

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до проведення практичних занять
з дисципліни «Основи міцності та довговічності автомобіля»
для здобувачів вищої освіти освітнього ступеня «магістр»
спеціальності 133 Галузеве машинобудування
(освітня програма «Колісні та гусеничні транспортні засоби»)
усіх форм навчання

2020

Методичні вказівки до проведення практичних занять з дисципліни «Основи міцності та довговічності автомобіля» для здобувачів вищої освіти освітнього ступеня «магістр» спеціальності 133 Галузеве машинобудування (освітня програма «Колісні та гусеничні транспортні засоби») усіх форм навчання. / Укл. : О. С. Слюсаров, В. І. Кубіч. Запоріжжя : НУ «Запорізька політехніка», 2020. 58 с.

Укладачі: О.С. Слюсаров, канд. техн. наук, доцент
В.І. Кубіч, канд. техн. наук, доцент

Рецензент: А.Ю. Сосик, канд. техн. наук, доцент

Відповідальний за випуск: О.С. Слюсаров, канд. техн. наук, доцент

Затверджено
на засіданні кафедри
«Автомобілі»
Протокол № 1
від «28» серпня 2020 р.

Рекомендовано до видання
НМК Транспортного факультету
Протокол № 88
від «31» серпня 2020 р.

ЗМІСТ

	Стор.
1 Практичне заняття № 1. Аналіз структури елементів, що визначають надійність і довговічність автомобілів.....	4
2 Практичне заняття № 2. Упорядкування й аналіз каталогів характеристик надійності елементів автомобілів.....	6
3 Практичне заняття № 3. Визначення характеристик показників довговічності.....	11
4 Практичне заняття № 4. Аналіз надійності структурної схеми елементів автомобіля по фрагментам.....	15
5 Практичне заняття № 5. Визначення ймовірності появи відмов різних категорій складових виробу, що проектується.....	19
6 Практичне заняття № 6. Розрахунок показників безвідмовності при відомих параметрах розподілу наробітку до відмови.....	23
7 Практичне заняття № 7. Розрахунок показників безвідмовності за значеннями статистичних даних наробітку до відмови.....	29
8 Практичне заняття № 8. Розрахунок показників безвідмовності, вибір і обґрунтування закону розподілення по емпіричним даним.....	35
9 Практичне заняття № 9. Розрахунок імовірності неруйнування підшипників кочення.....	38
10 Практичне заняття № 10. Розрахунок імовірності неруйнування приводного роликового ланцюга за критерієм міцності від втомленості пластин.....	42
11 Практичне заняття № 11. Розрахунок імовірності неруйнування циліндричних гвинтових пружин стискання з прутка круглого перерізу.....	46
12 Практичне заняття № 12. Розрахунок імовірності неруйнування циліндричних зубчастих передач при контактних напруженнях.....	51
Рекомендована література.....	58

1 ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 1.

АНАЛІЗ СТРУКТУРИ ЕЛЕМЕНТІВ, ЩО ВИЗНАЧАЮТЬ НАДІЙНІСТЬ І ДОВГОВІЧНІСТЬ АВТОМОБІЛІВ

Загальні положення

Для виконання практичного завдання необхідні розрахункові, графічні, та допоміжні дані по темі курсового проекту, у якому розглядалися питання модернізування, проектування різних виробів з метою поліпшення технічних характеристик, що забезпечують їх використання за призначенням.

Будову виробу різної складності, наведеного на складальному кресленні курсового проекту, можна представити у вигляді структурної схеми з урахуванням взаємодії елементів. При цьому необхідно у виробі виділити:

- основні елементи конструкції, що забезпечують безпосереднє одержання необхідних характеристик за призначенням виробу та елементи допоміжні, що забезпечують роботу основних елементів у відповідності до особливостей функціонування виробу залежно від різних умов роботи;

- сполучення і деталі, що забезпечують працездатність і справність виробу в цілому;

- деталі, складальні одиниці, механізми виробу в яких можливі відмови та ознаки прояву цих відмов.

Відповідно до цього, використовуючи принцип логічного послідовного й паралельного з'єднання елементів по своєму призначенню в конструкції виробу, представляється можливим скласти його структурну схему й проаналізувати характер конструктивної взаємодії елементів у справному стані.

Приклад структурних схем виробів представлений на рисунку 1.1.

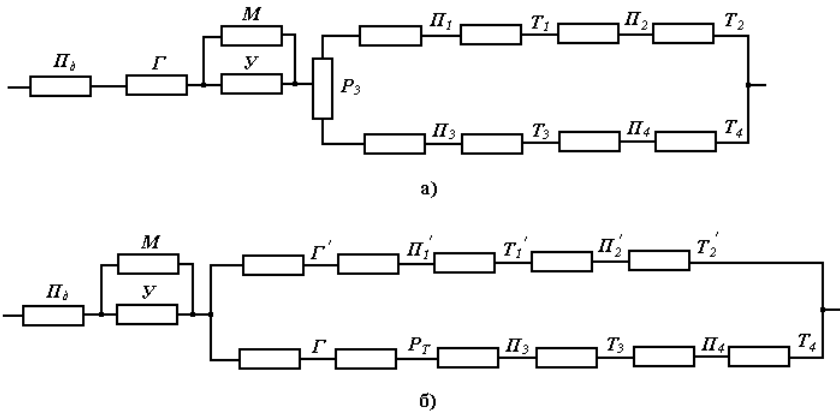


Рисунок 1.1 – Структурні схеми виробів

Завдання

Відповідно до курсового проекту необхідно:

- скласти й графічно зобразити структурну схему спроектованого виробу;
- проаналізувати характер конструктивної взаємодії елементів по функціональній важливості, можливим відмовам відносно забезпечення справного стану;
- виділити елементи конструкції виробу для наступного аналізу надійності виробу в цілому.

Результати робіт виконати на стандартних аркушах формату А4 або в зошиті.

2 ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 2. УПОРЯДКУВАННЯ Й АНАЛІЗ КАТАЛОГІВ ХАРАКТЕРИСТИК НАДІЙНОСТІ ЕЛЕМЕНТІВ АВТОМОБІЛІВ

Загальні положення

Кожна деталь автомобіля може мати ряд характеристик надійності, у відповідності до можливих відмов, незважаючи на рівень її надійності.

Характеристики надійності елементів автомобіля є вихідними для забезпечення або оцінки надійності автомобіля в цілому. Характеристика надійності елемента формується у відповідності до можливої її відмови, яка впливає на працездатність виробу, та суттєвих ознак і їх показників відмови. Для елементів автомобіля найбільш суттєвими вважають ознаки: безпечності, характеру прояву відмови, довговічності, можливості діагностування, трудовитрат і вартість попередження виникнення або усунення відмов. Таким чином відмови можна класифікувати за шістьма ознакам.

Повна характеристика надійності елемента вимагає великої кількості інформації, яку об'єктивно одержати складно, а в більшості випадків, що зустрічаються на практиці, і не потрібно.

Для формування короткої характеристики надійності елемента ознаки, позначають буквами від А до Е, причому кожній ознаці можуть бути поставлені у відповідність декілька рівнів, позначуваних цифровими індексами, з яких перше неприпустиме або небажане (табл. 2.1).

Ознаки довговічності B_2 , B_3 , B_4 за бажанням для уточнення можуть розбиватися на підгрупи (рис. 2.1).

При таких ознаках множина характеристик надійності теоретично складає 648 різних характеристик, з нижньою (неприпустимою) межею $A_1 B_1 V_1 \Gamma_1 D_1 E_1$ і верхньою $A_2 B_2 B_{43} \Gamma_2 D_3 E_3$.

Характеристики надійності дають початкові відомості про надійність елемента:

- (Б) – наслідки й значення відмови для всього виробу;
- (А, Б, Г) – про безвідмовність;
- (В) – про довговічність;

(Г, Д, Е) – про ремонтпридатність;

(Д, Е) – про вартість забезпечення надійності в експлуатації.

Один і той ж елемент має декілька характеристик надійності по числу можливих відмов (табл. 2.4).

Сукупність характеристик надійності дозволяє скласти каталог надійності елементів виробу (табл. 2.1), дотримуючись структурно-логічної схеми: виріб → система → збірна одиниця → деталь → відмови.

Наприклад, якщо підшипник кочення є елементом коробки передач, що є складовою трансмісії автомобіля, то зовнішня і внутрішня обойми, кульки, сепаратор будуть деталями підшипника кочення, які можуть мати по декілька відмов кожна зі своїми характеристиками надійності.

Таблиця 2.1 – Фрагмент каталогу для елементів заднього мосту вантажного автомобіля

№ з/п	Найменування складових виробу	Найменування відмови	Характеристика
1	Вал-шестерня конічна	Пошкодження робочої поверхні зуба	$A_2 B_2 B_3 \Gamma_2 D_1 E_1$
		Поломка зуба	$A_2 B_1 B_2 \Gamma_1 D_1 E_1$
		Зношеність шліців	$A_2 B_2 B_3 \Gamma_2 D_2 E_1$
2	Циліндрична шестерня	Поломка зуба	$A_2 B_1 B_2 \Gamma_1 D_1 E_1$
3	Сателіт диференціала	Пошкодження робочої поверхні зуба	$A_2 B_2 B_4 \Gamma_1 D_1 E_2$
4	Напівосьова шестерня	Пошкодження робочої поверхні зуба	$A_2 B_2 B_4 \Gamma_1 D_1 E_2$
5	Хрестовина диференціала	Зношеність робочих поверхонь	$A_2 B_2 B_4 \Gamma_1 D_1 E_2$
6	Підшипник диференціала	Зношеність робочих поверхонь	$A_2 B_2 B_3 \Gamma_1 D_1 E_1$
7	Шпилька півосі	Руйнування шпильки	$A_2 B_1 B_2 \Gamma_1 D_2 E_2$
...			
24	Картер заднього моста	Тріщина картера	$A_2 B_1 B_3 \Gamma_2 D_1 E_1$
		Недостатня герметичність ущільнення кришки	$A_2 B_2 B_3 \Gamma_2 D_2 E_3$
		Недостатній рівень оливи в картері	$A_2 B_2 B_3 \Gamma_2 D_3 E_2$

З огляду на можливості декількох відмов у деяких деталях, загальне число можливих характеристик деталей автомобіля може обчислюватися сотнями.

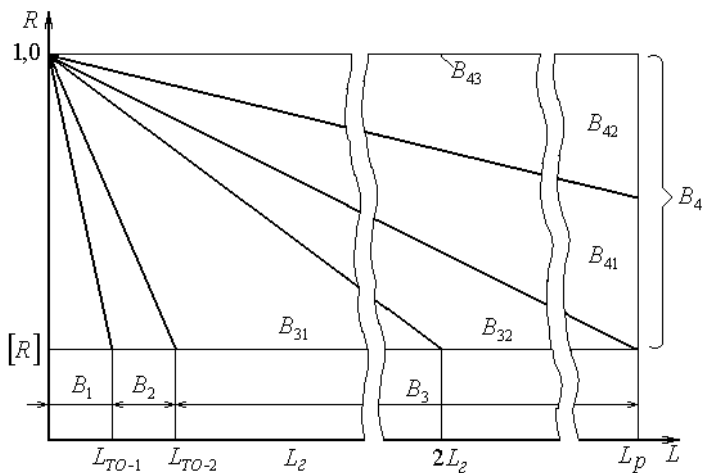


Рисунок 2.1 – Области довговічності елементів автомобіля

Завдання

1. Відповідно до складеної структурної схеми виробу розроблюваного в курсовому проекті скласти каталог надійності елементів виробу, який зобразити у вигляді таблиці.

2. Використовуючи характеристики надійності елементів зробити аналіз надійності виробу, розглянувши типові завдання:

– загальної оцінки надійності виробу визначивши: яку кількість елементів мають різні рівні надійності (абсолютну, відносно надійну, обмежену, критичну довговічність); відмови яких елементів до яких наслідків приводять; довговічність яких деталей треба підвищити в першу чергу й т.п.;

– оцінки збалансованості конструктивних рішень по кожній деталі: усунення яких відмов деталей високовартісні і трудомісткі; які із них визначають ресурс виробу в цілому, які виконані з абсолютною, відносною, обмеженою або критичною довговічністю, а які менш довговічні, але мають менш негативні наслідки відмов й т.д.;

- виявлення пріоритету напрямків підвищення надійності виробу;
- оцінки раціональності запланованих експлуатаційних впливів для забезпечення ефективної експлуатації виробу;
- планування черговості робіт із поліпшення ремонтпридатності й зниженню вартості експлуатації;
- попередньої оцінки потреб у номенклатурі і кількості запасних частин для забезпечення експлуатації виробу;
- оцінки можливостей зниження маси, металоємності деталей виробу при збереженні їхньої довговічності.

Результати виконаних завдань звести в підсумковій таблиці 2.2, 2.3.

Таблиця 2.2 – Каталог надійності елементів _____
(найменування виробу)

№ з/п	Найменування деталі виробу	Найменування відмови	Характеристика
1	2	3	4

Таблиця 2.3 – Аналіз надійності виробу _____
(найменування виробу)

№ з/п	Найменування типового завдання	Зміст аналізу
1	2	3

Таблиця 2.4 – Класифікація ознак відмов і відповідних їх рівнів

№ з/п	Ознака	Позначення ознак (А, Б, В, Г, Д, Е)			
		Небезпечний А₁	Безпечний А₂	-	-
2	Тип відмови	Раптовий Б₁	Поступовий Б₂	-	-
3	Рівень показника довговічності елемента (рис. 2.1, табл. 2.2)	критичний В₁	Обмежений В₂ (В ₂₁ , В ₂₂ , В ₂₃)	Відносний В₃ (В ₃₁ , В ₃₂)	Абсолютний В₄ (В ₄₁ , В ₄₂ , В ₄₃)
4	Можливий момент експлуатаційного впливу	Після виникнення відмови (по потребі) Г₁	До виникнення відмови (профілактичний) Г₂	-	-
5	Трудомісткість усунення або попередження відмови	Велика Д₁	Мала Д₂	Сумарна (накопичувальна) Д₃	-
6	Вартість запасних частин або матеріалів	висока Е₁	низька Е₂	Накопичувальна Е₃	-

Примітка. При складанні характеристик трудомісткість усунення відмови умовно приймається малою при тривалості одного усунення в межах 1 год. або відсутності втрат лінійного часу.

В навчальних завданнях, при відсутності нормативних даних по трудовитратам на усунення відмов, рекомендується межу малих і великих трудовитрат визначати можливістю заміни дефектних деталей безпосередньо без демонтажу і розбирання вузлів до яких вони входять.

Вартість замінних деталей приймається малою, якщо вона не перевищує 1% нормативної вартості запасних частин за наробіток автомобіля до капітального ремонту.

3 ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 3. ВИЗНАЧЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ПОКАЗНИКІВ ДОВГОВІЧНОСТІ

Загальні положення

Числові значення показників, що визначають межі класів елементів виробу по довговічності, залежать від показників: нормованого наробітку автомобіля в цілому до капітального ремонту L_p ; строку служби t_p ; річного пробігу L_e ; пробігів L_{TO-1} , L_{TO-2} , до відповідного регламентного технічного обслуговування ТО-1, ТО-2.

Для різних станів елементів виробу, що має наведені вище значення пробігів і термінів служби, з урахуванням існуючої практики, представляється можливість визначити в середньому за рік роботи наступні характеристики довговічності: імовірність R збереження виробами працездатності; число відмов n на N виробів; параметр потоку відмов ω . Характеристики довговічності розподіляють для відповідних показників відповідно до їх рівня.

Виходячи з існуючої практики число відмов i , відповідно, експлуатаційних впливів n для елементів автомобіля критичної довговічності B_1 виражається в їхньому можливому прояві до витікання найменшого наробітку виробу до регламентного технічного обслуговування ТО-1 і визначається відношенням

$$n_k = L_p / (4L_{TO-1} t_p). \quad (3.1)$$

Таким чином, якщо число відмов буде рівним або перевершувати зазначене відношення, то такий рівень показника довговічності елемента визначають як критичний.

Для обмеженої довговічності B_2 число відмов, що проявляються в період між першим проведенням ТО-1 і наробітком виробу до регламентного технічного обслуговування ТО-2, рівним звичайно піврічному пробігу $L_e / 2$, визначається відношенням

$$n_{об} = L_p / (2L_{TO-2} t_p). \quad (3.2)$$

Якщо в рік проявляється більша кількість відмов, то такий рівень показника довговічності визначають як обмежений.

Для відносної довговічності B_{32} характерним є число відмов, які проявляються в період між минулими двома річними пробігами й наробітком до повного ресурсного пробігу, що визначається відношенням

$$n_e = L_p / (2L_e), \quad (3.3)$$

тобто, якщо в рік проявляється більша кількість відмов, то такий рівень показника довговічності визначають як недостатній (B_{31}), а при меншій кількості відмов показник довговічності визначають як відносної довговічності (B_{32}). Для деталей абсолютної довговічності $n_{abc} \leq 1$.

Далі для областей довговічності задаються відносно рівними інтервалами: для області абсолютної довговічності із числом відмов у рік $n \in [0, 1]$ інтервалами для рівнів B_{43} , B_{42} , B_{41} на N виробів у рік; для області відносної довговічності з $n \in [(n_e + 1), n_u]$ і недостатньої довговічності з $n \in [(n_e + 1), n_{oe}]$ відмов на N виробів у рік відповідно B_{32} , B_{31} ; для області обмеженої надійності з $n \in [(n_{oe} + 1), n_k]$ відмов на N виробів у рік – B_{23} , B_{22} , B_{21} ; для області критичної довговічності B_1 з $n \geq n_k$.

При визначенні меж інтервалів рівнів довговічності, залежно від порядку обчислень, необхідно застосовувати дійсні числа значень порядку: 0,1; 0,01 й т.п.

У відповідності зі значеннями відмов визначають параметр потоку відмов ω , як середнє число відмов поблизу наробітку L_e на 1 км шляху для кожного показника, використовуючи наступне відношення

$$\omega = n / NL_e. \quad (3.4)$$

Середньорічну імовірність збереження виробами працездатності R визначають із розрахунку на N виробів по залежності

$$R = (N - n) / N \quad (3.5)$$

$$R = (N - n/10) / N^* \quad (3.6)$$

Результати розрахунків заносять до таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Характеристики довговічності

Показник довговічності	Число відмов на N виробів у рік	Параметр потоку відмов ω	R (середньорічна)
Абсолютна довговічність			
Відносна довговічність			
Недостатня довговічність			
Обмежена довговічність			
Критична довговічність			

Завдання

Використовуючи вихідні дані, що наведені в таблиці 3.2*, зробити розрахунки:

- характеристик довговічності виробу;
- числових значень меж класів елементів виробу по довговічності.

Результати виконаних обчислень відобразити у вигляді таблиці.

*Примітки:

1. Якщо за варіантом приймається $N=10$, то для обчислень застосовувати формулу (3.6).

2. Якщо в розрахунковій частині курсового проекту визначались значення показників технічного стану, то для виконання завдання необхідно їх приймати за вихідні дані.

Таблиця 3.2 – Значення нормативних показників технічного стану виробу

[illegible]

4 ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 4.

АНАЛІЗ НАДІЙНОСТІ СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ ЕЛЕМЕНТІВ АВТОМОБІЛЯ ПО ФРАГМЕНТАМ

Загальні положення

Для оцінки надійності вузлів виробу розглядають не тільки фізичну надійність кожного із його складових елементів, але й зв'язки цих елементів між собою, що впливають на працездатність вузла.

У найпростішому випадку елемент може перебувати в двох станах: працездатному стані з імовірністю R або у непрацездатному стані з імовірністю F . Тоді для повної групи імовірних станів маємо

$$R + F = 1.$$

Для системи із двох елементів можливе число станів чотири і для повної групи імовірних станів маємо

$$(R_1 + F_1) \cdot (R_2 + F_2) = R_1 R_2 + R_1 F_2 + F_1 R_2 + F_1 F_2 = 1.$$

Відповідно для системи із n елементів число станів рівне 2^n , визначається кількістю членів співмножників залежності

$$\prod_{i=1}^n (R_i + F_i) = 1.$$

Число працездатних станів певного вузла залежить від способу з'єднання елементів. Можливі значення імовірності працездатного стану вузла залежать також від співвідношення ймовірностей працездатного стану кожного з елементів, що входять до цього вузла.

Залежно від способу з'єднання елементів число працездатних станів вузла може бути різним. Однак завжди є два граничних стани, які відповідають мінімальній імовірності безвідмовної роботи при послідовному з'єднанні, що має лише один працездатний стан, і максимальній імовірності безвідмовної роботи при паралельному

з'єднанні, що забезпечує $(2^n - 1)$ працездатних станів при одному непрацездатному.

У проміжних варіантах розрізняють змішані способи з'єднання елементів для яких чим більше число працездатних станів розглянутого вузла, тим вище його надійність.

Імовірність працездатного стану послідовно з'єднаних елементів менше надійності найменш надійного елемента й визначається залежністю

$$R = \prod_{i=1}^n R_i . \quad (4.1)$$

Імовірність працездатного стану паралельно з'єднаних елементів вище, ніж імовірність працездатного стану найбільш надійного елемента й визначається залежністю

$$R = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - R_i) . \quad (4.2)$$

Як приклад, на рисунку 4.1 наведені можливі варіанти схем з'єднання трьох елементів, для яких характерно наступне:

– для рисунка 4.1 *а* один працездатний стан, формула розрахунку імовірності безвідмовної роботи

$$R = R_1 R_2 R_3 ;$$

– для рисунка 4.1 *б* три працездатних стани, формула для розрахунку ймовірності безвідмовної роботи

$$R = R_1 \cdot [1 - (1 - R_2)(1 - R_3)] = R_1 R_2 R_3 + R_1 F_2 R_3 + R_1 R_2 F_3 ;$$

– для рисунка 4.1 *в* число працездатних станів рівне п'яти, формула для розрахунку імовірності безвідмовної роботи

$$R = 1 - (1 - R_1)(1 - R_2 R_3) = 1 - (F_2 F_3 + R_2 F_3 + F_2 R_3) F_1 = \\ = R_1 R_2 R_3 + R_1 F_2 R_3 + R_1 R_2 F_3 + F_1 R_2 R_3 + R_1 F_2 F_3;$$

– для рисунка 4.1 з число працездатних станів рівне семи, формула для розрахунку імовірності безвідмовної роботи

$$R = 1 - (1 - R_1)(1 - R_2)(1 - R_3) = 1 - F_1 F_2 F_3 = R_1 R_2 R_3 + \\ + F_1 R_2 R_3 + R_1 F_2 F_3 + R_1 R_2 F_3 + F_1 F_2 R_3 + F_1 R_2 F_3 + R_1 F_2 F_3.$$

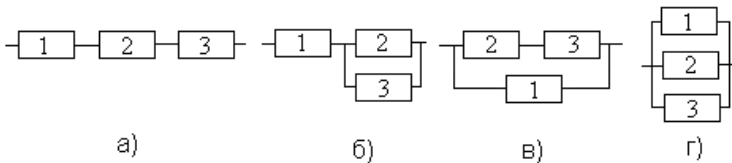


Рисунок 4.1 – Схеми з'єднання елементів, що забезпечують різну надійність вузла виробу

Завдання

1. Відповідно до вихідних даних завдань і отриманих результатів по практичних заняттях 1...3 вибрати два фрагменти зі структурної схеми спроектованого виробу з вузлами, які найбільше впливають на працездатність виробу в цілому, з кількістю елементів від чотирьох до шести.

2. Визначити порядок з'єднання елементів в обраних фрагментах.

3. Скласти формули розрахунку імовірності безвідмовної роботи вузлів та визначити кількість їх працездатних станів.

4. Розрахувати імовірності безвідмовної роботи фрагментів структурної схеми спроектованого виробу з урахуванням рівності й нерівності ймовірностей працездатності елементів.

Результати виконаного завдання відобразити у вигляді таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Оцінка надійності фрагментів структурної схеми
(найменування виробу)

№ з/п	Найменування фрагмента (схема)	Розрахункова формула	Кількість працездатних станів	Імовірність безвідмовної роботи
1	2	3	4	5

5 ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 5. ВИЗНАЧЕННЯ ЙМОВІРНОСТІ ПОЯВИ ВІДМОВ РІЗНИХ КАТЕГОРІЙ СКЛАДОВИХ ВИРОБУ, ЩО ПРОЕКТУЄТЬСЯ

Загальні положення

Виконання завдання даного практичного заняття є продовженням попереднього заняття, при цьому використовується методика обчислень, розглянута на занятті № 4.

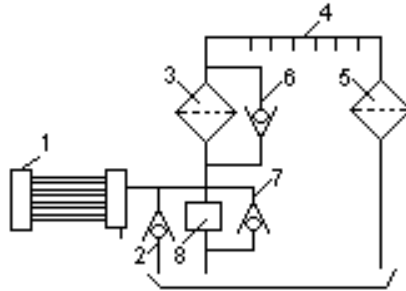
Будь-який проєктований виріб, структурна складова конструкції автомобіля, характеризується різноманітністю режимів роботи, обумовлених зміною параметрів навантаження й процесами, що їх супроводжують.

Для оцінки схемної надійності з урахуванням імовірності прояву тих або інших умов протікання процесів необхідно: установити фізичну сутність можливої відмови, тобто визначити вид несправності, стан елементів, що його обумовлюють, умови протікання подій, що відбуваються при цьому; визначити тип відмови за ознакою проявлення, поступова чи раптова; виділити й позначити імовірності режимів роботи, які характерні для діапазону змін умов роботи; скласти аналітичне вираження для кожного типу відмови, відповідно до якого буде визначена сума можливих станів, характерна умовам його протікання; за значеннями характеристик імовірності станів виконати розрахунок ймовірностей виникнення виділених відмов.

Отримані результати рекомендується звести в таблицю 5.2.

Характерний приклад оцінки ймовірності відмов різної категорії в умовах їх проявлення для мастильної системи агрегату розкриває типові підходи поставлених завдань.

Для мастильної системи агрегату (рис. 5.1) можливі наступні відмови: поломка привода масляного насоса; поломка пружини редукційного клапана; порушення регулювання пружин перепускних клапанів; прискорене зношування агрегату в пусковий період до виходу на робочий режим, обумовлене підвищеною в'язкістю мастила; забруднення фільтрів грубого й тонкого очищення.



1 – радіатор, 2, 6 – перепускний клапан, 3 – фільтр грубого очищення, 4 – канали розподілу мастила, 5 – фільтр тонкого очищення, 7 – редукційний клапан, 8 – насос
Рисунок 5.1 – Схема мастильної системи агрегату

Приймаються наступні позначення ймовірностей працездатного стану елементів розглянутої схеми:

R_n, F_n – для насоса;

$R_{\phi z}, F_{\phi z}$ – для фільтра грубого очищення;

$R_{\phi m}, F_{\phi m}$ – для фільтра тонкого очищення;

R_{pk}, F_{pk} – для редукційного клапана;

$R_{n\phi}, F_{n\phi}$ – для перепускного клапана фільтра;

R_{np}, F_{np} – для перепускного клапана радіатора;

P_{od1} і P_{od2} – імовірність режимів роботи агрегату на понижених і робочих частотах;

P_{xo} і P_{no} – імовірність холодного й прогрітого агрегату.

Відповідно до складених даних (табл. 5.1) імовірність раптової відмови по можливих станах з урахуванням прояву структурної взаємодії елементів схеми визначиться по формулі

$$F_p = F_n (R_{pp} \cdot P_{od1} + P_{od2}) + R_n \cdot F_{pk} \cdot P_{od1} + F_n \cdot F_{pk} \cdot P_{od1}. \quad (5.1)$$

Імовірність поступової відмови по можливих станах з урахуванням прояву структурної взаємодії елементів схеми визначиться по формулі

$$\begin{aligned}
F_n \approx & F_{nf} \cdot R_{fz} \cdot R_{fm} \cdot R_{np} \cdot P_{nd} + R_{nf} \cdot R_{fz} \cdot F_{fm} \cdot R_{np} \cdot P_{nd} + \\
& + F_{fz} \cdot R_{fm} \cdot R_{np} \cdot P_{nd} + R_{nf} \cdot R_{fz} \cdot R_{fm} \cdot F_{np} \cdot P_{nd} + \\
& + R_{nf} \cdot R_{fz} \cdot R_{fm} \cdot P_{nd}.
\end{aligned}
\tag{5.2}$$

Таблиця 5.1 – Вплив відмов окремих елементів на відмови виробу в цілому

№ з/п	Фізична сутність відмови	Імовірність появи	Відмови
1	Насос		
1.1	Поломка привода	F_n	ВП
1.2	Редукційний клапан відкритий на малій частоті обертання (поломка клапанної пружини)	$F_{pk} P_{odl}$	ВП
2	Фільтр грубого очищення		
2.1	Фільтр чистий, але пропускний клапан відкритий	$R_{fz} F_{nf}$	П
2.2	Фільтр забруднений, пропускний клапан відкритий	F_{fz}	П
3	Фільтр тонкого очищення		
3.1	Фільтр забруднений	F_{fm}	П
4	Масляний радіатор		
4.1	Агрегат прогрітий, пропускний клапан відкритий	$F_{np} P_{nd}$	П
4.2	Запізнювання надходження холодного мастила до третєвих поверхонь	P_{xd}	П

Завдання

Відповідно до даних зведеної таблиці результатів обчислень за завданням практичного заняття № 4:

- визначити фізичну сутність можливих відмов для розглянутих не менш двох фрагментів структурної схеми;
- позначити імовірності режимів роботи розглянутих фрагментів за умовами прояву відмов, значення визначити по характеристиках надійності елементів;
- з урахуванням значень ймовірностей збереження елементами фрагментів працездатного стану, зробити розрахунок імовірності виникнення можливих відмов.

Результати виконаного завдання відобразити у вигляді таблиці (табл. 5.2) на аркуші ф. А4 або в зошиті, привести порядок обчислень.

Таблиця 5.2 – Оцінка надійності фрагментів структурної схеми

(найменування виробу)

№ з/п	Найменування фрагмента (схема)	Фізична сутність відмови	Імовірність появи	Тип відмови	Значення ймовірності відмови

6 ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 6. РОЗРАХУНОК ПОКАЗНИКІВ БЕЗВІДМОВНОСТІ ПРИ ВІДОМИХ ПАРАМЕТРАХ РОЗПОДІЛУ НАРОБІТКУ ДО ВІДМОВИ

Загальні положення

Імовірність безвідмовної роботи й інтенсивність відмов при нормальному розподілі можуть бути визначені по залежностях:

– імовірність безвідмовної роботи або імовірність того, що система буде виконувати необхідну функцію в заданий момент часу t

$$P(t) = \int_t^{\infty} f(t) dt ; \quad (6.1)$$

– інтенсивність відмов

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{P(t)}. \quad (6.2)$$

Щільність нормального розподілу $f(t)$ має куполоподібну форму, симетричну щодо математичного очікування (рис. 6.1).

Для нормального розподілу

$$f(t) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(t-T)^2}{2\sigma^2}}, \quad (6.3)$$

де t – випадкова величина, в надійності автомобіля, звичайно, наробіток в часовому вимірюванні;

σ – середньоквадратичне відхилення випадкової величини;

T – математичне очікування випадкової величини.

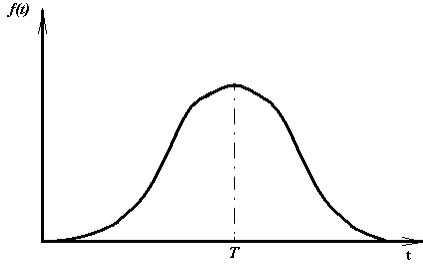


Рисунок 6.1 – Графік щільності нормального розподілу

Тоді для нормального розподілу імовірність безвідмовної роботи визначається на визначений наробіток визначається за залежністю

$$P(t) = \int_t^{\infty} \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(t-T)^2}{2\sigma^2}} dt. \quad (6.4)$$

Даний інтеграл не можна обчислити отримавши функцію в явному виді відносно незалежної перемінної. Тому його значення обчислюються числовими методами, або із застосуванням таблиць значень інтеграла нормованого нормального розподілу, які застосовуються при розрахунків ймовірностей будь-якого нормального розподілу.

Залежність щільності нормованого нормального розподілу має вид

$$\phi(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{z^2}{2}}; \quad -\infty < z < \infty. \quad (6.5)$$

А інтегральна функція нормованого нормального розподілу має вид

$$\Phi(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^z e^{-\frac{z^2}{2}} dz. \quad (6.6)$$

Для випадкового значення наробітку t розподіленого по нормальному законі з математичним чеканням T і середньоквадратичним відхиленням σ , імовірність $P(t)$ визначається із припущення $Z = \frac{t-T}{\sigma}$

$$P(t) = P\left(Z = \frac{t-T}{\sigma}\right) = \phi\left(\frac{t-T}{\sigma}\right). \quad (6.7)$$

Типові графіки залежностей імовірності безвідмовної роботи й інтенсивності відмов для нормального розподілу показані на рисунках 6.2 і 6.3.

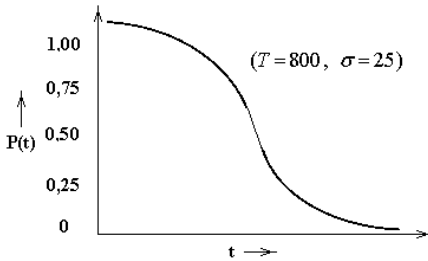


Рисунок 6.2 – Імовірність безвідмовної роботи при нормальному розподілі наробітку до відмови

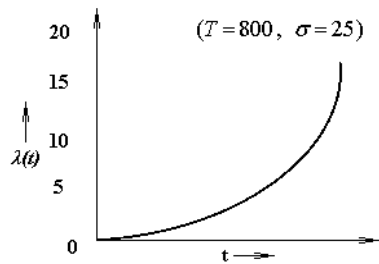


Рисунок 6.3 – Інтенсивність відмов при нормальному розподілі наробітку на відмову відмови

При експоненціальному розподілі імовірність безвідмовної роботи $P(t)$ визначається за залежністю

$$P(t) = \int_t^{\infty} \frac{1}{T} e^{-\frac{t}{T}} dt, \quad t \geq 0, \quad (6.8)$$

а щільність експоненціального розподілу (рис. 6.4) визначають по формулі

$$f(t) = \frac{1}{T} e^{-\frac{t}{T}}, t \geq 0, \quad (6.9)$$

де T – середній наробіток на відмову.

При експоненціальному розподілі наробітку до відмови інтенсивність відмов постійна і визначається рівнянням

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{P(t)} = \frac{1}{T}. \quad (6.10)$$

Завдання

1. Побудуйте графік щільності нормального розподілу.
2. Побудуйте графік інтенсивності відмов до значення $t=T$ год.
3. Визначте значення щільності розподілу в точці t_n год.
4. Визначте очікуване число приладів, які вийшли із ладу за t_1 год.
5. Визначте це ж число для t_2 год.
6. Визначте, скільки приладів вийде з ладу в інтервалі t_1-t_2 год.

При вирішенні завдань прийняти допущення, що довговічність контрольно-вимірювальних приладів автомобіля має нормальний розподіл із математичним чеканням T годин і середньоквадратичним відхиленням σ годин, користуючись вихідними даними наведеними в таблиці 6.2, та вище зазначеними загальними положеннями і залежностями 6.1–6.10.

Завдання 4–6 вирішувати при допущенні, що в момент $t=t_n$ на випробування поставлено 100 приладів.

Завдання виконати в робочих зошитах, для отриманих даних привести порядок розрахунків, зробити відповідні висновки.

Таблиця 6.1 – Значення функції $\varphi(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{z^2}{2}}$

z		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0,0	0,	3989	3989	3988	3988	3986	3984	3982	3980	3977	3973
0,1	0,	3970	3965	3961	3956	3951	3945	3939	3932	3925	3918
0,2	0,	3910	3902	3894	3885	3876	3867	3857	3847	3836	3825
0,3	0,	3814	3802	3790	3778	3765	3752	3739	3725	3712	3697
0,4	0,	3683	3608	3653	3637	3621	3605	3589	3572	3555	3538
0,5	0,	3521	3503	3485	3467	3448	3429	3410	3391	3372	3352
0,6	0,	3332	3312	3292	3271	3251	3230	3209	3187	3166	3144
0,7	0,	3123	3101	3079	3056	3034	3011	2989	2966	2943	2920
0,8	0,	2897	2874	2850	2827	2803	2780	2756	2732	2709	2685
0,9	0,	2661	2637	2613	2589	2565	2541	2516	2492	2468	2444
1,0	0,	2420	2396	2371	2347	2323	2299	2275	2251	2227	2203
1,1	0,	2179	2155	2131	2107	2083	2059	2036	2012	1989	1965
1,2	0,	1942	1919	1895	1872	1849	1826	1804	1781	1758	1736
1,3	0,	1714	1691	1669	1647	1626	1604	1582	1561	1539	1518
1,4	0,	1497	1476	1456	1435	1415	1394	1374	1354	1334	1315
1,5	0,	1295	1276	1257	1238	1219	1200	1182	1163	1145	1127
1,6	0,	1109	1092	1074	1057	1040	1023	1006	0989	0973	0957
1,7	0,0	9405	9246	9089	8933	8780	8628	8478	8329	8183	8036
1,8	0,0	7895	7754	7614	7477	7341	7206	7074	6943	6814	6687
1,9	0,0	6562	6438	6316	6195	6077	5959	5844	5730	5618	5508
2,0	0,0	5399	5292	5186	5082	4980	4879	4780	4682	4586	4491
2,1	0,0	4398	4307	4217	4128	4041	3955	3871	3788	3706	3626
2,2	0,0	3547	3470	3394	3319	3246	3174	3103	3034	2965	2898
2,3	0,0	2833	2768	2705	2643	2582	2622	2463	2406	2349	2294
2,4	0,0	2239	2186	2134	2083	2033	1984	1936	1888	1842	1797
2,5	0,0	1753	1709	1657	1625	1585	1545	1506	1468	1431	1394
2,6	0,0	1358	1324	1289	1256	1223	1191	1160	1130	1100	1071
2,7	0,0	1042	1014	0987	0961	0935	0908	0885	0867	0837	0814
2,8	0,00	7915	7696	7483	7274	7071	0873	6679	6491	6307	6127
2,9	0,00	5952	5782	5616	5454	5296	5143	4993	4847	4305	4567
3,0	0,00	4482	4301	4173	4046	3928	3810	3095	3584	3475	3370
3,	0,00	4432	3257	2384	1723	1232	0873	0612	0425	0292	0199
4,	0,00	1338	0893	0589	0385	0249	0160	0101	0064	0040	0024
5,	0,00	1487	0897	0536	0317	0186	0108	0062	0035	0020	0011

Таблиця 6.2 – Вихідні дані розрахунків для завдання

Параметри	Варіанти (згідно порядкового номера журналу)																								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
$\sigma, \text{с}$	15	10	14	20	25	15	13	10	5	12	18	22	12	18	10	21	25	15	13	17	18	22	12	15	10
$T, \text{с}$	800	750	700	900	950	750	900	850	700	650	800	950	500	680	720	850	790	900	800	780	650	700	740	820	680
$t_n, \text{с}$	775	720	680	875	920	730	865	810	685	635	795	910	490	655	710	830	765	865	750	770	635	685	720	805	665
$t_1, \text{с}$	770	735	685	870	925	735	875	825	680	610	760	935	480	640	690	830	750	860	730	755	610	655	705	795	655
$t_2, \text{с}$	790	745	690	885	940	745	890	835	690	625	785	945	490	670	705	840	760	880	750	780	620	675	715	805	675

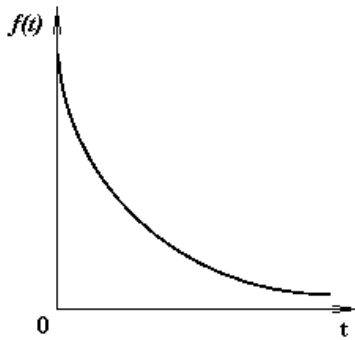


Рисунок 6.4 – Щільність експоненціального розподілу наробітку на відмову

7 ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 7. РОЗРАХУНОК ПОКАЗНИКІВ БЕЗВІДМОВНОСТІ ЗА ЗНАЧЕННЯМИ СТАТИСТИЧНИХ ДАНИХ НАРОБІТКУ ДО ВІДМОВИ

Загальні положення

Маючи дані про значення часу виникнення відмов елементів складного виробу, що знаходиться на підконтрольному випробуванні, і застосувавши при цьому методику визначення характеристик інтервального статистичного ряду, основу якого і складуть значення напрацювань, можна з певною достовірністю визначити параметри, яким підкорятиметься час напрацювання на відмову випробовуваного виробу. Наприклад, для нормального закону математичне очікування напрацювання на відмову $T_{p.сер.}$ і середньоквадратичне відхилення значення напрацювання σ .

Значення часу напрацювань повністю представляють початковий масив даних для складання інтервального статистичного ряду.

До таких характеристик відносяться:

- кількість значень напрацювань, при яких спостерігалися відмови N у визначеному інтервалі наробітку;
- кількість інтервалів K ;
- ширина інтервалу h ;
- значення нижньої t_o і верхньої межі t_k статистичного ряду;
- середнє значення i -го інтервалу $t_{сер.i}$ та інтервального ряду $t_{сер.}$;
- частота відмов в кожному інтервалі n_i ;
- математичне очікування середньої величини напрацювання на відмову $T_{p.сер.}$;
- середньоквадратичне відхилення величини напрацювання на відмову σ .

Вказані характеристики визначаються за формулами 7.1–7.6.

$$K = \sqrt{N} ; \quad (7.1)$$

$$h = \frac{t_{\max} - t_{\min}}{K - 1}; \quad (7.2)$$

$$t_0 = t_{\min} - 0,5 h; \quad t_K = t_{\max} + 0,5 h; \quad (7.3)$$

$$t_{\text{cep. } i} = \frac{t_{i-1} + t_i}{2}. \quad (7.4)$$

$$T_{p.\text{cep}} = \bar{t} = \frac{\sum_{i=1}^K t_{p.\text{cep. } i} \cdot n_i}{N}, \quad (7.5)$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^K n_i t_{\text{cep. } i}^2}{N} - T_{p.\text{cep}}^2}. \quad (7.6)$$

Для обліку і подальшої обробки значень характеристик інтервального статистичного ряду рекомендує розраховані значення зводити в таблицю (табл. 7.1).

Таблиця 7.1 – Залежності інтервального статичного ряду неперервних випадкових величин

Номер інтервалу, i	Межі інтервалу, $t_{i-1}; t_i$	Середина інтервалу, $t_{\text{cep. } i}$	Частота, n_i	Частість, P_i
1	$t_0; t_0 + h$	$t_0 + 0,5h$	n_1	n_1 / N
2	$t_0 + h; t_0 + 2h$	$t_0 + 1,5h$	n_2	n_2 / N
...	...	...	...	...
i	$t_0 + (i-1)h; t_0 + ih$	$t_0 + (i+0,5)h$	n_i	n_i / N
...	...	...	...	...
K	$t_K - h; t_K$	$t_K - 0,5h$	n_K	n_K / N

Експоненціальний закон розподілу випадкових величин є однопараметричним, а його параметром є λ – інтенсивність відмов, причому $\lambda = \text{const}$, то для визначення залежностей $f(t)$, $P(t)$, які розраховуються по формулах 7.7, 7.8, достатньо тільки визначити значення $T_{p.сер.}$

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t}; \quad (7.7)$$

$$P(t) = e^{-\lambda t}. \quad (7.8)$$

Завдання

1. Обробити дані масиву відмов, отриманні данні відобразити у виді таблиці.

2. Розрахувати значення: середнього наробітку на відмову $T_{p.сер.}$, середнє квадратичне відхилення σ .

3. На підставі отриманих даних побудуйте графіки для щільності розподілу наробітку до відмови $f(t)$, імовірності появи $P(t)$ й інтенсивності відмов $\lambda(t)$ при допущенні нормального та експоненціального розподілу наробітку на відмову.

Завдання виконати за умов, що випробуванням на довговічність піддаються N елементів автомобіля, наробіток яких вимірюється в тисячах робочих циклів, а відмови сталися при значеннях наробітків t , наведених в таблиці 7.2.

Завдання виконати в робочих зошитах. Для отриманих даних привести порядок розрахунків та зробити відповідні висновки. Для побудови відповідних графіків рекомендується користуватися папером з міліметровою сіткою.

Таблиця 7.2 – Вихідні дані значення наробітку до відмов

Варианти (значения заработок на ведомую)																							
	22	21	20	19	18	15	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	N
		1050	990	970	950	930	900	880	850	790	770	710	670	600	530	510	450	410	340	240	150	90	1
			1050	1020	990	960	930	890	840	800	780	700	660	610	560	500	470	400	330	220	130	70	2
	1140	1100	1070	1050	1010	980	940	920	820	810	770	720	655	610	590	510	460	420	310	230	120	95	3
			1025	1005	970	960	930	830	820	780	700	655	625	625	580	500	440	390	285	180	110	85	4
	1170	1120	1040	1020	990	930	900	850	800	770	765	725	655	620	540	500	430	385	280	190	140	95	5
		1070	1015	1005	1000	970	900	820	770	740	730	680	605	560	520	450	375	300	240	130	75	6	
	1090	1030	1020	1015	1005	960	930	850	830	805	770	700	655	610	525	510	465	400	320	200	110	95	7
			1050	1020	980	910	900	890	820	810	780	720	640	615	560	520	460	420	340	260	100	85	8
	1125	1070	1050	1040	1010	970	935	920	840	805	750	700	655	625	580	505	470	400	300	170	09	75	9
			1040	1025	990	960	940	930	840	820	780	725	630	620	540	505	465	410	280	200	100	80	10
		1130	1070	1050	1005	980	960	900	840	800	780	730	660	605	560	490	430	330	270	180	110	95	11
	1210	1080	1025	1020	940	920	920	820	805	765	700	655	610	525	490	440	395	320	160	90	65		12
		1080	1040	1010	960	900	890	820	820	750	720	655	615	540	505	455	410	290	220	95	70		13
		1070	1050	1050	1050	970	940	850	820	810	780	700	670	625	560	500	440	360	280	190	100	85	14
	1130	1120	1050	1020	1010	990	970	930	840	805	780	725	640	610	580	490	430	370	270	200	110	80	15
			1050	1020	985	960	900	830	820	765	700	660	610	560	520	410	400	330	230	120	85		16
	1230	1055	1025	990	940	910	890	820	770	740	720	655	625	540	520	435	400	330	230	120	90		17
		1055	1040	1020	1000	930	850	830	810	780	700	655	610	560	485	400	340	270	160	130	100		18
	1220	1170	1055	1020	1005	980	940	900	840	800	780	725	655	615	580	490	410	330	230	140	110		19
			1090	1040	1010	970	960	890	820	770	765	700	680	625	525	500	440	365	275	155	105	75	20
		1165	1050	1025	1005	990	970	930	830	820	760	720	660	610	540	510	430	400	290	195	90	80	21
			1080	990	960	930	850	840	805	780	700	655	615	560	500	410	350	300	210	110	95		22
	1210	1100	1070	1025	1000	930	935	890	840	800	780	725	655	625	540	485	430	410	310	220	120	90	23
		1110	1050	1020	990	960	940	920	820	770	720	700	630	610	580	510	445	405	320	220	100	80	24

Таблиця 7.3 – Значення функції $F_0(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^z e^{-\frac{z^2}{2}} dz$

z		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0,0	0,	5000	5040	5080	5120	5160	5199	5239	5279	5319	5359
0,1	0,	5398	5438	5478	5517	5557	5596	5636	5675	5714	5753
0,2	0,	5793	5832	5871	5910	5948	5987	6026	6064	6103	6141
0,3	0,	6179	6217	6255	6293	6331	6368	6406	6443	6480	6517
0,4	0,	6551	6594	6628	6664	6700	6736	6772	6808	6844	6879
0,5	0,	6915	6950	6985	7019	7054	7088	7123	7157	7190	7224
0,6	0,	7257	7291	7321	7357	7389	7422	7454	7486	7517	7549
0,7	0,	7580	7611	7642	7673	7704	7734	7764	7794	7823	7852
0,8	0,	7881	7910	7939	7967	7995	8023	8051	8078	8106	8133
0,9	0,	8159	8186	8212	8238	8264	8289	8315	8340	8365	8389
1,0	0,	8413	8438	8461	8485	8508	8531	8554	8577	8599	8621
1,1	0,	8643	8665	8686	8708	8729	8749	8770	8790	8810	8830
1,2	0,	8849	8869	8888	8907	8925	8944	8962	8980	8997	9015
1,3	0,9	0320	0490	0658	0824	0988	1149	1308	1466	1621	1774
1,4	0,9	1924	2073	2220	2364	2507	2647	2785	2922	3056	3189
1,5	0,9	3319	3448	3574	3699	3822	3943	4062	4179	4295	4408
1,6	0,9	4520	4630	4738	4855	4950	5053	5154	5254	5352	5449
1,7	0,9	5543	5637	5728	5818	5907	5994	6080	6164	6246	6327
1,8	0,9	6407	6485	6562	6637	6712	6784	6856	6926	6995	7062
1,9	0,9	7128	7193	7257	7320	7381	7441	7500	7588	7615	7670
2,0	0,9	7725	7778	7831	7882	7932	7982	8030	8077	8124	8169
2,1	0,9	8214	8257	8300	8341	8382	8422	8461	8500	8537	8574
2,2	0,9	8610	8645	8679	8713	8745	8778	8809	8840	8870	8899
2,3	0,9	8928	8956	8983	9010	9036	9061	9086	9111	9134	9158
2,4	0,99	1802	2024	2240	2451	2656	2857	3053	3244	3431	3613
2,5	0,99	3790	3963	4132	4297	4457	4614	4766	4915	5060	5201
2,6	0,99	5473	5473	5603	5731	5855	5975	6093	6207	6310	6427
2,7	0,99	6533	6636	6736	6833	6928	7020	7110	7197	7282	7365
2,8	0,99	7445	7523	7509	7673	7774	7814	7882	7948	8012	8074
2,9	0,99	8134	8193	8250	8305	8359	8411	8462	8511	8559	8605
3,0	0,99	8650	8694	8736	8777	8817	8856	8893	8930	8965	8999
3,1	0,9 ³	0324	0646	0957	1260	1553	1836	2112	2378	2636	2886

Продовження таблиці 7.3

[illegible]

8 ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 8. РОЗРАХУНОК ПОКАЗНИКІВ БЕЗВІДМОВНОСТІ, ВИБІР І ОБҐРУНТУВАННЯ ЗАКОНУ РОЗПОДІЛЕННЯ ПО ЕМПІРИЧНИМ ДАНИМ

Загальні положення

На практиці частіше всього доводиться зустрічатися з випадками, коли не відомий закон розподілу наробітку до відмови і не має достатньо великого об'єму даних для перевірки його адекватності. Для визначення прийнятного теоретичного розподілу наробітку до відмови необхідно мати мінімально достатнього обсягу вибірку.

Для графічної інтерпретації розподілу ймовірностей експериментальних даних будують гістограму розподілу напрацювання на відмову $f(l)$ та гістограму інтенсивності відмов $\lambda(l)$.

Значення щільності напрацювання на відмову визначається за формулою

$$f_n(l) = \Delta n / n \Delta l_i, \quad (8.1)$$

де Δn – кількість відмов у i -му інтервалі наробітку;

n – загальна кількість відмов;

Δl_i – значення інтервалу наробітку.

Значення інтенсивності відмов визначається за формулою

$$\lambda_n(l) = \Delta n / N(l) \Delta l_i, \quad (8.2)$$

де $N(l)$ – кількість працездатних виробів, що випробуються на плинний момент наробітку l .

Значення ймовірності відмови визначається формулою

$$F(l) = n / N, \quad (8.3)$$

де n – кількість відмов у i -му інтервалі наробітку;

N – кількість виробів, що випробуються.

Значення ймовірності безвідмовної роботи визначається формулою

$$R(t) = 1 - F(t). \quad (8.4)$$

При достатньому обсязі вибірок попередній вибір закону щільності розподілу відмов можна здійснити проаналізувавши статистичні характеристики вибірок: математичне очікування і середнє квадратичне відхилення наробітку до відмов, за значеннями таблиці 8.1 коефіцієнтів варіації $v(l)$

$$v(l) = M(l) / \sigma(l), \quad (8.5)$$

де $M(l)$ – математичне очікування наробітку до відмов;

$\sigma(l)$ – середнє квадратичне відхилення наробітку до відмов.

Таблиці 8.1 – Значення коефіцієнтів варіації для законів щільності розподілу відмов

№ з/п	Значення коефіцієнта, $v(l)$	Вид закону щільності розподілу
1	0,08 ... 0,40	Нормальний
2	0,33 ... 0,36	Вейбулла
3	0,35 ... 0,80	Логарифмічно нормальний
4	0,60 ... 1,30	Експоненціальний

Завдання

1. Розрахуйте значення $f(l)$, $\lambda(l)$, $F(l)$, $R(l)$ відносно приведених інтервалів наробітків за наявністю числа відмов, результати зведіть до таблиці 8.2.

2. Побудуйте гістограми: щільності наробітку $f(l)$, інтенсивності відмов $\lambda(l)$ до першої, другої, третьої, четвертої, п'ятої відмови.

3. Побудуйте графіки ймовірності відмов $F(l)$ та ймовірності безвідмовної роботи $R(l)$.

4. Визначте можливі закони розподілу наробітку до відмови.

При виконанні завдань згідно варіантів користуйтесь приведеними даними таблиці 8.3, які показують пробіг до першої і до останньої відмови N , що потребують відновлення коробок передач автомобіля.

Завдання виконати в робочих зошитах, для отриманих даних привести порядок розрахунків, зробити відповідні висновки, графіки рекомендується виконувати на міліметровому папері.

Таблиця 8.2 – Значення отриманих показників

Наробіток до i -ї відмови (ремонту)	Інтервал, l , тис. км	Число відмов	$f(l)$	$\lambda(l)$	$F(l)$	$R(l)$
1	2	3	4	5	6	7
i						
...						
N						

Таблиці 8.3 – Вихідні дані для виконання завдання

Пробіг, тис. км				Число відмов				Пробіг, тис. км				Число відмов				Пробіг, тис. км				Число відмов				Пробіг, тис. км				Число відмов																								
Наробіток до 1-ї відмови								Наробіток до 2-ї відмови								Наробіток до 3-ї відмови								Наробіток до 4-ї відмови								Наробіток до 5-ї відмови																				
Варіант	1	2	3	4	5	6	7	Варіант	1	2	3	4	5	6	7	Варіант	1	2	3	4	5	6	7	Варіант	1	2	3	4	5	6	7	Варіант	1	2	3	4	5	6	7													
	10	11	12	13	14	15	16		10	11	12	13	14	15	16		10	11	12	13	14	15	16		10	11	12	13	14	15	16		10	11	12	13	14	15	16													
	17	18	19	20	21	22	23		17	18	19	20	21	22	23		17	18	19	20	21	22	23		17	18	19	20	21	22	23		17	18	19	20	21	22	23													
	0-30	6	4	7	0-30	19	22		20	0-30	27	29	25	0-30	34		33	30	0-30	29	28	25	0-30		20	21	19	30-60	16	18	14		60-90	13	13	14	60-90	18	19	16	60-90	15	18	17	60-90	14	12	11				
	30-60	11	10	12	30-60	13	11		10	30-60	16	14	13	30-60	20		21	19	30-60	27	28	23	30-60		15	15	12	90-120	25	27	23		90-120	15	14	15	90-120	13	15	12	90-120	15	19	18	90-120	8	6	4				
	60-90	16	18	14	60-90	13	13		14	60-90	18	19	16	60-90	15		18	17	60-90	14	12	11	60-90		15	19	18	90-120	25	27	23		90-120	15	14	15	90-120	13	15	12	90-120	15	19	18	90-120	8	6	4				
	90-120	25	27	23	90-120	15	14		15	90-120	13	15	12	90-120	15		19	18	90-120	8	6	4	90-120		15	19	18	90-120	25	27	23		90-120	15	14	15	90-120	13	15	12	90-120	15	19	18	90-120	8	6	4				
	120-150	34	28	30	120-150	15	17		14	120-150	11	14	15	120-150	12		14	10	120-150	7	5	2	120-150		12	14	10	120-150	34	28	30		120-150	15	17	14	120-150	11	14	15	120-150	12	14	10	120-150	7	5	2				
	150-180	46	44	42	150-180	18	19		20	150-180	16	17	16	150-180	12		14	10	150-180	7	5	2	150-180		12	14	10	150-180	46	44	42		150-180	18	19	20	150-180	16	17	16	150-180	12	14	10	150-180	7	5	2				
	180-210	23	20	26	180-240	7	9		10	180-240	7	9	10	180-240	7		9	10	180-240	7	9	10	180-240		7	9	10	180-240	23	20	26		180-240	7	9	10	180-240	7	9	10	180-240	7	9	10	180-240	7	9	10	180-240	7	9	10
	210-240	16	19	22	240 і більше	4	4		2	240 і більше	4	4	2	240 і більше	4		4	2	240 і більше	4	4	2	240 і більше		4	4	2	240 і більше	16	19	22		240 і більше	4	4	2	240 і більше	4	4	2	240 і більше	4	4	2	240 і більше	4	4	2	240 і більше	4	4	2
	Усього:	177	170	176	Усього:	104	109		91	Усього:	101	108	97	Усього:	96		105	94	Усього:	85	79	65	Усього:		96	105	94	Усього:	177	170	176		Усього:	104	109	91	Усього:	101	108	97	Усього:	96	105	94	Усього:	85	79	65				

9 ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 9. РОЗРАХУНОК ІМОВІРНОСТІ НЕРУЙНУВАННЯ ПІДШИПНИКІВ КОЧЕННЯ

Загальні положення

Розрахункову імовірність неруйнування $R(T_{p\gamma_j})$ визначають залежно від величини

$$K_{\gamma_j} = T_{p90} / T_{p\gamma_j}, \quad (9.1)$$

де $T_{p\gamma_j}$ – гамма-відсотковий ресурс підшипника, год.;

T_{p90} – 90%-й ресурс, год.

$$T_{p90} = \frac{10^6 (C / Q)^\alpha}{60n}, \quad (9.2)$$

C – коефіцієнт працездатності (динамічна вантажопідйомність), що визначається за каталогом, Н;

Q – зведене навантаження, яке розраховується за формулами з каталогу, Н;

α – показник степені, $\alpha = 3$ при 90%-му ресурсі;

n – частота обертання підшипника, хв^{-1} .

При цьому має витримуватись умова

$$R(T_{p\gamma_j}) \geq \gamma_j / 100. \quad (9.3)$$

Розрахункову імовірність неруйнування підшипника визначають за знайденим значенням $R(T_{p\gamma_j})$. Знайдене значення порівнюють із заданою (розрахованою) імовірністю неруйнування γ_j , користуючись співвідношенням (9.3).

Розрахунок не руйнування підшипника виконується у наступній послідовності.

1. Добирають тип і номер підшипника з конструктивних міркувань (на стадії виконання курсового проекту – з деталей машин).

2. За каталогом визначають статичну C_0 і динамічну C вантажопідйомність, а також допоміжний параметр e – коефіцієнт осьового навантаження, що відповідає відношенню

$$e = F_a / C_0, \quad (9.4)$$

де F_a – осьове навантаження на підшипник, Н.

3. За каталогом (табл. 9.1) визначають коефіцієнти: X – радіального навантаження; K_σ – коефіцієнт безпеки; V – коефіцієнт обертання, який при обертанні внутрішнього кільця підшипника прийметься рівним $V=1$, а у випадку обертання зовнішнього кільця $V=1,2$; K_m – температурний.

4. Зведене навантаження обчислюють за формулою

$$Q = (XVF_r + YF_a)K_\sigma K_m, \quad (9.5)$$

де F_r, F_a – навантаження на підшипник відповідно радіальне та осьове, Н;

Y – коефіцієнт осьового навантаження, визначається за каталогом.

5. Визначають 90%-й ресурс підшипника T_{p90} за формулою (9.2).

6. Розраховують імовірність $R(T_{p\gamma_j})$ за формулою (9.3).

7. Обчислюють імовірність неруйнування підшипника за графіком (рис. 9.1) і порівнюють добуті співвідношення із заданими за формулою (9.4).

Завдання

Згідно з технічною документацією вузла транспортного засобу, що проектується вибрано підшипник № 00000, для якого дано гамма-відсотковий ресурс $T_{p\gamma_j}$, год. при γ , %. За умовами роботи визначені:

радіальне F_r , кН; осьове F_a , кН навантаження; частота обертання n , хв^{-1} ; обертається внутрішнє кільце; робоча температура – не більш за 90°C .

На підставі приведених загальних положень та необхідного допоміжного матеріалу (табл. 9.1, рис. 9.1) згідно з вихідними даними, приведеними в таблиці 9.2 перевірити відповідність підшипника заданим умовам навантаження та роботи.

Завдання виконати в робочих зошитах або на окремих листах формат А, для отриманих даних привести порядок розрахунків, для визначення відношення T_{p90}/T_{py} , обов'язково привести рисунок з визначенням його значення, зробити відповідні висновки щодо застосування вибраного підшипника при зазначених умовах й заданому режимі навантаження та відповідності вимогам заданого ресурсу.

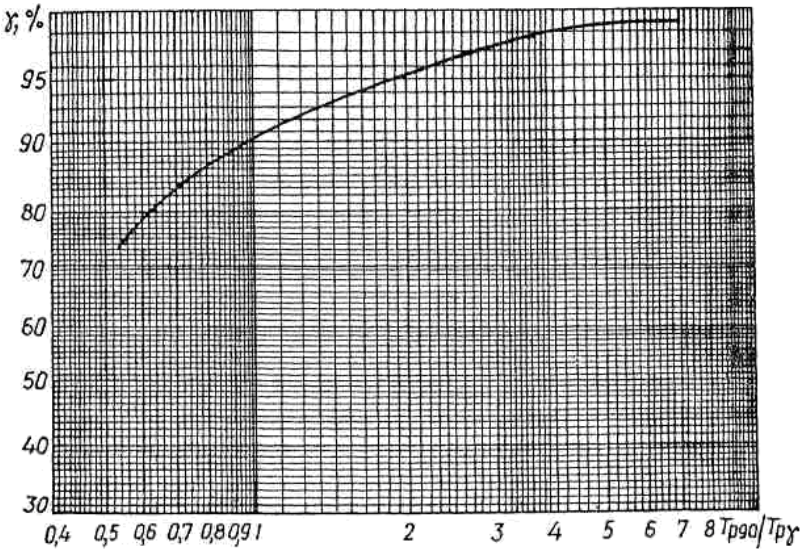


Рисунок 9.1 – Залежність імовірності неруйнування підшипників від відношення T_{p90}/T_{py}

Таблиця 9.1 – Значення X , Y і e для радіальних та радіально-упорних кулькопідшипників

$\frac{F_a}{C_o}$	Однорядні		Дворядні			
	$F_a / (VF_r) > e$		$F_a / (VF_r) \leq e$		$F_a / (VF_r) > e$	
	X	Y	X	Y	X	Y
0,014	0,56	2,30	1	0	0,56	2,30
0,028		1,99				1,99
0,056		1,71				1,71
0,084		1,55				1,55
0,110		1,45				1,45
0,170		1,31				1,31
0,280		1,15				1,15
0,420		1,04				1,04
0,560		1,00				1,00

Таблиця 9.2 – Вихідні данні для виконання завдання

№ з/п	Найменування	Варіант							
		1,9,17	2,10,18	3,11,19	4,12,20	5,13,21	6,14,22	7,15,23	8,16,24
1	№ підшипника	226	317	410	36318	46217	36214	1000828	215
2	$T_{пл}$, год	1000	1200	1100	1400	1350	1250	1050	1200
3	γ , %	95	97	96	94	95	93	96	92
4	F_r , кН	9	11	14	16	13	20	10	12
5	F_a , кН	2	4	2	3	5	3	2	3
6	n , хв ⁻¹	3000	3600	5300	3600	5300	7500	3500	5500
7	K_δ	1,0	1,2	1,5	1,2	1,1	1,0	1,2	1,15
8	K_m	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
9	C , кН	156	133	87	189	94,4	80,2	38	66,3
10	C_o , кН	112	90	52	145	65,1	54,8	35,5	41,0
11	d , мм	130	85	50	90	85	70	140	75
12	D , мм	230	180	130	190	150	125	175	130

10 ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 10. РОЗРАХУНОК ІМОВІРНОСТІ НЕРУЙНУВАННЯ ПРИВІДНОГО РОЛИКОВОГО ЛАНЦЮГА ЗА КРИТЕРІЄМ МІЦНОСТІ ВІД ВТОМЛЕНOSTІ ПЛАСТИН

Загальні положення

Розрахунок імовірності неруйнування приводного роликового ланцюга виконується в наступній послідовності.

Визначають середній ресурс ланцюга за залежністю

$$T_{p.cер} = \frac{m_{\text{л}} t N_e}{3,6 \cdot 10^6 V_{\text{л}}}, \quad (10.1)$$

де $m_{\text{л}}$ – кількість ланок у ланцюгу;

t – крок ланцюга, мм;

N_e – еквівалентне число циклів навантаження;

$V_{\text{л}}$ – швидкість руху ланцюга, м/с.

Кількість ланок, крок ланцюга приймаються на підставі вихідних даних до розрахунків, швидкість руху береться у відповідності до режиму роботи вузла, що проектується.

Еквівалентне число циклів N_e визначають за рисунком 10.1 залежно від коефіцієнта $K_{p.n.}$, що враховує еквівалентне число циклів навантаження

$$K_{p.n.} = \frac{P n_{y.z.} K_{m.l.}}{Q}, \quad (10.2)$$

де P – зусилля, що передається ланцюгом, Н;

$n_{y.z.}$ – умовний запас міцності від втоми, $n_{y.z.} = 1,5$;

$K_{m.l.}$ – коефіцієнт, що враховує зниження міцності ланцюга внаслідок циклічної дії навантаження, $K_{m.l.} = 7$;

Q – навантаження, яке руйнує ланцюг, Н.

Зусилля, що передається ланцюгом, та його руйнує під час роботи приймається у розрахунку на підставі вихідних даних, у відповідно з режимами навантаження та довідковими даними.

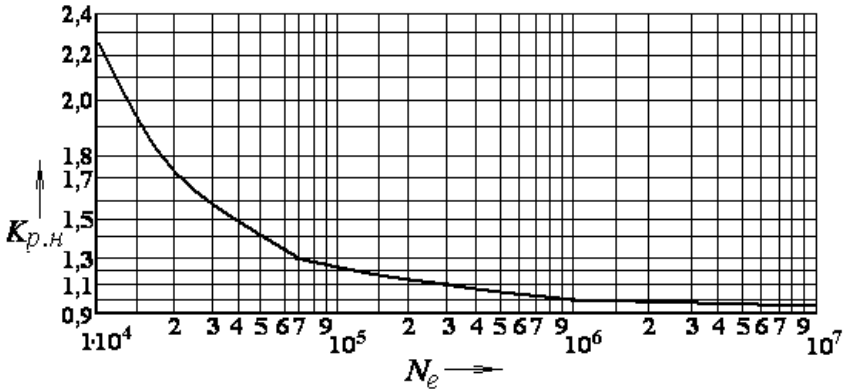


Рисунок 10.1 – Залежність коефіцієнта $K_{p.n.}$ від N_e

Швидкість руху ланцюга визначають по залежності

$$V_n = \frac{z_1 n_1 t}{60000}, \quad (10.3)$$

де V_n – швидкість руху ланцюга, м/с;

z_1 – кількість зубців ведучої зірочки;

n_1 – частота обертання ведучої зірочки, хв^{-1} ;

t – крок ланцюга, мм.

Розраховують коефіцієнт, що враховує відношення середнього ресурсу ланцюга до його заданого або розрахункового ресурсу, на стадії проектування, при відповідному значенні γ_{pj}

$$K_{\gamma_j} = \frac{T_{p.cер}}{T_{p\gamma_j}}, \quad (10.4)$$

де $T_{p\gamma_j}$ – гамма-відсотковий ресурс, год.

На підставі отриманого значення K_{γ_j} за рисунком 10.2 визначають γ_j , % і перевіряють умову

$$\gamma_j = 100R(T_{p\gamma_j}) \geq \gamma_{pj}, \quad (10.5)$$

де γ_{pj} , % – значення імовірності неруйнування ланцюга, яке відповідає його заданому або розрахунковому ресурсу на стадії проектування.

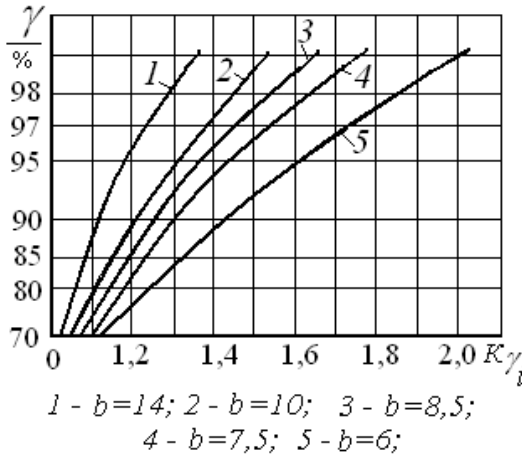


Рисунок 10.2 – Оцінка коефіцієнта γ за величиною K_{γ_j} і шириною зуба ведучої зірочки b

На підставі отриманих результатів роблять висновки про імовірність неруйнування роликового ланцюга, а також його відповідності вимогам заданого ресурсу при заданому режимі навантаження.

Завдання

Згідно з технічною документацією вузла транспортного засобу, що проектується вибрано роликівий ланцюг для з'єднання приводних валів механізмів. Попередньо для ланцюга встановлене гамма-відсотковий ресурс T_{pj} , год. при γ , %. За умовами роботи визначені: частота обертання n , хв^{-1} ; зусилля, що передається ланцюгом P , Н. За довідковими даними визначені геометричні параметри роликівого ланцюга.

На підставі приведених загальних положень та необхідного допоміжного матеріалу (рис. 10.1, 10.2) згідно з вихідними даними, приведеними в таблиці 10.1 перевірити відповідність роликівого ланцюга заданим умовам навантаження та роботи, якщо останній не відповідає, то визначити основні заходи щодо виконання пропонованих вимог.

Таблиця 10.1 – Вихідні данні для виконання завдання

№ з/п	Найменування	Варіант							
		1,9,17	2,10,18	3,11,19	4,12,20	5,13,21	6,14,22	7,15,23	8,16,24
1	Позначення ланцюга	ПР-12,7-1000 -1	ПР-12,7-900 -1	ПР-12,7-1820 -1	ПР-15,875-2300 -1	ПР-25,4-6000 -1	ПР-19,5-3180 -1	ПР-9,525-1300	ПР-12,7-1820 -1
2	T_{pj} , год.	200	230	250	180	210	150	190	210
3	γ_{pj} , %	85	90	80	92	94	85	94	86
4	m_j	112	112	110	100	110	110	66	110
5	t	12,7	12,7	12,7	15,875	25,4	19,5	9,525	12,7
6	z_l	19	19	17	16	19	19	24	17
7	n_l , хв^{-1}	1300	2000	1500	2500	1200	1400	2800	1450
8	b , мм	6	8,5	10	12	14	8,5	10	12
9	P , кН	140	120	200	250	540	360	180	190
10	Q , кН	1000	900	1820	2300	6000	3180	1300	1820

Завдання виконати в робочих зошитах або на окремих листах формат А, для отриманих даних привести порядок розрахунків визначення необхідних показників. Обов'язково привести рисунки з необхідними поясненнями та зробити відповідні висновки.

11 ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 11. **РОЗРАХУНОК ІМОВІРНОСТІ НЕРУЙНУВАННЯ** **ЦИЛІНДРИЧНИХ ГВИНТОВИХ ПРУЖИН СТИСКАННЯ З** **ПРУТКА КРУГЛОГО ПЕРЕРІЗУ**

Загальні положення

Ресурс пружини розподіляється за логарифмічно нормальним законом розподілу. При цьому значення коефіцієнтів варіації v добирають залежно від умов виготовлення та навантаження.

Розрахунок імовірності неруйнування пружини виконується в наступній послідовності.

1. Знаходять середній ресурс $T_{p.cер}$;

2. Обчислюють коефіцієнт K_{γ_j} ;

3. За знайденим коефіцієнтом K_{γ_j} та коефіцієнтом варіації v визначають γ_j і перевіряють умову

$$100R(T_{p\gamma_j}) \geq \gamma_j. \quad (11.1)$$

На початку визначають індекс пружини по співвідношенню

$$C = D/d, \quad (11.2)$$

де D – середній діаметр витка пружини, мм;

d – діаметр дроту чи прутка, з якого виготовлено пружину, мм.

Потім знаходять коефіцієнт кривизни за формулою

$$K = 1 + \frac{1,5}{C}. \quad (11.3)$$

Розраховують максимальне напруження циклу за залежністю

$$\tau_{\max} = \frac{2,55 K P_{\max} C \cdot 10^{-3}}{d^2}, \quad (11.4)$$

де $P_{\max}$ – навантаження напруги робочого ходу пружини, Н.

Із умов навантаження обчислюють коефіцієнт асиметрії циклу

$$r = P_{\min} / P_{\max}, \quad (11.5)$$

де $P_{\min}$ – навантаження на початку робочого ходу, Н.

Визначають коефіцієнт зменшення умовно допустимого напруження за залежністю

$$K_{з.н} = \frac{\tau_{\max}}{0,75 \tau_{y.д.}}, \quad (11.6)$$

де $\tau_{y.д.}$ – умовне допустиме напруження, МПа.

Значення $\tau_{y.д.}$ залежить від марки сталі, діаметра дроту, класу пружини (добирають за табл. 11.2).

За знайденим значенням r , $K_{з.н}$ і графіком (рис. 11.1) обчислюють $T_{p.сер.}$

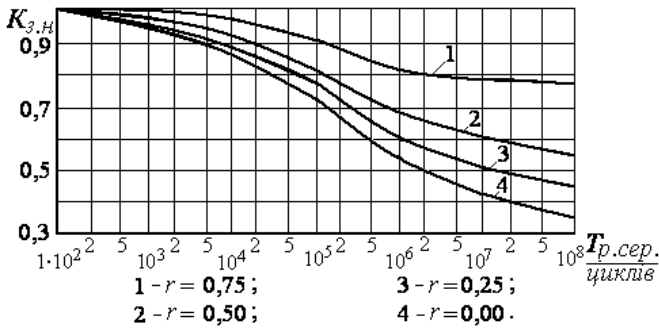
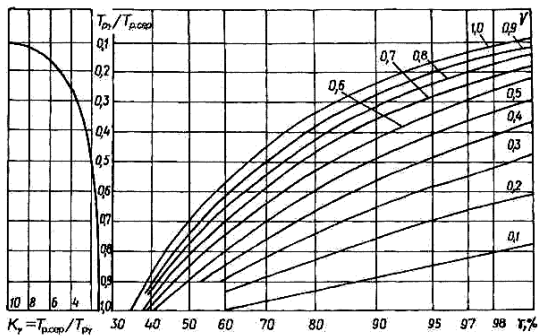
Далі розраховують коефіцієнт K_{γ_j} за залежністю (10.4).

Значення $T_{p\gamma_j}$ визначають на стадії розробки проекту виробу із умов забезпечення необхідних показників його надійності.

За знайденим коефіцієнтом K_{γ_j} та коефіцієнтом варіації v (табл. 11.1) визначають γ_j за номограмою (рис. 11.2) і перевіряють умову за формулою (11.1).

Таблиця 11.1 – Значення коефіцієнта варіації ν

Умови виготовлення	Умови навантаження	ν
Спеціалізоване виробництво	Наявність випадкових ударів вібрацій та окремих пікових амплітудних навантажень	0,8
Неспеціалізоване виробництво	Стала амплітуда навантаження і відсутність вібрації ударів	1,0
Спеціалізоване виробництво	Стала амплітуда навантаження і відсутність вібрації ударів	0,6

Рисунок 11.1 – Залежність коефіцієнта $K_{з,н}$ від кількості циклів роботи пружин при різних значеннях коефіцієнта асиметріїРисунок 11.2 – Номограма для визначення коефіцієнта K_{γ} у разі логарифмічного нормального розподілу

Завдання

Згідно з технічною документацією вузла транспортного засобу, що проектується, вибрана циліндрична гвинтова пружина стискання з прутка круглого перерізу для забезпечення роботи механізму. Попередньо для пружини встановлено гамма-відсотковий ресурс T_{pyj} , циклів. За умовами роботи механізму визначені навантаження наприкінці робочого ходу P_{max} , Н та на початку робочого ходу пружини P_{min} , Н. За необхідними даними для розрахунків визначені геометричні параметри пружини.

На підставі приведених загальних положень та необхідного допоміжного матеріалу (рис. 11.1, 11.2; табл. 11.1, 11.2) згідно з вихідними даними, приведеними в таблиці 11.3, перевірити відповідність пружини заданим умовам навантаження та роботи. У випадку невідповідності необхідно визначити заходи по забезпеченню виконання умов.

Таблиця 11.2 – Умовні допустимі напруження

Характеристика пружини		Діаметр прутку (пружини) d , мм												
Матеріал	Клас	0,5	1,0	1,6	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	5,0	6,0	8,0	8...12	12...30
Дрiт	I	130	125	110	110	90	85	80	80	75	70	-	-	-
	II	110	100	90	90	80	80	80	75	70	65	60	-	-
	III	85	80	70	70	65	65	60	55	55	50	50	-	-
Сталь 60 С2 і 60 С2А	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	75	70

Таблиця 11.3 – Вихідні данні для виконання завдання

№ п/п	Найменування	Варіант							
		1,9,17	2,10,18	3,11,19	4,12,20	5,13,21	6,14,22	7,15,23	8,16,24
1	Клас пружини	I	II	III	I	II	III	II	III
2	$F_{оп}$	$2,5 \cdot 10^3$	$12,0 \cdot 10^3$	$6,5 \cdot 10^3$	$4,5 \cdot 10^4$	$7,4 \cdot 10^6$	$9,0 \cdot 10^4$	$3,5 \cdot 10^3$	$6,2 \cdot 10^6$
3	γ , %	87	93	95	90	96	95	92	94
4	D , мм	32	49	25	54	38	68	103	142
5	d , мм	1,5	2,0	2,5	3,5	4,0	4,5	5,0	6,0
6	P_{max} Н	1340	2500	4750	14400	14200	15300	17000	10000
7	P_{min} Н	190	620	730	3500	250	400	4000	300
8	V	0,8	1,0	1,0	0,8	0,6	1,0	0,8	0,8

Завдання виконати в робочих зошитах або на окремих листах формату А4, для отриманих даних привести порядок розрахунків, обґрунтувати визначення необхідних показників. Обов'язково привести рисунки з поясненнями, зробити відповідні висновки.

12 ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 12. РОЗРАХУНОК ІМОВІРНОСТІ НЕРУЙНУВАННЯ ЦИЛІНДРИЧНИХ ЗУБЧАСТИХ ПЕРЕДАЧ ПРИ КОНТАКТНИХ НАПРУЖЕННЯХ

Загальні положення

Розрахунок імовірності неруйнування циліндричних шестерень зводиться до визначення розрахункового контактного напруження і квантиля нормального розподілу, за яким знаходять величину $R(T_{p\gamma_j})$. При цьому має задовольнятися умова $100R(T_{p\gamma_j}) \geq \gamma_j$, де значення γ_j визначають із розрахунку надійності машин на стадії ТП.

Послідовність розрахунку.

1. Визначають розрахункове контактне напруження

$$\sigma_{кр} = 1,15(N_u)^{0,5k_m} \sqrt{\frac{0,1M_1(i+1)K_{н.р.н.}K_\delta}{h_c b d_1^2 i}}, \quad (12.1)$$

де N_u – розрахункова кількість циклів напруження зуба;

k_m – коефіцієнт, що залежить від твердості зуба і кількості циклів навантаження;

M_1 – розрахунковий крутний момент, що передається шестернею, Н·см;

i – передаточне число зубчастої пари;

$K_{н.р.н.}$ – коефіцієнт, що враховує нерівномірність розподілу навантаження вздовж ширини зуба;

K_δ – коефіцієнт, що враховує додаткові динамічні навантаження в зачепленні;

h_c – статистичний коефіцієнт;

b – робоча ширина зуба;

d_1 – діаметр ділильного кола колеса, см.

Показники, що входять до формули і не задані за умовою, визначають у такий спосіб.

Знаходять розрахункову кількість циклів навантаження

$$N_u = 60nT_{p\gamma_j}, \quad (12.2)$$

де $T_{p\gamma_j}$ – гамма-відсотковий ресурс, год.

Значення коефіцієнтів h_c і k_m , які залежать від твердості поверхні зуба і кількості циклів навантаження визначають за даними таблиці 12.1.

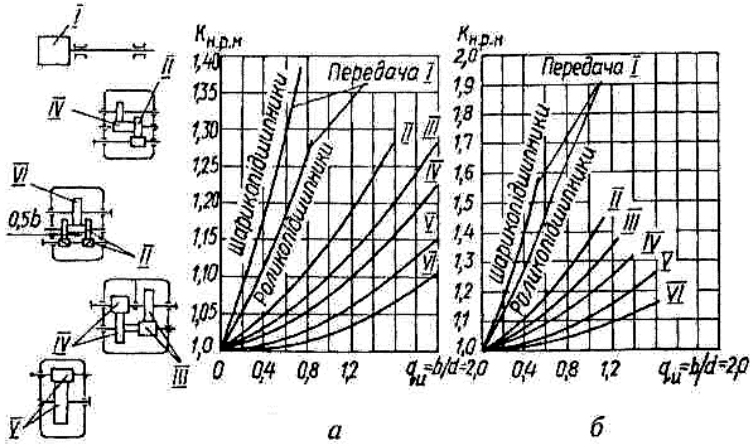
Таблиця 12.1 – Значення коефіцієнтів h_c і k_m

Твердість поверхні зуба за Бринеллем	Зона кількості циклів навантаження на зуб	h_c	k_m
$HB \leq 350$	$0 < N_u \leq 3 \cdot 10^7$	0,716	3,00
$HB \leq 350$	$3 \cdot 10^7 < N_u \leq 1,5 \cdot 10^8$	0,014	0,957
$HB \geq 350$	$10^6 < N_u \leq 1,4 \cdot 10^8$	$0,393 \sqrt{HRC32}$	3,0

Примітка. Значення HRC слід брати за Роквеллом.

Коефіцієнт $K_{н.р.н.}$ визначається (рис. 12.1) залежно від типу редуктора, твердості робочих поверхонь зубів і значення $a_n = b/d_1$ (де b – робоча ширина зуба і d_1 – діаметр ділильного кола шестірні, см);

Коефіцієнт K_δ залежить від наявності на шестірні жорстко зв'язаних масивних деталей і твердості поверхні шестірень. Визначають його за формулами, наведеними в таблиці 12.2.



$a - HB_1 \geq 350 HB, HB_2 \leq 350 HB$; $b - HB_1 > 350 HB, HB_2 > 350 HB$

Рисунок 12.1 – Визначення коефіцієнта нерівномірності розподілу навантаження для циліндричних передач при контактних напруженнях за твердості робочих поверхонь зубів

Таблиця 12.2 – Формули для визначення коефіцієнтів K_o

Твердість поверхонь зубів шестерень і коліс	Жорстко зв'язані з шестернею масивні деталі	
	відсутні	с
$\overline{HB_1} \leq 350$	$K_o = 1 + 0,6n_3$	$K_o = 1 + 1,2n_3$
$\overline{HB_2} \leq 350$		
$\overline{HB_1} > 350$	$K_o = 1 + 1,3n_3$	$K_o = 1 + 2,6n_3$
$\overline{HB_2} > 350$		

В таблиці n – частота обертів, $хв^{-1}$

$$n = \frac{uV_\kappa d_1 b}{0,1M_1} \sqrt{\frac{l}{i}}, \quad (12.3)$$

де u – коефіцієнт, що враховує ступінь точності за нормами плавності;
 V_k – колова швидкість на діаметрі ділильного кола, м/с;
 d_1 – діаметр ділильного кола шестірні, см;
 b – робоча ширина зуба, см;
 M_1 – розрахунковий крутний момент, що передається шестернею, Н·см;
 l – міжцентрова відстань, см;
 i – передаточне відношення зубчастої пари.

Якщо коефіцієнт K_o , обчислений за формулами таблиці 12.2, перевищує максимальні значення, то в розрахунку слід брати $K_o = K_o^{\max}$.

Коефіцієнт, що враховує додаткові динамічні навантаження в зачепленні розраховується за формулою

$$K_o^{\max} = 1 + \frac{bd_1q}{M_1}, \quad (12.4)$$

де q – коефіцієнт, який визначають за таблицею 12.3.

Таблиця 12.3 – Усереднені коефіцієнти u і q для циліндричних передач

Ступінь точності за нормами плавності	u	q	Ступінь точності за нормами плавності	u	q
4	0,32	25	7	0,90	150
5	0,46	45	8	1,15	300
6	0,65	80	9	1,70	500

Квантиль нормального розподілу, що відповідає ймовірності не руйнування, знаходять за формулами, наведеними в таблиці 12.4.

Значення твердості за Брінеллем наведено в таблиці 12.1, 12.2, 12.4.

$$\overline{HB} = \frac{HB_{\max} + HB_{\min}}{2}, \quad (12.5)$$

де $HB_{\max}$ і $HB_{\min}$ визначають за робочими поверхнями зубів.

Таблиця 12.4 – Формули для визначення квантилів

Клас сталі	Твердість поверхні зуба за Брінеллем	
	$\overline{HB} \leq 350$	$\overline{HB} \geq 350$
Вуглецеві	$U_q = \frac{0,502\overline{HB} - 0,2\sigma_{кр}}{0,0115\sigma_{кр} + 0,0302\overline{HB}}$	$U_q = \frac{0,502\overline{HB} - 0,2\sigma_{кр}}{0,0185\sigma_{кр} + 0,0502\overline{HB}}$
Леговані	$U_q = \frac{0,408\overline{HB} - 0,2\sigma_{кр} + 24}{0,0115\sigma_{кр} + 0,0244\overline{HB}}$	$U_q = \frac{0,408\overline{HB} - 0,2\sigma_{кр} + 24}{0,0185\sigma_{кр} + 0,0408\overline{HB}}$

За знайденими U_q згідно з таблицею 12.5 обчислюють відповідну ймовірність $R(T_{p\gamma_j})$. При цьому має дотримуватися умова $100R(T_{p\gamma_j}) \geq \gamma_j$.

Значення γ_j беруть з розрахунку надійності на стадії проектування виробу.

Завдання

Згідно з технічною документацією вузла транспортного засобу, що проектується, вибрана циліндрична зубчата передача для забезпечення роботи агрегату. Попередньо для цієї передачі встановлено гамма-відсотковий ресурс $T_{p\gamma_j}$. За умовами роботи агрегату визначені навантаження та швидкісний режим роботи пари шестерень. Шестерні прямозубі, жорстко зв'язаних з веденою шестернею масивних деталей не має.

На підставі приведених загальних положень та необхідного допоміжного матеріалу (рис. 12.1, табл. 12.1–12.5), згідно з вихідними даними, приведеними у таблиці 12.6, перевірити відповідність зубчатої передачі заданим умовам навантаження та роботи, якщо останній не відповідає, то визначити основні заходи відносно виконання заданих вимог.

Завдання виконати в робочих зошитах або на окремих листах формату А4, для отриманих даних привести порядок розрахунків, обґрунтувати визначення необхідних показників. Обов'язково привести рисунки з поясненнями, зробити відповідні висновки.

Таблиця 12.5 – Квантили нормального розподілу

Імовірність Q або P	Квантиль U_α	Імовірність Q або P	Квантиль U_α	Імовірність Q або P	Квантиль U_α
0,50	0	0,72	0,583	0,94	1,553
0,51	0,025	0,73	0,613	0,95	1,645
0,52	0,050	0,74	0,643	0,96	1,751
0,53	0,075	0,75	0,674	0,97	1,881
0,54	0,100	0,76	0,706	0,98	2,054
0,55	0,126	0,77	0,739	0,99	2,326
0,56	0,151	0,78	0,772	0,991	2,366
0,57	0,176	0,79	0,806	0,992	2,409
0,58	0,202	0,80	0,842	0,993	2,457
0,59	0,227	0,81	0,878	0,994	2,512
0,60	0,253	0,82	0,915	0,995	2,576
0,61	0,279	0,83	0,954	0,996	2,652
0,62	0,305	0,84	0,994	0,997	2,748
0,63	0,332	0,85	1,036	0,998	2,878
0,64	0,358	0,86	1,080	0,999	3,090
0,65	0,385	0,87	1,126	0,9995	3,291
0,66	0,412	0,88	1,175	0,9999	3,719
0,67	0,440	0,89	1,227	0,99999	4,265
0,68	0,466	0,90	1,282		
0,69	0,496	0,91	1,341		
0,70	0,524	0,92	1,405		
0,71	0,553	0,93	1,476		

Таблиця 12.6 – Вихідні данні для виконання завдання

№ п/п	Найменування	Варіант							
		1,9,17	2,10,18	3,11,19	4,12,20	5,13,21	6,14,22	7,15,23	8,16,24
1	$T_{\text{оп}}, \text{год.}$	900	850	950	1050	800	850	900	1050
2	$\eta, \%$	80	85	90	80	95	90	85	90
3	$n, \text{хв.}^{-1}$	1200	1100	1000	900	950	1000	1100	850
4	$M, \text{Н}\cdot\text{см}$	$25 \cdot 10^4$	$44 \cdot 10^4$	$116 \cdot 10^4$	$195 \cdot 10^4$	$60 \cdot 10^4$	$125 \cdot 10^4$	$130 \cdot 10^4$	$52 \cdot 10^4$
5	$\partial_t, \partial_z, \text{мм}$	26	24	28	30	26	28	32	34
6	x_t	41	43	52	56	36	44	27	34
7	x_z	79	64	93	87	77	108	83	117
8	η_t	2,5	3,0	4,0	2,5	3,0	4,0	2,5	3,0
9	клас сталі	углецева	легована	углецева	легована	углецева	легована	углецева	легована
10	твердість, $\overline{HB}$	324	412	376	394	342	408	308	378
11	ступінь точності	4	5	6	7	5	6	7	5

РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Ротенберг Р. В. Основы надежности системы «водитель – автомобиль – дорога – среда». М. : Машиностроение, 1986.
2. Канарчук В. Е. та ін. Надійність машин. Київ : Либідь, 2003.
3. Гурвич И. Б. Эксплуатационная надежность автомобильных двигателей. М. : Транспорт, 1984.
4. Авдонькин Ф. Н. Теоретические основы технической эксплуатации автомобилей. М. : Транспорт, 1985.
5. Подшипники качения. Справочник-каталог. / Ред. В. Н. Нарышкина. М. : Машиностроение, 1984.
6. Ануриев В. И. Справочник конструктора-машиностроителя. Т2. М. : Машиностроение, 1987.
7. Острейковский В. А. Теория надежности. М. : Высшая школа, 2003.
8. Пронников А. С. Параметрическая надежность. М. : Изд. им. Баумана, 2002.
9. Кугель Р. В. Надежность машин массового производства. М. : Машиностроение, 1981.
10. Теорія ймовірностей та математичної статистики. <http://lib.lntu.info/books/knit/vm/2011/11-47/>.
11. Теорія ймовірностей та математичної статистики. <http://zyurvas.narod.ru/resursy.html>.