	0,8912	1,60	0,8935	1,85	0,9456
1,11	0,9474	1,36	0,8902	1,61	0,8947	1,86	0,9487
1,12	0,9436	1,37	0,8893	1,62	0,8959	1,87	0,9518
1,13	0,9399	1,38	0,8885	1,63	0,8972	1,88	0,9551
1,14	0,9364	1,39	0,8879	1,64	0,8986	1,89	0,9584
1,15	0,9330	1,40	0,8873	1,65	0,9001	1,90	0,9618
1,16	0,9298	1,41	0,8868	1,66	0,9017	1,91	0,9652
1,17	0,9267	1,42	0,8864	1,67	0,9033	1,92	0,9688
1,18	0,9237	1,43	0,8860	1,68	0,9050	1,93	0,9724
1,19	0,9209	1,44	0,8858	1,69	0,9068	1,94	0,9761
1,20	0,9182	1,45	0,8857	1,70	0,9086	1,95	0,9799
1,21	0,9156	1,46	0,8856	1,71	0,9106	1,96	0,9837
1,22	0,9131	1,47	0,8856	1,72	0,9126	1,97	0,9877
1,23	0,9108	1,48	0,8857	1,73	0,9147	1,98	0,9917
1,24	0,9085	1,49	0,8859	1,74	0,9168	1,99	0,9958
0,5	1,7725	2,5	1,3294	4,5	11,632	6,5	287,88
1	1	3	2	5	24	7	720
1,5	0,8862	3,5	3,3233	5,5	52,342	7,5	1871,2
2	1	4	6	6	120	8	5040

Гама-функція для будь-якого значення x розраховується по формулі $\Gamma(x) = (x-1)\Gamma(x-1)$ та за допомогою таблиці.

Приклад. Знайти $\Gamma(3,7)$ – число, якого немає у таблиці.

Рішення. $\Gamma(3,7) = (3,7-1)\Gamma(3,7-1) = 2,7\Gamma(2,7)$

$\Gamma(2,7) = (2,7-1)\Gamma(2,7-1) = 1,7\Gamma(1,7)$. Далі по таблиці.

$\Gamma(1,7) = 0,9086$; $\Gamma(2,7) = 1,7 \cdot 0,9086 = 1,5446$

$\Gamma(3,7) = 2,7 \cdot 1,5446 = 4,1704$

Додаток Б

Значення функції розподілу Лапласа $\Phi(t)$

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