

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Запорізький національний технічний університет

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

**до проведення практичних занять
з дисципліни «Надійність та довговічність
двигунів внутрішнього згорання»
для студентів всіх форм навчання.**

**Спеціальність 133 Галузеве машинобудування
(«Двигуни внутрішнього згорання»)**

2017

Методичні вказівки до проведення практичних занять з дисципліни «Надійність та довговічність двигунів внутрішнього згорання» для студентів всіх форм навчання. Спеціальність 133 Галузеве машинобудування («Двигуни внутрішнього згорання»).

/ Укл.: Кубіч В.І., Слинько Г.І. - Запоріжжя: ЗНТУ, 2017. - 66 с.

Укладачі: Кубіч В.І., доцент, Слинько Г.І., професор

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

Відповідальний
за випуск: Кубіч В.І., доцент

Затверджено
на засіданні кафедри «Двигуни
внутрішнього згорання»
Протокол № 9
від « 20 » березня 2017.

Рекомендовано до видання
НМК Транспортного факультету
Протокол № 26
від « 21 » березня 2017.

ЗМІСТ

Стор.

	Вказівки до оформлення завдань.....	4
1	Практичне заняття № 1. Структуризація механізмів та систем двигунів	5
2	Практичне заняття № 2. Розрахунок комплексних показників надійності двигунів	8
3	Практичне заняття № 3. Оцінка ремонтпридатності структурних складових двигунів	11
4	Практичне заняття № 4. Розрахунок одиничних показників надійності двигунів	13
5	Практичне заняття № 5. Визначення кількісних оцінок характеристик довговічності двигунів	17
6	Практичне заняття № 6. Класифікація відмов елементів конструкції двигунів. Визначення значень критеріїв відмов	21
7	Практичне заняття № 7. Ознайомлення з характерними видами зносу деталей КШМ та ГРМ двигунів.....	23
8	Практичне заняття № 8. Графічна інтерпретація розподілу ймовірностей експериментальних даних щодо надійності двигунів	24
9	Практичне заняття № 9. Аналітичний розрахунок норми надійності елементів двигунів	26
10	Практичне заняття № 10. Визначення залишкового ресурсу елемента конструкції двигуна та його межі при заданій надійності	29
11	Практичне заняття № 11. Визначення залишкового ресурсу двигуна на підставі математичної моделі та експертних оцінок	33
12	Практичне заняття № 12. Визначення ресурсу деталей з використанням кореляційних рівнянь довговічності.....	39
	Рекомендована література.....	56
	Додаток А. Вихідні дані для завдань занять № 4, 8, 9....	57
	Додаток Б. Значення нормованої функції розподілення $F_0(z)$	63
	Додаток В. Значення щільності розподілення нормованої функції $\varphi(z)$	64
	Додаток Г. Значення гама-функції розподілу $\Gamma(x)$	65
	Додаток Д. Значення функції розподілу Лапласа $\Phi(t)$...	66

ВКАЗІВКИ ДО ОФОРМЛЕННЯ ЗАВДАНЬ

Завдання виконується в окремому робочому зошиті. При оформленні обов'язково приводяться:

- назва практичного заняття;
- мета завдання;
- вихідні данні;
- задачі (розрахунки), які необхідно виконати;
- послідовність виконаних розрахунків та їх результати;
- ескізи, рисунки, графічні залежності;
- пояснення до отриманих результатів;
- висновки.

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

Отримані результати студент повинен захищати у час, відведений для виконання практичного завдання.

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

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

При наявності всіх виконаних за планом практичних завдань в кінці семестру студент допускається до здачі заліку.

1 ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 1

СТРУКТУРИЗАЦІЯ МЕХАНІЗМІВ ТА СИСТЕМ ДВИГУНІВ

Мета. Отримати практичні навички в складанні структурних схем функціональної взаємодії частин систем і механізмів ДВЗ.

Завдання. Відповідно до варіанту завдання необхідно графічно скласти дві структурні схеми взаємодії частин механізмів і систем. За основу необхідно використовувати принцип «головного поняття» при розгляді будови механізмів і систем ДВЗ: послідовністю розташування частин по відношенню один до одного і групуванню по функціях, які вони виконують. У схемах виділити елементи по значущості, які обумовлюють можливі зміни в роботоздатності і справності пристроїв.

Матеріальне забезпечення:

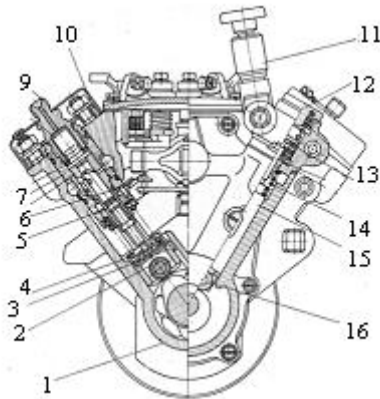
- альбоми рисунків «Будова автомобілів марок ГАЗ, КамАЗ, ЗІЛ»;
- розрізні двигуни ЗМЗ-402, 406, МеМЗ-245, ВАЗ-2101;
- ТНВД (паливний насос високого тиску) двигуна КамАЗ-740, ЯМЗ;
- деталі паливної апаратури двигунів (форсунка, фільтр);
- книги з будови та експлуатації автомобілів, тракторів відповідних марок (КамАЗ, МАЗ, ГАЗ, ЗІЛ, «Магірус», К-700, МТЗ-80(82), ДТС-75, Т-40 та інш.).

Методичні вказівки.

Залежно від варіанту завдання виділяються «поняття приналежності» для кожної складової частини механізму, системи, а далі приводяться згідно технічної термінології безпосередньо самі складові.

Наприклад, розглянути ТНВД як «систему» і як «елемент».

У робочих зошитах необхідно показати це наступним чином.



1 - корпус; 2 - штовхач;; 10 - плунжер;
Рисунок 1.1 - Загальний вид ТНВД

Якщо розглядати ТНВД як «систему», то її «об'єктами» будуть: насосні секції – 8 шт.; усережимний регулятор частоти обертання; кулачковий вал ... та ін. «Елементами», наприклад «об'єкту» регулятора будуть: головний важіль; важіль стартової пружини ... та ін. «Компонентом» елементу муфти регулятора буде кульковий підшипник.

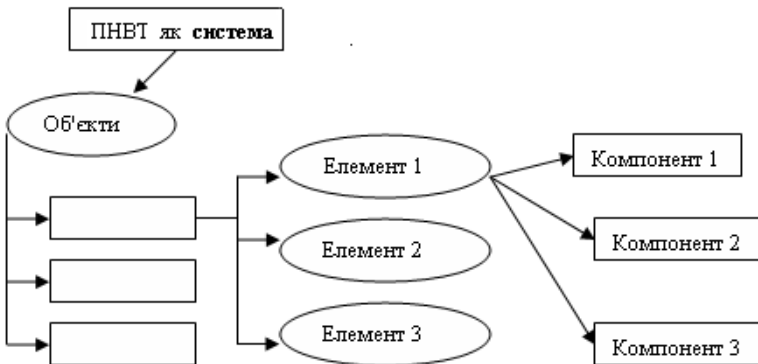


Рисунок 1.2 - Структурна схема ПНВД як «системи»

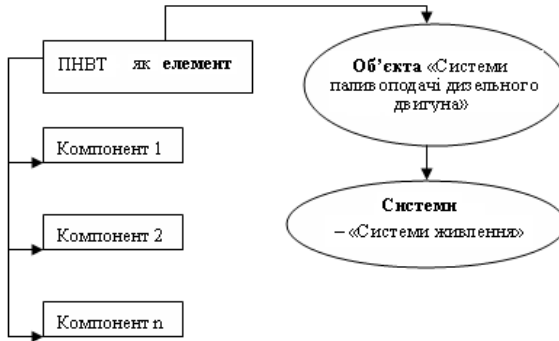


Рисунок 1.3 - Структурна схема ТНВД як «елемента»

В кожному прямокутнику, або овалі необхідно вписувати назви частин, наприклад, поршень; штовхач; шестерня; клапан; тарілка клапан; пружина та ін.

Якість виконання завдання, володіння суттю навчального матеріалу, що розглядається на занятті, оцінюється за 100 бальною системою.

Таблиця 1.1 - Варіанти завдання

Найменування	Номер варіанта									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
КШМ МеМЗ-245	ОЕ		ЕК				СО			
ГРМ ВАЗ 2101		СО				ЕК				ОЕ
Масляний насос ЗМЗ-66			ЕК	ОЕ				ЕК		
Водяний насос КамАЗ-740	СК			СЕ	СО					
Форсунка ЯМЗ-238					ОЕ				СЕ	ЕК
ТНВД КамАЗ-740		ОЕ				ОК			ЕК	
Карбюратор ВАЗ-2101							СЕ	ОЕ		
Паливний насос ЗІЛ-130	ЕК		СО	ОК				ОК		
ФВМ ЗІЛ-130					СК		ОК		ОЕ	
Система змащування ЗМЗ-402		ОЕ				ЕК				ЕК

Примітка: «С» - як система; «О» - як об'єкт; «Е» - як елемент; «К» - як компонент.

2 ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 2

РОЗРАХУНОК КОМПЛЕКСНИХ ПОКАЗНИКІВ НАДІЙНОСТІ ДВИГУНІВ

Мета. Отримати практичні навички в проведенні розрахунків комплексних показників надійності ДВЗ.

Завдання. В результаті аналізу інформації, зібраної в періоди експлуатаційних випробувань партій ДВЗ, стали відомими наступні дані, табл. 2.1:

- час справної роботи між відмовами t_{CP} ;
- число відмов n ;
- час виявлення і усунення відмови T_{B_i} ;
- математичне очікування напрацювання t_p ;
- математичне очікування інтервалів часу простою при технічному обслуговуванні t_{TO} ;
- математичне очікування інтервалів часу, що витрачається на планові і непланові ремонти $t_{рем.}$.

Відповідно до початкових даних, приведених в табл. 2.1 розрахувати:

- коефіцієнт готовності ДВЗ до використання за призначенням;
- коефіцієнт технічного використання ДВЗ в період експлуатації;
- коефіцієнт планованого застосування за призначенням в період експлуатації, для чого використовувати дані, приведені в табл. 2.2.

Методичні вказівки

Розрахунки необхідно провести для двох марок двигунів. Отримані результати оцінити щодо прояву властивостей надійності між двома партіями двигунів, для чого використати отримані числові дані. Проведену оцінку результатів оформити висновком.

Для проведення розрахунків слід використовувати вирази 2.1-2.3 [6]. При виконанні розрахунків приймати 1 мото-год. роботи рівним 20 км пробігу машини з ДВЗ.

Коефіцієнт готовності K_G визначається у відповідності з виразом

$$K_{\Gamma} = \frac{T_o}{T_0 + T_{\epsilon}}, \quad (2.1)$$

де T_0 - середнє напрацювання на відмову, год., яке визначається як

$$T_0 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n t_{CP},$$

де t_{CP} - час справної роботи між $(i-1)$ та i -ю відмовою;

n - кількість відмов виробу (об'єкта);

T_{ϵ} - час відновлення стану виробу (об'єкта), год., який визначається як

$$T_{\epsilon} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n T_{B_i},$$

де T_{B_i} - час виявлення і усунення i -ї відмови виробу (об'єкта).

Коефіцієнт технічного використання K_{TB} визначається у відповідності з виразом

$$K_{TB} = \frac{\overline{t_p}}{\overline{t_p} + \overline{t_{TO}} + \overline{t_{рем.}}}, \quad (2.2)$$

де t_p - математичне очікування напрацювання об'єктів (ДВЗ), які відновлюється, год.;

t_{TO} - математичне очікування інтервалів часу простою при технічному обслуговуванні, год.;

$t_{рем.}$ - математичне очікування інтервалів часу, що витрачається на планові та позапланові ремонти, год.

Коефіцієнт планованого застосування $K_{ПЗ}$ визначається у відповідності з виразом

$$K_{ПЗ} = \frac{t_e - (t_{ПТО} + t_{ПР})}{t_e}, \quad (2.3)$$

де t_e - тривалість експлуатації, год.;

$t_{ПТО}$ - тривалість планових технічних обслуговувань, год.;

$t_{ПР}$ - тривалість планових ремонтів, год.

Таблиця 2.1 - Значення експлуатаційних показників використання партії ДВЗ

Найменування	Варіант 1		Варіант 2		Варіант 3	
Показник	МЕМЗ-307	ЗМЗ-406	ЯМЗ-240	ЗМЗ-5143.10	Д-240	ЗІЛ-508
Час справної роботи між відмовами $t_{СР}$, км	2460	3175	1680	3410	1820	4150
Кількість відмов, n	4	9	3	6	4	3
Час виявлення і усунення відмови T_d , хв.	10	3	16	7	9	15
Математичне очікування наробітку t_p , км	15000	20000	12000	25000	6000	25000
Математичне очікування інтервалів часу простою при технічному обслуговуванні $t_{ТО}$, год.	12	18	8	14	9	22
Математичне очікування інтервалів часу, що витрачається на планові й непланові ремонти $t_{рем}$, год.	6	4	2	4	6	8

Таблиця 2.2 - Числові значення показників використання ДВЗ

Найменування	Варіант 1		Варіант 2		Варіант 3	
Показник	МЕМЗ-307	ЗМЗ-406	ЯМЗ-240	ЗМЗ-5143.10	Д-240	ЗІЛ-508
Задана тривалість експлуатації t_e , км	32000	55000	24000	18000	12000	44000
Тривалість планових технічних обслуговувань $t_{ПТО}$, год.	48	66	15	8,5	9,5	16
Тривалість планових ремонтів $t_{ПР}$, год.	22	18	6	18	8	12

3 ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 3

ОЦІНКА РЕМОНТОПРИДАТНОСТІ СТРУКТУРНИХ СКЛАДОВИХ ДВИГУНІВ

Мета. Отримати практичні навички в з'ясуванні характеру прояву властивостей складових конструкції систем і механізмів ДВЗ, що визначають їх ремонтопридатність.

Завдання. Відповідно до варіанту завдання необхідно оцінити ремонтопридатність елемента конструкції двигуна. Оцінку властивості провести з поясненнями по кожній з її складових. Пояснення давати у тому розумінні, яке сформувалося на час навчання.

Матеріальне забезпечення:

- альбоми рисунків «Будова автомобілів марок ГАЗ, КамАЗ, ЗІЛ»;
- розрізні двигуни ЗМЗ-402, 406, МеМЗ-245, ВАЗ-2101;
- ТНВД двигуна КамАЗ-740, ЯМЗ;
- деталі паливної апаратури двигунів;
- колінчасті, газорозподільні вали;
- блоки, голівки циліндрів;
- книги з будови та експлуатації автомобілів, тракторів відповідних марок (КамАЗ, МАЗ, ГАЗ, ЗІЛ, «Магірус», К-700, МТЗ-80(82), ДТС-75, Т-40 та інш.).

Методичні вказівки

Оцінку ремонтопридатності елемента потрібно провести виходячи з того, що її визначають наступні його властивості:

- доступність;
- контролепридатність;
- легкос'ємності складових одиниць і деталей;
- взаємозамінність;
- блоковість і агрегування;
- ступінь уніфікації;
- кількість змащувальних точок.

Контролепридатність - властивість виробу, що характеризує його пристосованість до проведення контролю заданими засобами

Взаємозамінність - властивість деталей або вузлів агрегатів, механізмів, апаратів і ін. технічних конструкцій, що дозволяє замінити їх або вмонтовувати без додаткової обробки при збереженні всіх вимог, що пред'являються до роботи даного вузла, механізму або конструкції в цілому.

Агрегування - це метод створення машин, приладів і устаткування з окремих стандартних уніфікованих вузлів, які багато разів використовуються при створенні різних виробів на основі геометричної і функціональної взаємозамінності.

Ступінь уніфікації характеризується рівнем уніфікації виробу - його насиченістю уніфікованими, зокрема стандартизованими деталями, вузлами, складальними одиницями. Одним з показників рівня уніфікації є коефіцієнт вживаності (уніфікації), який визначається відношенням різниці загальної кількості деталей і числа оригінальних (розроблених вперше) до загальної кількості у %.

При розгляді ремонтпридатності елемента конструкції двигуна необхідно детально проаналізувати та описати кожну її складову - привести відповідні аргументи. Наприклад, ***ступінь уніфікації** голівки блоку циліндрів у зборі* визначається наявністю в її конструкції

Таблиця 3.1 - Варіанти завдань

[illegible]

4 ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 4

РОЗРАХУНОК ОДИНИЧНИХ ПОКАЗНИКІВ НАДІЙНОСТІ ДВИГУНІВ

Мета. Отримати практичні навички у використанні теорії ймовірностей для розрахунку показників надійності ДВЗ.

Завдання 1. Зі спостережень за партією двигунів ЗМЗ-402.10 і наступної обробки результатів отримані значення $x_{сер.} = (*)$ тис. км, $\sigma = (*)$ тис. км. За умови, що розподіл відмов підкоряється нормальному закону, визначити показники надійності - ймовірність безвідмовної роботи, ймовірність відмови, щільність ймовірності відмов, інтенсивність відмов до наробітків x_1, x_2, x_3, x_4 тис. км, за отриманими результатами побудувати графіки зміни показників від заданого напрацювання.

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

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

Використовуючи нормовану функцію, визначити ймовірність відмови деталі в інтервалах пробігу від x_1 до x_2 , від x_3 до x_4 , від x_5 до x_6 , від x_7 до x_8 тис. км.

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

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

Використовуючи нормальний закон розподілу, нормовану функцію, визначити можливе число замін при напрацюваннях x_1, x_2, x_3, x_4 тис. км.

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

Методичні вказівки

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

Для проведення розрахунків рекомендується використовувати вирази: 4.1-4.5 [2, 5, 7].

Нова випадкова величини z визначається як

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

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

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

σ - середнє квадратичне відхилення значення напрацювання як випадкової величини.

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

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

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

Інтенсивність відмов визначається наступним чином, 1/год.:

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

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

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

Параметр потоку відмов для нормального закону розподілу визначається наступним чином

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

де k - число відмов (1, 2, 3, 4...);

η - коефіцієнт відновлення ресурсу.

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

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

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

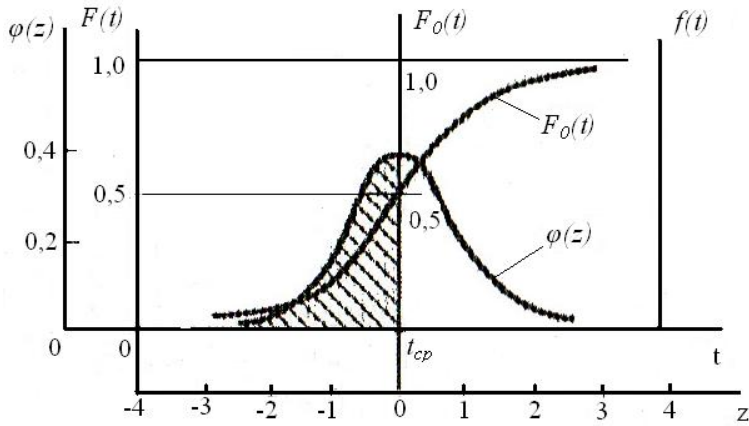


Рисунок 4.1 - Графіки функцій $F_0(z)$ и $\varphi(z)$ при нормальному законі розподілення

5 ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 5 ВИЗНАЧЕННЯ КІЛЬКІСНИХ ОЦІНОК ХАРАКТЕРИСТИК ДОВГОВІЧНОСТІ ДВИГУНІВ

Мета. Отримати практичні навички у визначенні кількісних оцінок характеристик довговічності двигунів.

Завдання. При випробуванні n -ї кількості двигунів відповідних марок їх ресурс був вичерпаний при напрацюваннях t_1-t_i . Визначити наступні кількісні оцінки: напрацювання, протягом якого двигун не досягне граничного стану в межах напрацювання із заданою ймовірністю γ відсотків t_γ , середній ресурс $t_{сер.}$, середнє квадратичне відхилення середнього ресурсу σ , коефіцієнт варіації V .

Привести порядок розрахунку відповідно до вихідних даних, наведеними в табл. 5.1, побудувати криву ймовірності безвідмовної роботи, за результатами обчислень зробити висновки - провести зрівняльну оцінку отриманих ресурсів.

Методичні вказівки

Для проведення розрахунків рекомендується використовувати вирази 5.1-5.5 [1, 2, 6, 13].

Розрахунок 80%-го ресурсу виконують наступним чином. По-перше обчислюють послідовно при кожному напрацюванні t_i значення кривої спадання (ймовірності безвідмовної роботи) за виразом

$$P(t_i) = \frac{N + 1 - i}{N + 1}, \quad (1 \leq i \leq N), \quad (5.1)$$

де N - загальні кількість двигунів, що випробуються;

i - порядковий номер напрацювання (1, 2, 3...).

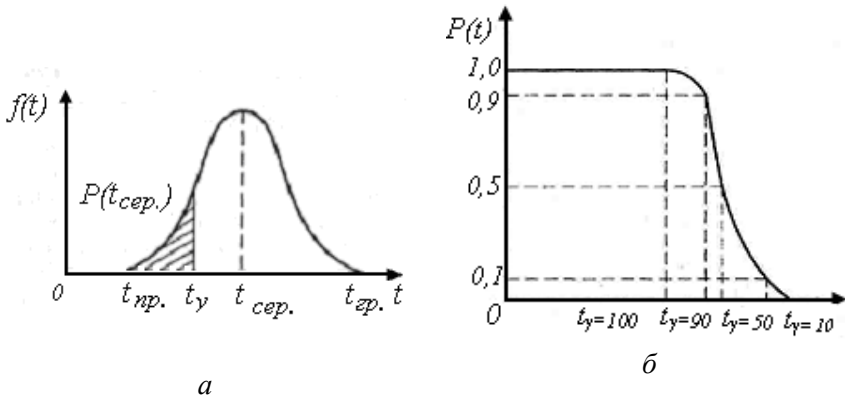
Далі на підставі отриманих даних будують графічну залежність ймовірності безвідмовної роботи від гамма-відсоткового ресурсу $P(t_i) = f(N, i)$. Для побудування графічної залежності (кривої спадання) рекомендується використати міліметровий папір.

У тому випадку, якщо серед значень точок графіка є значення $P(t_i) = 0,8$, оцінка 80%-го ресурсу $t_{0,8} = t_i$. Якщо ні, то гамма-відсотковий

ресурс визначають за отриманою графічною залежністю або методом лінійної інтерполяції за формулою

$$t_{0,8} = t_{i-1} + (t_i - t_{i-1}) \frac{P(t_{i-1} - 0,8)}{P(t_{i-1}) - P(t_i)}. \quad (5.2)$$

Ілюстрація гамма-відсоткового ресурсу t_γ наведено на рис. 5.1.



а - ресурс як випадкова величина; $f(t)$ - щільність розподілення випадкової величини ресурсу t ; $t_{np.}$ - призначений ресурс; t_γ - гамма-відсотковий ресурс; $t_{сеп.}$ - середнє значення ресурсу; $t_{зр.}$ - граничне значення напрацювання;
б - функція ймовірності безвідмовної роботи залежно від напрацювання виробу
 Рисунок 5.1 - Гамма-відсотковий ресурс

Середній ресурс

$$t_{сеп.} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N t_i. \quad (5.3)$$

Середнє квадратичне відхилення середнього ресурсу

$$\sigma_t = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (t_i - t_{сеп.})^2}. \quad (5.4)$$

Коефіцієнт варіації

$$V = \frac{\sigma_t}{t_{\text{сеп.}}} . \quad (5.5)$$

Наприклад. При випробуванні 13 двигунів марок ЗМЗ-406 з модернізованою системою живлення паливом їх ресурс був вичерпаний при напрацюваннях $t_1=3000$, $t_2=3500$, $t_3=3700$, $t_4=4000$, $t_5=4200$, $t_6=4300$, $t_7=4500$, $t_8=4800$, $t_9=4900$, $t_{10}=5100$, $t_{11}=5400$, $t_{12}=5500$, $t_{13}=6000$ мото-год.

Розв'язання завдання має наступний вигляд.

Значення координати точок графічної залежності (кривої спадання) по осі ОУ обчислюють за виразом (5.1)

$$P(3000) = \frac{13+1-1}{13+1} = 0,9286;$$

$$P(3500) = \frac{13+1-2}{13+1} = 0,8571;$$

$$P(3700) = \frac{13+1-3}{13+1} = 0,7857 \text{ і т.д.}$$

За отриманими даними $P(3700) < 0,8 < P(3500)$. За виразом (5.2) визначають оцінку 80%-го ресурсу

$$t_{0,8} = 3500 + (3700 - 3500) \frac{0,8571 - 0,8}{0,8571 - 0,7857} = 3660 \text{ мото-год.}$$

Середній ресурс

$$t_{\text{сеп.}} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N t_i = \frac{1}{13} (3000 + 3500 + 3700 + 4000 + 4200 + 4300 + 4500 + 4800 + 4900 + 5100 + 5400 + 5500 + 6000) = 4530 \text{ мото-год.}$$

Середнє квадратичне відхилення

$$\sigma_t = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (t_i - t_{cep.})^2} = \sqrt{\frac{1}{12} (1530^2 + 1030^2 + 830^2 + 330^2 + 230^2 + 300^2 + 270^2 + 570^2 + 870^2 + 970^2 + 1470^2)} = 860 \text{ мото-год.}$$

Коефіцієнт варіації

$$V = \frac{\sigma_t}{t_{cep.}} = \frac{860}{4530} = 0,19.$$

Таблиця 5.1 – Вихідні данні

Найменування параметру	Варіант									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Розрахункова ймовірність, %	75 85	80 90	90 95	75 90	80 85	85 95	75 85	80 95	75 90	70 80
Значення напрацювань до відмови, мото-год.	2150	1410	3240	2700	5200	660	3710	4100	880	2600
	2340	1490	3600	2740	5370	730	3890	4250	1100	2940
	2490	1630	3780	2910	5740	780	3930	4840	1350	3260
	2740	1730	4300	3090	5920	940	4130	5120	1420	3350
	2900	1920	4640	3180	6140	990	4320	5300	1610	3740
	3100	2100	4730	3460	6190	1100	4400	5440	1660	4130
	3260	2350	4850	3780	6480	1230	4550	5740	1930	4360
	3560	2410	5250	3960	6570	1320	4810	5930	2140	4610
	3890	2630	5480	4100	6810	1450	4930	6120	2310	4900
	4060	2920	5600	4150	6950	1630	5120	6340	2580	5150
	4250	3100	5930	4270	7140	1800	5300	6710	2940	5360
	4340	3230	6150	4310	7300	2100	5530	7050	3270	5410
	4510		6340		7510		5760		3420	

6 ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 6

КЛАСИФІКАЦІЯ ВІДМОВ ЕЛЕМЕНТІВ КОНСТРУКЦІЇ ДВИГУНІВ. ВИЗНАЧЕННЯ ЗНАЧЕНЬ КРИТЕРІЇВ ВІДМОВ

Мета. Отримати практичні навички в складанні характеристики відмов за їх класифікаційними ознаками при можливому прояву їх оціночних критеріїв.

Завдання. У відповідності до структурно-логічних схем пошуку несправностей у системах живлення, охолодження, змащування виділити три - п'ять характерних відмов, яким дати характеристику по класифікаційним ознакам, та визначити для оціночних критеріїв їх числові значення.

Матеріальне забезпечення:

- альбоми рисунків «Будова автомобілів марок ГАЗ, КамАЗ, ЗІЛ»;
- розрізні двигуни ЗМЗ-402, 406, МеМЗ-245, ВАЗ-2101; КамАЗ-740, ЯМЗ-236;
- ксерокопії схем пошуку можливих несправностей (двигун не пускається; стуки у двигуні; збільшені вібрації двигуна); системи охолодження; замазувальної системи;
- книги з будови та експлуатації автомобілів, тракторів відповідних марок (КамАЗ, МАЗ, ГАЗ, ЗІЛ, «Магірус», К-700, МТЗ-80(82), ДТС-75, Т-40 та інші.).

Методичні вказівки

Варіанти завдання наведено у табл.6.1.

Таблиця 6.1 - Варіанти завдання

Найменування	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Система живлення	х			х			х			х
Система охолодження		х			х			х		
Система змащування			х			х			х	

При виконанні завдання рекомендується використовувати відповідну літературу, в якій наведено значення параметрів

технічного стану для систем і механізмів двигунів. При цьому на вибір керівника заняття для кожного студента можуть рекомендаційне надана додатково до варіанту завдання марка двигуна (автомобільного, тракторного) з переліку книг з будови та експлуатації автомобілів, що підготовленні на заняття. Наприклад, це двигуни ВАЗ-2101, КамАЗ-740, ЯМЗ-236, ЗМЗ-66, ЗІЛ-130, ММЗ-240, Д-65, СМД-60(66) та ін.

Отримані результати під час роботи необхідно оформити у вигляді таблиці (табл. 6.2).

Таблиця 6.2 - Характеристика відмов за класифікаційними ознаками

Найменування системи (механізму) двигуна, його марка	Формулювання відмови	Класифікаційна характеристика (ознаку вказувати обов'язково)	Значення оціночного критерію
	1. 2. 3. 4. 5.		

7 ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 7

ОЗНАЙОМЛЕННЯ З ХАРАКТЕРНИМИ ВИДАМИ ЗНОСУ ДЕТАЛЕЙ КШМ ТА ГРМ ДВИГУНІВ

Мета. Отримати первинні практичні навички про виявлення видів зносу деталей кривошипно-шатунного (КШМ) та газорозподільного механізму (ГРМ) ДВЗ.

Завдання. Розглянути ілюстрації допустимих і неприпустимих видів зносу на прикладі результатів досліджень (роздатковий матеріал). Оцінити стан поверхонь елементів конструкції двигуна на предмет їх зношування, для чого візуально оглянути поверхню та попередньо висунути припущення про можливі види зносу.

Матеріальне забезпечення:

- деталі що мають наслідки проявів процесу зношування робочих поверхонь: поршень; вкладиші; кільця; розподільний, колінчастий вал; гільзи циліндрів; блоки циліндрів та інші;
- розрізні двигуни ЗМЗ-402, 406, МеМЗ-245, ВАЗ-2101; КамАЗ-740, ЯМЗ-236;
- ксерокопії ілюстрацій видів зносу поверхонь деталей;
- книги з будови та експлуатації автомобілів, тракторів відповідних марок (КамАЗ, МАЗ, ГАЗ, ЗИЛ, «Магірус», К-700, МТЗ-80(82), ДТС-75, Т-40 та інш.).

Методичні вказівки.

Отримані результати необхідно оформити у вигляді таблиці за формою табл. 7.1.

Таблиця 7.1 - Результати візуального освідчення стану поверхонь деталей КШМ, ГРМ _____

(марка двигуна)

Назва деталі	Найменування поверхні	Трібологічний стан поверхні	Вид зношування

8 ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 8

ГРАФІЧНА ІНТЕРПРЕТАЦІЯ РОЗПОДІЛУ ЙМОВІРНОСТЕЙ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДАНИХ ЩОДО НАДІЙНОСТІ ДВИГУНІВ

Мета. Отримати практичні навички в обробці експериментальних даних.

Завдання. Використовуючи експериментальні дані, що наведені у табл. А.4 додатку А по напрацювання на відмову для партії дизельних двигунів СМД-60 необхідно:

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

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

За результатами виконання роботи зробити відповідні висновки.

Методичні вказівки

Для проведення розрахунків рекомендується використовувати вирази 8.1-8.4 [2].

Щільність розподілу ймовірності напрацювання до відмов визначається як

$$f_n(t) = \frac{\Delta n}{n \Delta t}, \quad (8.1)$$

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

n - загальна кількість відмов в партії, од.;

Δt - значення інтервалу напрацювання у якому визначається кількість відмов за час випробувань, год.

Інтенсивність відмов визначається як

$$\lambda_n(t) = \frac{\Delta n}{N_0(t) \Delta t}, \quad (8.2)$$

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

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

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

Значення функції надійності визначається як

$$R_n(t) = 1 - \frac{\Delta n(0 - t_i)}{\sum_{i=1}^k \Delta n_i}, \quad (8.3)$$

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

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

Значення величини інтервалу напрацювання визначається як

$$\Delta t = \frac{t_{max} - t_{min}}{\sqrt{N_{max}}}, \quad (8.4)$$

де N_{max} - максимальна кількість відмов в двигуні партії;

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

9 ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 9

АНАЛІТИЧНИЙ РОЗРАХУНОК НОРМИ НАДІЙНОСТІ ЕЛЕМЕНТІВ ДВИГУНІВ

Мета. Навчитися використовувати методику виконання аналітичного розрахунку надійності ДВЗ на прикладі елемента двигуна (механізму, системи).

Завдання. Відповідно до варіанта завдання (табл. А.5, додаток. А), за умови, що ймовірність безвідмовної роботи елементів змінюється в часі за експоненціальним законом розподілу:

- скласти й графічно зобразити структурну схему (модель) елемента ДВЗ (механізму, системи);
- виконати розрахунок норми надійності елемента ДВЗ по заданому рівню ймовірності безвідмовної роботи $R(t)$, значенню напрацювання (призначеного ресурсу) t_0 , нормативу λ_i для компонента;
- зробити орієнтовний розрахунок структурної надійності (результуючої ймовірності безвідмовної роботи) для елемента ДВЗ і його компонентів;

За результатами виконання зробити відповідні висновки.

Методичні вказівки

Для проведення розрахунків рекомендується використовувати вирази 9.1-9.12 [1,2].

За умови, що всі елементи системи рівнонадійні, то за теоремою множення ймовірності умова безвідмовності структури з ймовірністю $R(t_0)$

$$\bigcap_{i=1}^N R_i \geq R(t_0), \quad (9.1)$$

або

$$R_i^N \geq R(t_0), \quad (9.2)$$

де N - кількість елементів у структурній схемі, яку складено попередньо;

R_i - ймовірність безвідмовної роботи елемента структури;

t_0 - призначений ресурс, год.

$$R_i \geq \exp(-\lambda_i t_0) = \exp\left(-\frac{\lambda}{N} t_0\right), \quad (9.3)$$

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 $(0 - t_0)$

$$\lambda = -\frac{\ln[R(t_0)]}{t_0} = \text{const}. \quad (9.4)$$

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

$$\lambda_{f_i} \leq \frac{\lambda_i}{f_i}. \quad (9.5)$$

Норма для середнього напрацювання повністю обчислюється по формулі

$$T_m = \frac{1}{\lambda}. \quad (9.6)$$

Потім визначають і норми середніх напрацювань на відмову для елементів

$$T_{m_i} = \frac{1}{\lambda_i}. \quad (9.7)$$

Норматив для інтенсивності відмов системи визначиться як

$$\lambda = N \lambda_i. \quad (9.8)$$

Призначений ресурс визначається як

$$t_0 = -\frac{\ln[R(t_0)]}{\lambda}. \quad (9.9)$$

При паралельному з'єднанні в структурній схемі елементів, що визначають результуючу ймовірність безвідмовної роботи, остання визначається

$$R_{\Sigma} = 1 - \left(\sum_{i=1}^N (1 - R_i) \right). \quad (9.10)$$

При послідовному з'єднанні результуюча ймовірність безвідмовної роботи визначається

$$R_{\Sigma} = R_i^N. \quad (9.11)$$

Якщо в складеній схемі має місце послідовно-паралельне з'єднання елементів, то потрібно результуючу ймовірність безвідмовної роботи визначати як

$$R_{\Sigma} = 1 - \left(\sum_{i=1}^N (1 - R_i) \right) R_i^N. \quad (9.12)$$

10 ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 10

ВИЗНАЧЕННЯ ЗАЛИШКОВОГО РЕСУРСУ ЕЛЕМЕНТА КОНСТРУКЦІЇ ДВИГУНА ТА ЙОГО МЕЖІ ПРИ ЗАДАНІЙ НАДІЙНОСТІ

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

Завдання. При проведенні технічного освідчення стану зносу поверхні деталі механізму двигуна встановлено її вимірювальний розмір $h_{вим.}$ після напрацювання t_p . Відповідно до вихідних даних, що наведено в табл. 10.1 визначити залишковий ресурс деталі та його межі надійності при довірчій ймовірності 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.

Методичні вказівки

Для проведення розрахунків рекомендується використовувати вирази 10.1-10.7 [3, 13, 14].

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

$$\Delta_{сер.} = -\frac{x_1 - x_2}{2}, \quad (10.1)$$

$$V_h = \frac{u_{вим.}}{t_p} = \frac{h - \Delta_{сер.} - h_{вим.}}{t_p}. \quad (10.2)$$

Таблиця 10.1 - Варіанти завдання

Найменування	1 Товщина зуба шестерні колінчастого валу	2 Шпонковий паз під шків	3 Торцева поверхня шестерні розподільного валу	4 Паз валика мастильного насоса	5 Хвостовик валика розподілю вача	6 Вкладні корінного підшипника
Довірча ймовірність, 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}	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

Продовження таблиці 10.1

Найменування	7 Гільза циліндра	8 Отвір поршневої голівки шатуна	9 Циліндрична частина кулачка розподільного валу	10 Стержень клапана	11 Валик паливного насосу	12 Поверхня шестерні під шейку колінчастого валу
Довірча ймовірність, 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 ^{+0,027}
Вимірювальний розмір $d_{вим.}$, мм	92,06	26,28	33,9	8,97	11,93	39,96
Граничний розмір $d_{гран.}$, мм	92,1	26,32	33,8	8,91	11,86	39,78
Допустимий розмір $d_{доп.}$, мм	92,1	26,32	33,8	8,91	11,86	39,78
Напрацювання t_p , км	55150	83450	95350	75850	58950	99450
Параметр розподілу b	2,5	2,8	3,0	3,2	3,5	2,2

Далі обчислюється середній залишковий ресурс за рівнянням:

$$T_{зал.} = \frac{1}{V_h} (u_{гран.} - u_{вим.}) = \frac{(h - \Delta_{сер.} - h_{гран.}) - (h - \Delta_{сер.} - h_{вим.})}{V_h}. \quad (10.3)$$

Для визначення меж надійності необхідно застосувати значення функції Лапласа $\Phi(t)$ (додаток Д). При цьому довірна ймовірність описується виразом

$$\alpha = P_{\phi} = \alpha(a < t(x) < b) = \frac{1}{2} \left[\Phi \left(\frac{b-t}{\sigma} \right) - \Phi \left(\frac{a-t}{\sigma} \right) \right]. \quad (10.4)$$

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

$\mu = b - t$, $\mu = -(a - t)$, t - гарантійний коефіцієнт. Якщо визначено для розрахунків довірна ймовірність α , та відомо значення коефіцієнту t , то стає можливим визначити функцію $\Phi(t)$, значення якої табульовані (додаток Д).

На підставі визначеного середнього залишкового ресурсу $T_{зал.}$ визначаються надійні його межі (верхня $t_{зал.}^6$ і нижня $t_{зал.}^H$) при $\alpha=0,8$ за формулами для розподілу Вейбула-Гнеденка. Для цього необхідно знати значення середнього квадратичного відхилення σ , параметра розподілу b , деякого середнього значення t_0 (у даному випадку залишкового ресурсу $t_0 = T_{зал.}$).

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

$$\sigma = \sqrt{t_0 \{ \Gamma(1 + 2/b) - [\Gamma(1 - 1/b)]^2 \}}, \quad (10.5)$$

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

Тоді у відповідності до наведених формул (10.4-10.5) значення верхньої та нижньої межі залишкового ресурсу визначаються наступним чином

$$t_{зал.}^6 = t\sigma + T_{зал.}, \quad (10.6)$$

$$t_{зал.}^H = T_{зал.} - t\sigma. \quad (10.7)$$

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

Розв'язання. Середній допуск визначиться як

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

Середня швидкість зношування визначиться як

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

Залишковий ресурс визначиться як

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

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

Надійні межі визначаються як

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

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

11 ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 11

ВИЗНАЧЕННЯ ЗАЛИШКОВОГО РЕСУРСУ ДВИГУНА НА ПІДСТАВІ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ТА ЕКСПЕРТНИХ ОЦІНОК

Мета. Навчитися оцінювати вплив параметрів, які визначають зміну залишкового ресурсу двигуна транспортного засобу, та отримати навички у проведенні відповідних розрахунків.

Загальні положення

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

- за середньостатистичною зміною параметрів;
- за реалізацією (зміною) параметрів;
- евристичне прогнозування.

Суть першого наближеного методу полягає у тому, що прогнозування ведеться за зміною 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, якій прогнозується, у минулому або у теперішній (поточний) момент. За наявності математичної моделі зміни параметру, якій прогнозується, у залежності від експлуатаційних факторів (режими роботи агрегатів, дорожні, транспортні та кліматичні умови), можливо проводити

розрахунки залишкового ресурсу агрегату. Приклад математичної моделі залишкового ресурсу наведено у виразі 11.1 [15].

$$L_{ocm} = k\delta_{ocm} = \frac{0,0087 S_n D_u \rho x_u V_a}{0,5 \cdot 10^{-4} \frac{i_0 i_k V_k}{r_k} - 2,53 \cdot 10^{-7} \frac{i_0^2 i_k^2 V_a^2}{r_k^2} + 5,21 \cdot 10^{-10} \frac{i_0^3 i_k^3 V_a^3}{r_k^3} + \frac{+ 6,5 \cdot 10^{-3} \frac{r_k}{V_h i_0 i_k \eta_{mp}} \left(G_a \psi + \frac{k F V_a^2}{13} \right)}{\delta_{ocm}}, \quad (11.1)$$

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

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

S_n - хід поршня, мм;

D_u - діаметр циліндра, мм;

ρ - щільність матеріалу циліндра, г/мм³;

x_u - кількість циліндрів;

V_a - швидкість автомобіля, км/год;

r_k - радіус колеса, м;

i_0, i_k - передаточні числа головної передачі і коробки передач на відповідній передачі;

η_{mp} - коефіцієнт корисної дії трансмісії;

G_a - вага автомобіля, Н;

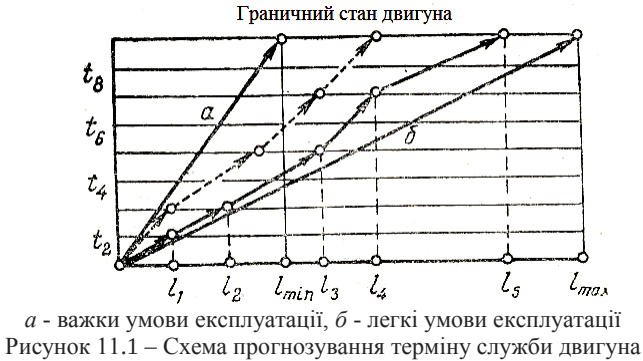
ψ - коефіцієнт опору руху;

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

V_h - об'єм циліндрів двигуна, л.

Точність прогнозування залежить від того, наскільки вірно та точно математична модель описує поведінку об'єкту. 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. 11.1). При цьому пробіг в несприятливих умовах, наприклад до капітального ремонту складе l_{min} , в сприятливих легких умовах - l_{max} . За аналогічною методикою прогножуються 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 ґрунтуються на обліку думок (ерудитії, інтуїції) фахівців (експертів) у даній області технічних знань.

На автотранспортних підприємствах для визначення технічного стану автомобілів та агрегатів наказом (або розпорядженням) створюються спеціальні експертні комісії, які й вирішують питання про необхідність заміни окремих агрегатів та направлення автомобіля до капітального ремонту.

Евристичне прогнозування виключає можливість грубих помилок. Завдяки здатності людського розуму 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 [15].

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

$$L_{cp} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{(L_{i\max} + L_{i\min})}{2}. \quad (11.2)$$

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

$$\sigma_i = \sqrt{\frac{(L_{i\max} - L_{i\min})^2}{12}} \approx 0,29(L_{i\max} - L_{i\min}). \quad (11.3)$$

Середнєквадратичне відхилення для загальної думки усіх експертів визначається виразом:

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (L_{cpi} - L_{cp})^2}, \quad (11.4)$$

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

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

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

Під час проведення заняття виконуються два завдання. На підставі вихідних даних студентом проводяться відповідні розрахунки, при необхідності будуються графічні залежності, та формулюються висновки.

Завдання 11.1. Під час проведення досліджень визначено вид математичної моделі остаточного ресурсу двигуна вантажного автомобіля, на підставі даних, наведених у табл. 11.1, 11.2 [16]:

- 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 залишкового ресурсу.

Таблиця 11.1 – 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
Передавальне число головної передачі i_o	8,173	6,83	7,32	6,59	5,125
Передавальне 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 зручності обтікання автомобіля kF , Н с ² /м ⁻²	0,04	0,027	0,034	0,054	0,008

Таблиця 11.2 – Вихідні данні

Завдання	Варіант				
	1	2	3	4	5
	КрАЗ-260	ГАЗ-66	Урал-4320	МАЗ-6422	УАЗ-3151
Побудувати залежність	$L_{ocm}=f(G_a)$	$L_{ocm}=f(\psi)$	$L_{ocm}=f(G_a)$	$L_{ocm}=f(G_a)$	$L_{ocm}=f(\psi)$
	$L_{ocm}=f(V_a)$	$L_{ocm}=f(V_a)$	$L_{ocm}=f(\psi)$	$L_{ocm}=f(V_a)$	$L_{ocm}=f(V_a)$
	Π^*	Π^*	Π^*	Π^*	Π^*

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

Завдання 11.2. Групою експертів автотранспортного підприємства дана оцінка технічного стану елементу конструкції двигуна. На підставі даних табл. 11.3 визначити прогнозований ресурс, ступінь однотайності та компетентність експертів щодо його прогнозної оцінки. Отримані результати занести у табл. 11.4, зробити відповідні висновки.

Таблиця 11.3 – 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 11.4 – 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

12 ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 12 ВИЗНАЧЕННЯ РЕСУРСУ ДЕТАЛЕЙ З ВИКОРИСТАННЯМ КОРЕЛЯЦІЙНИХ РІВНЯНЬ ДОВГОВІЧНОСТІ

Мета. Ознайомитись з методикою прогнозування ресурсу деталей з використанням кореляційних рівнянь довговічності

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 A4 (A3) у вигляді блоків, пов'язаних між

собою порядком виконання. До графічної частини додається коротка довідка про об'єкт дослідження і титульний лист. У довідці слід відобразити наступне: назва елемента конструкції, його приналежність, загальний вигляд (схема, рисунок), оціночні параметри, спрямованість досліджень.

Опис методики прогнозування

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 [17].

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_{Π} , 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:

$$A_{\Pi} = \beta \sum_{i=1}^m \sum_{k=1}^l \alpha_i \alpha_{ik} n_{ik}^2 \int_a^b S^m f_{ik}^e(S) dS + \\ + (1 - \beta) \sum_{i=1}^m \sum_{k=1}^l \alpha_i \alpha_{ik} n_{ik}^o \int_a^b S^m f_{ik}^o(S) dS, \quad (12.1)$$

де β - коефіцієнт використання пробігу;

α_i - коефіцієнт, що враховує розподіл пробігу автомобіля за типами

$$\text{доріг } \sum_{i=1}^m \alpha_i = 1;$$

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

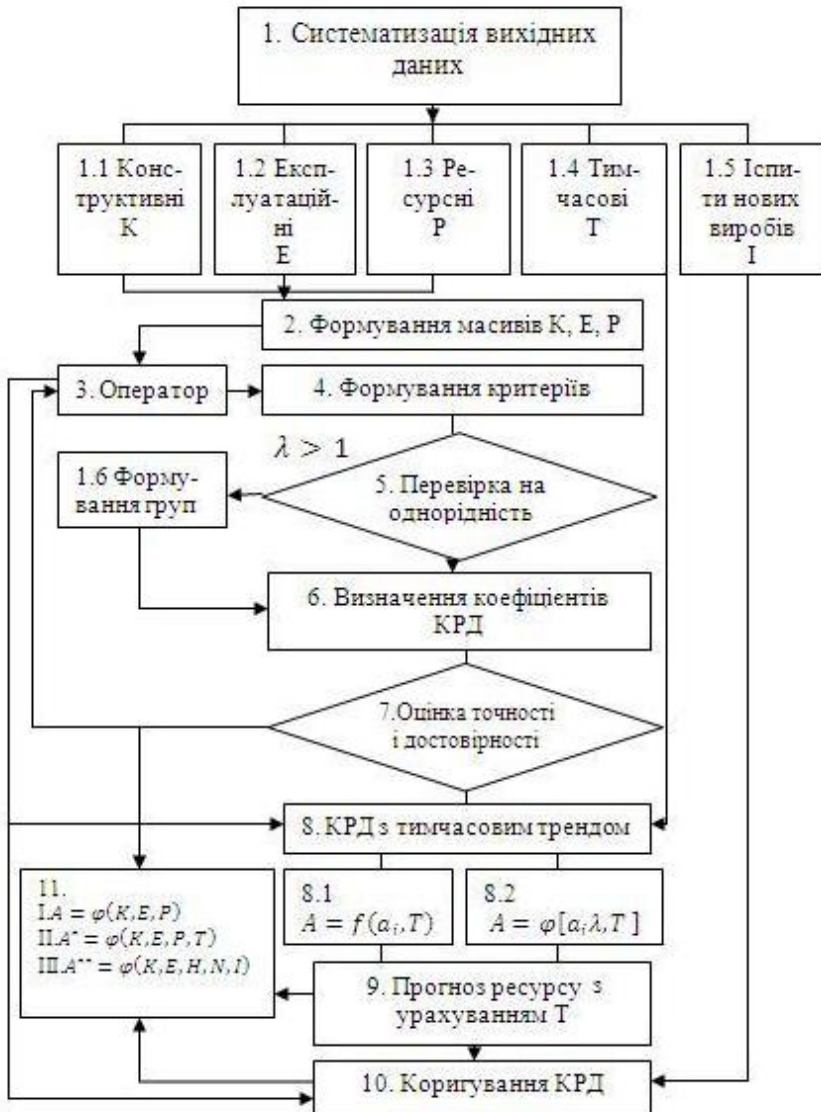
$$\sum_{i=1}^m \alpha_{ik} = 1;$$

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 (12.1) 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. 12.1.



λ - критерій перевірки на однорідність

Рисунок 12.1 - 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:

$$NS^m = N_o S_{-1}^m = const. \quad (12.2)$$

Аналогічна залежність спостерігається і при зносі:

$$A + m_u R = C_n, \quad (12.3)$$

де m_i - швидкість зношування;
 C_n - граничний знос.

Якщо в формулах (12.2), (12.3) 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:

$$A_{\Pi} = a - m \ln N, \quad (12.4)$$

$$A_{\Pi} = A + BR^{-1}, \quad (12.5)$$

тобто гіперболічної (12.5), логарифмічною (12.4) і т.п.

Для знаходження коефіцієнтів рівнянь (12.4), (12.5) 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 (12.4, 12.5) 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 підбраної 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 здійснюється 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 (12.5) маємо:

$$A_{\Pi} = A(T) + B(T)R^{-1}, \quad (12.6)$$

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.

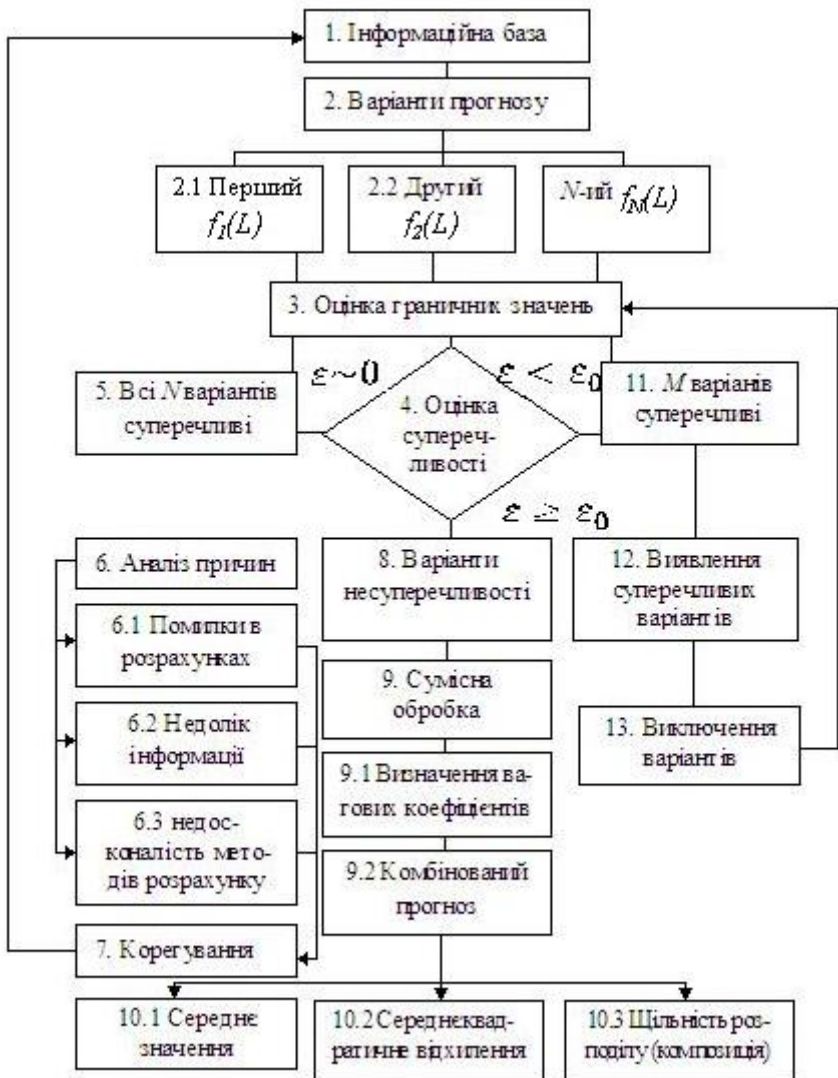
Про синтези прогнозів показників ресурсу деталей

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 загально визнаної 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. 12.2.



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_T , яка в результаті проведеного пошуку була представлена у вигляді:

$$A_T = K_m p N_{\text{ц}} K_T, \quad (12.7)$$

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

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

N_u - число циклів навантаження гільзи за 1 км пробігу автомобіля;
 K_T - коефіцієнт, який відображає теплову напруженість деталі.

Коефіцієнт K_m розраховується за формулою:

$$K_m = \left(1g \frac{\varepsilon_0^t HB_\Gamma^\alpha HB_\kappa^\beta}{HB_\Gamma + HB_\kappa} \right)^{-1}, \quad (12.8)$$

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. 12.1. 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:

$$p_y = \frac{0,125 p_\Gamma D^2}{b(0,5D - t)} + p_R, \quad (12.9)$$

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

Параметр	Гільзи циліндрів		Поршневі кілець	Поршні	
	Д*	К*		Д	К
HV	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 - бензиновий двигун.

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

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

$$p_R = \frac{0,434E(A/t)}{(3 - \xi)(D/t)[(D/t) - 1]^3}, \quad (12.10)$$

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:

$$p_T = 0,8 \cdot (p_e + p_{m,n}), \quad (12.11)$$

де: p_e - середній ефективний 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:

$$p_e = \frac{1,25 r_k 10^{-6}}{V_h \mu_o u_{\kappa,n}^* \eta_T} \sum_{j=1}^n \beta_j \cdot \sum_{i=1}^m \alpha_i \left[k_i P_{kj} + (1 - k_j) \left(G_{Aj} g \overline{\psi}_i + \frac{W v^2 ij}{13} \right) \right], \quad (12.12)$$

де: r_k - радіус колеса, м;

V_h - робочий об'єм циліндрів двигуна, л;

μ_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 $u_{\kappa,n}^*$ визначається за формулою:

$$u_{\kappa,n}^* = 0,6 v_{\max} \left(\sum_j \beta_j \sum_i \alpha_i \overline{v}_{ij} \right)^{-1}, \quad (12.13)$$

де: $v_{\max}$ - максимальна швидкість автомобіля, км/год;

$\overline{v}_{ij}$ - середня швидкість автомобіля в i -х дорожніх умовах при i -й завантаженні, км/год.

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:

$$p_{м.п} = A + BC_{м}, \quad (12.14)$$

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 використається вираз:

$$C_{м} = 0,053 Su_0 u_{к.п}^* v_{\max} / r_k, \quad (12.15)$$

де: S - хід поршня, м.

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

$$N_u = u_0 u_{к.п}^* 10^3 / (4\pi r_k). \quad (12.16)$$

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

$$K_T = \left(\frac{C_M}{C_{M_N}} \right)^{0,5} \left[\frac{632(p_e + p_{м.п})}{p_{e_N} g_{e_N} H_u \eta_i} \right]^{0,88}, \quad (12.17)$$

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

H_u - теплотворна здатність палива;

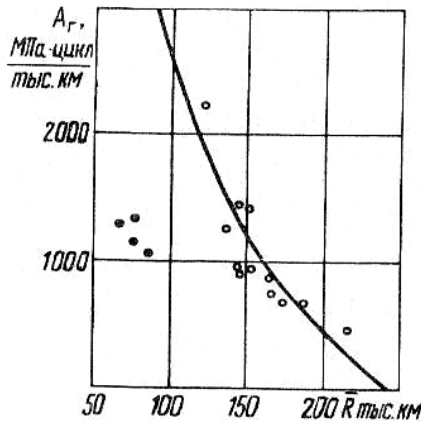
η_i - індикаторний ККД, якій для бензинових двигунів дорівнює $\eta_i = 0,31$, для дизельних двигунів $\eta_i = 0,45$

З урахуванням вищевикладеного розмірність критерію A_T визначається p і N_u та 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. 12.3):

$$A_T = -1744 + 439 \cdot 10^3 / \bar{R}, \quad (12.18)$$

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



● - двигуни першої групи; ○ - двигуни другої групи

Рисунок 12.3 – Кореляційне рівняння довговічності гільз циліндрів

Середньоквадратичне відхилення $\sigma_T = 270$ 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_T були використані для побудови прогнозного тренда гільз циліндрів:

$$A_T = -1744 + \frac{439 \cdot 10^3}{\bar{R} - \lambda(T - 2005)}, \quad 1995 < T < 2015, \quad (12.19)$$

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. 12.1, при цьому параметри: $G_{ag} = 255 \text{ кН}$; $G_{a0} = 121 \text{ кН}$, $\eta = 0.63$.

Таблиця 12.1 – Вихідні дані для розрахунку критеріїв навантаженості деталей двигуна підконтрольної партії автомобілів КамАЗ

Дорожні умови	α_i	$v_{ij}(v_{ij}^0)^*$, км/ч	$\overline{\psi_i}$	$u_k(u_k^0)^{**}$	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.

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

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

При $v_{\max} = 100 \text{ км/год.}$ середньозважене значення передавального числа коробки передач з виразу (12.13) склало $u_{k.p}^* = 1,69$. Середня швидкість поршня при $S = 0,12 \text{ м}$, $u_0 = 5,94$ і

$r_k = 0,454$ м склало $C_m = 8,33$ м/с. Тиск механічних втрат відповідно до формули (12.14) склав:

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

Середньоефективний тиск відповідно до формули (12.12) при $V_h = 10,65$ л, $\eta_T = 0,9$, $W = 4,1 \text{ Н(с/м)}^2$ і даних табл. 12.1 склало $p_e = 0,392$ МПа.

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

$$p = 0,234 + \frac{0,1 \cdot 1,2^2}{0,03(0,5 \cdot 1,2 - 0,05)} (0,392 + 0,275) = 6,05 \text{ МПа}.$$

Число циклів навантаження гільз за 1 км пробігу відповідно до формули (12.16) склало $N_u = 1760$. Коефіцієнт теплової напруженості (при $C_{mN} = 12,4$ м/с, $p_{eN} = 0,66$ МПа, $g_{eN} = 0,175$ г/л.с.ч та $H_u = 10500$ ккал/кг) склав $k = 0,653$.

Таким чином, критерій довговічності $A_r = 1056$ МПа·цикл.

Середній прогнозний ресурс гільз циліндрів (12.19) до першої відмови:

$$\bar{R}_r = 6(1976 - 1970) + \frac{439 \cdot 10^3}{1744 - 1035} = 193 \text{ тис.км}.$$

Середнє квадратичного відхилення ресурсу σ_r склало:

$$\sigma_r = 12 + 0,26 \bar{R}_r = 62 \text{ тис.км}.$$

РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Канарчук В.Е. та ін. Надійність машин. - Київ: Либідь, 2003.
2. Абрамчук Ф.І. та ін. Двигуни внутрішнього згорання. 6 том. Надійність машин. - Київ: Либідь, 2005.
3. Гурвич И.Б. Эксплуатационная надежность автомобильных двигунів. /И.Б. Гуревич/ - М.: Транспорт, 1984.
4. Авдоськин Ф.Н. Теоритические основы технической эксплуатации автомобилей. /Ф.Н. Авдоськин/ - М.: Транспорт, 1985.
5. Крамаренко Г.В. Техническая эксплуатация. /Г.В. Крамаренко/ - М.: Транспорт, 1983.
6. Острейковский В.А. Теория надежности. /В.А. Острейковский/ - М.: Высшая школа, 2003.
7. Пронников А.С. Параметрическая надежность. /А.С. Пронников/ - М.: Изд. им. Баумана, 2002.
8. Кугель Р.В. Надежность машин массового производства. - М.: Машиностроение, 1981.
9. ДСТУ 2860-94. Терміни та визначення.
10. ДСТУ 2861 -94. Основні положення аналізу надійності.
11. ДСТУ 2862 - 94. Методи розрахунку показників надійності.
12. ДСТУ 3433-96. Моделі відмов.
13. Надійність сільськогосподарської техніки: Підручник. Друге видання, Н17 перероблене і доповнене /М.І. Черновол, В.Ю. Черкну, В.В. Аулін та ін./ За ред. М.І. Чорновола. - Кіровоград: КОД, 2010. - 320 с.
14. Грушко И.М. Основы научных исследований. /И.М. Глушко. - Харьков: Вища школа, 1983.-224 с.
15. Говорущенко Н.Я. Техническая эксплуатация автомобилей. - Харьков: Вища школа. Из-во при Харьк. ун-те, 1984. - 312 с.
16. Краткий автомобильный справочник. — 10-е., перераб. и доп.-М.: Транспорт, 1983. - 220 с.
17. Лукинский В.С. Прогнозирование надежности автомобилей. / В.С. Лукинский, Е.И. Зайцев // - Л.: Политехника, 1991. - 224 с.

Додаток А

Вихідні дані для завдань занять № 4, 8, 9

Таблиця А.1 - Вихідні дані для завдання заняття № 4

В	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
$x_{\text{сеп}}$	105	100	110	105	110	90	95	115	110	125	125	95	100	110	115	105	80	120	170	145	130	140	125
σ	45	27	30	42	28	32	25	36	33	32	28	26	31	23	35	32	28	36	45	39	32	40	35
x_1	65	60	75	65	75	55	75	85	90	75	55	45	55	80	75	50	75	85	140	95	100	125	75
x_2	75	65	80	70	85	65	80	95	95	85	75	55	70	90	85	70	85	90	160	100	135	145	90
x_3	85	80	85	75	95	70	85	100	100	90	95	65	80	95	100	85	90	130	190	140	160	170	110
x_4	95	90	95	80	100	85	90	105	105	110	100	75	85	105	105	90	95	150	200	160	200	220	130

Таблиця А.2 - Вихідні дані для завдання заняття № 4

В	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
$x_{\text{сеп}}$	105	100	110	105	110	90	95	115	110	125	125	95	100	110	115	105	105	110	90	95	115	110	125
σ	35	32	34	25	26	30	35	36	33	40	32	28	32	26	32	42	35	28	26	31	15	34	28
x_1	60	50	55	45	65	50	50	70	65	75	45	30	40	70	45	40	45	65	50	50	70	65	75
x_2	65	55	60	50	70	55	55	75	70	80	55	35	45	80	55	45	50	70	55	55	75	70	80
x_3	70	60	65	55	75	60	60	80	75	85	65	45	50	75	65	50	55	75	60	60	80	75	85
x_4	75	65	70	60	80	65	65	85	80	90	70	55	55	80	70	55	60	80	65	65	85	80	90
x_5	80	70	80	65	85	70	70	90	85	95	75	60	60	85	80	60	65	85	70	70	90	85	95
x_6	85	75	85	70	90	75	75	95	90	100	80	65	70	90	85	70	70	90	75	75	95	90	100
x_7	90	80	90	75	95	85	80	100	95	105	90	70	75	100	95	80	75	95	85	80	100	95	105
x_8	95	85	95	80	100	90	90	110	105	110	100	75	85	105	105	90	80	100	90	110	110	105	110

Таблиця А.3 - Вихідні дані для завдання заняття № 4

В	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
$x_{\text{сеп}}$	160	170	185	160	175	165	170	160	165	188	173	182	166	170	163	174	182	178	190	160	175	162	164
σ	43	48	32	41	42	39	34	40	42	43	32	38	31	32	33	29	32	31	42	38	34	26	22
η'	0.8	0.7	0.9	0.8	0.8	0.6	0.7	0.8	0.9	0.6	0.8	0.6	0.8	0.9	0.7	0.6	0.9	0.8	0.8	0.6	0.7	0.8	0.9
x_1	140	155	135	138	120	125	130	120	160	125	130	110	160	130	180	140	135	138	120	125	130	120	160
x_2	190	180	185	160	180	190	180	185	200	180	190	150	200	160	220	210	185	165	185	190	180	185	210
x_3	240	240	220	200	240	260	240	255	250	235	260	190	240	220	265	275	220	200	245	260	240	255	250
x_4	285	260	295	250	280	300	290	310	300	290	320	240	280	280	320	315	295	255	280	300	290	310	310

Таблиця А.4 - Вихідні дані для завдання заняття № 8

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

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

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

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

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

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

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

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

Номер варіанту	Експериментальні дані															
11	Номера відмов			Наробітки двигунів, мото-год												
				№ 1			№ 2			№ 3			№ 4		№ 5	
	1	11	21	150	40	680	50	370	90	120	70	30	530	90	370	320
	2	12	22	310	140	450	520	160	20	50	190	410	330	380	510	170
	3	13	23	130	20	130	460	50	180	30	130	160	720	100	330	60
	4	14	24	170	70	310	120	190	330	340	400	310	30	710	10	180
	5	15	25	120	750	680	150	460	290	270	410	240	270	190	170	410
	6	16	26	80	150	730	270	760	120	810	570	510	280	20	860	560
	7	17	27	110	440	500	240	320	90	430	540	380	40	330	210	100
	8	18	26	710	370	520	510	130	530	90	110	400	520	630	50	690
	9	19	28	260	120		220	430	700	120	270		810	400		720
	10	20		70	320		40	810		640	70		40	170		
12	Номера відмов			Наробітки двигунів, мото-год												
				№ 1			№ 2			№ 3			№ 4		№ 5	
	1	11	21	220	30	430	70	320	70	120	50	10	630	80	370	320
	2	12	22	300	110	450	570	160	20	50	190	410	410	390	510	170
	3	13	23	120	20	140	430	50	390	30	130	160	720	100	330	60
	4	14	24	170	70	310	140	210	290	340	400	310	30	710	10	180
	5	15	25	140	830	680	110	450	610	270	410	170	260	190	170	410
	6	16	26	50	160	740	240	720	550	810	570	620	280	20	860	560
	7	17	27	110	340	300	240	320	570	430	540	90	40	330	210	100
	8	18	28	730	310	230	520	130		90	110	180	520	140	50	700
	9	19		260	120		220	460		120	270		810	400	420	520
	10	20		50	320		30	820		640	70		40	150	440	

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

Номер варіанту			Експериментальні дані													
15	Номера відмов			Наробітки двигунів, мото-год.												
				№ 1			№ 2			№ 3			№ 4		№ 5	
	1	11	21	200	90	630	10	370	90	120	50	10	530	80	370	320
	2	12	22	300	110	450	570	160	20	50	190	410	310	390	510	170
	3	13	23	120	20	140	430	50	390	30	130	160	720	100	330	60
	4	14	24	170	70	310	120	200	270	340	400	310	30	710	10	180
	5	15	25	140	830	680	110	450	610	270	410	170	260	190	170	410
	6	16	26	50	160	740	240	720		810	570	620	280	20	860	560
	7	17	27	110	340	300	240	320		430	540	90	40	330	210	100
	8	18	28	730	310	230	520	130		90	110	180	520	630	50	700
	9	19		260	120		220	460		120	270		810	400	420	440
	10	20		50	320		30	820		640	70		40	150	440	310
16	Номера відмов			Наробітки двигунів, мото-год.												
				№ 1			№ 2			№ 3			№ 4		№ 5	
	1	11	21	190	80	640	20	370	90	120	60	10	530	90	370	320
	2	12	22	310	140	450	520	160	20	50	190	410	310	390	510	170
	3	13	23	130	20	130	460	50	180	30	130	160	720	100	330	60
	4	14	24	170	70	310	120	190		340	400	310	30	710	10	180
	5	15	25	120	850	680	150	460		270	410	240	260	190	170	410
	6	16	26	60	150	730	270	760		810	570		280	20	860	560
	7	17	27	110	440	500	240	320		430	540		40	330	210	100
	8	18		710	370		510	130		90	110		520	630	50	690
	9	19		260	120		220	430		120	270		810	400	420	
	10	20		70	320		40	810		640	70		40	170	440	

Таблиця А.5 - Вихідні дані для заняття № 9

Варіант	Найменування елемента ДВЗ		$R(t)$	t_o	A_f , 1/год.
1	КШМ	СМД	0.8	340	xxx
2	ГРМ	ЯМЗ	0.6	xxx	$5.1 \cdot 10^{-4}$
3	СО	ЗМЗ/8	0.7	390	xxx
4	СЗ	ЗІЛ	0.6	xxx	$1.3 \cdot 10^{-4}$
5	СЖП	ЯМЗ	0.8	260	xxx
6	КШМ	ЯМЗ	0.7	xxx	$7.2 \cdot 10^{-4}$
7	ГРМ	СМД	0.6	300	xxx
8	СО	ЗМЗ	0.5	xxx	$1.5 \cdot 10^{-4}$
9	СЗ	ЗІЛ	0.7	350	xxx
10	СЖП	ЗМЗ/4	0.6	xxx	$4.5 \cdot 10^{-4}$
11	КШМ	ЗІЛ	0.5	300	xxx
12	ГРМ	КамАЗ	0.7	xxx	$5.5 \cdot 10^{-4}$
13	СО	СМД	0.8	330	xxx
14	СЗ	ЯМЗ	0.5	xxx	$1.2 \cdot 10^{-4}$
15	СЖП	ЗМЗ/8	0.6	350	xxx
16	КШМ	ЗІЛ	0.7	xxx	$8.0 \cdot 10^{-4}$
17	СЗ	ЗІЛ	0.6	xxx	$1.2 \cdot 10^{-4}$
18	СЖП	ЯМЗ	0.8	270	xxx
19	КШМ	КамАЗ	0.7	xxx	$7.3 \cdot 10^{-4}$
20	ГРМ	СМД	0.6	310	xxx
21	СО	ЗМЗ/4	0.5	xxx	$1.4 \cdot 10^{-4}$
22	СЗ	ЗІЛ	0.7	340	xxx
23	СЖП	КамАЗ	0.6	xxx	$4.3 \cdot 10^{-4}$

Примітка. Модифікацію двигуна вибрати самостійно з існуючого модельного ряду, зробити посилання на літературу.

Умовні позначення:

КШМ - кривошипно-шатунний механізм, ГРМ - газорозподільний механізм, СО - система охолодження, СЗ - система змащування, СЖТ - система живлення паливом, ЗМЗ/4 - чотирициліндровий, ЗМЗ/8 - восьмициліндровий.

Додаток Б

Значення нормованої функції розподілення $F_0(z)$

Z		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0,0	0,	5000	5040	5080	5120	5160	5199	5239	5279	5319	5359
0,1	0,	5398	5438	5478	5517	5557	5596	5636	5675	5714	5753
0,2	0,	5793	5832	5871	5910	5948	5987	6026	6064	6103	6141
0,3	0,	6179	6217	6255	6293	6331	6368	6406	6443	6480	6517
0,4	0,	6554	6594	6628	6664	6700	6736	6772	6808	6844	6879
0,5	0,	6915	6950	6985	7019	7054	7088	7123	7157	7190	7224
0,6	0,	7257	7291	7324	7357	7389	7422	7454	7486	7517	7549
0,7	0,	7580	7611	7642	7673	7704	7734	7764	7794	7823	7852
0,8	0,	7881	7910	7989	7967	7995	8023	8051	8078	8106	8133
0,9	0,	8159	8186	8238	8212	8264	8389	8315	8340	8365	8389
1,0	0,	8413	8438	8461	8485	8508	8531	8554	8577	8599	8621
1,1	0,	8643	8665	8686	8708	8728	8749	8770	8790	8810	8830
1,2	0,	8849	8869	8888	8907	8925	8944	8962	8980	8997	9015
1,3	0,9	0320	0490	0658	0824	0988	1149	1308	1466	1621	1774
1,4	0,9	1924	2073	2220	2364	2507	2647	2785	2922	3056	3189
1,5	0,9	3319	3448	3574	3699	3822	3943	4062	4179	4295	4408
1,6	0,9	4520	4630	4738	4855	4950	5053	5154	5254	5352	5449
1,7	0,9	5543	5637	5738	5818	5907	5994	6080	6164	6246	6327
1,8	0,9	6407	6485	6562	6637	6712	6784	6856	6926	6995	7062
1,9	0,9	7128	7193	7257	7320	7381	7441	7500	7588	7615	7670
2,0	0,9	7725	7778	7831	7882	7932	7982	8030	8087	8124	8169
2,1	0,9	8214	8257	8300	8341	8382	8422	8461	8500	8537	8574
2,2	0,9	8610	8645	8679	8713	8745	8778	8809	8840	8870	8899
2,3	0,9	8928	8956	8983	9010	9036	9061	9086	9111	9143	9158
2,4	0,99	1802	2024	2240	2451	2656	2857	3053	3244	3431	3613
2,5	0,99	3790	3963	4132	4297	4457	4614	4766	4915	5060	5201
2,6	0,99	5339	5473	5603	5731	5855	5975	6093	6207	6319	6427
2,7	0,99	6533	6636	6736	6833	6928	7020	7110	7197	7282	7365
2,8	0,99	7445	7523	7599	7673	7744	7811	7882	7948	8012	8074
2,9	0,99	8134	8193	8250	8305	8359	8411	8462	8511	8559	8605
3,0	0,99	8650	8694	8736	8777	8817	8856	8893	8900	8965	8999
3,1	0,9 ³	0342	0646	0957	1260	1553	1836	2112	2378	2636	2886
3,2	0,9 ³	3129	3363	3590	3810	4022	4230	4429	4623	4810	4991
3,3	0,9 ³	5166	5335	5499	5658	5811	5959	6103	6242	6376	6505
3,4	0,9 ³	6631	6752	6869	6982	7091	7191	7299	7398	7493	7585
3,5	0,9 ³	7674	7760	7842	7922	7999	8074	8146	8215	8282	8347
3,6	0,9 ³	8409	8469	8527	8583	8637	8689	8739	8787	8834	8879
3,7	0,9 ³	8922	8964	9004	9043	9080	9116	9150	9184	9216	9247
3,8	0,9 ⁴	2765	3052	3327	3593	3848	4094	4331	4558	4777	4988
3,9	0,9 ⁴	5190	5385	5573	5753	5926	6092	6252	6406	6554	6696
4,0	0,9 ⁴	6833	6964	7090	7211	7327	7439	7546	7649	7748	7843

Додаток В

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

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

z		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0,0	0,	3989	3989	3988	3988	3986	3984	3982	3980	3977	3973
0,1	0,	3970	3965	3961	3956	3951	3945	3939	3932	3925	3918
0,2	0,	3910	3902	3894	3885	3876	3867	3857	3847	3836	3825
0,3	0,	3814	3802	3790	3778	3765	3752	3739	3725	3712	3697
0,4	0,	3683	3608	3653	3637	3621	3605	3589	3572	3555	3538
0,5	0,	3521	3503	3485	3467	3448	3429	3410	3391	3372	3352
0,6	0,	3332	3312	3292	3271	3251	3230	3209	3187	3166	3144
0,7	0,	3123	3101	3079	3056	3034	3011	2989	2966	2943	2920
0,8	0,	2897	2874	2850	2827	2803	2780	2756	2732	2709	2685
0,9	0,	2661	2637	2613	2589	2565	2541	2516	2492	2468	2444
1,0	0,	2420	2396	2371	2347	2323	2299	2275	2251	2227	2203
1,1	0,	2179	2155	2131	2107	2083	2059	2036	2012	1989	1965
1,2	0,	1942	1919	1895	1872	1849	1826	1804	1781	1758	1736
1,3	0,	1714	1691	1669	1647	1626	1604	1582	1561	1539	1518
1,4	0,	1497	1476	1456	1435	1415	1394	1374	1354	1334	1315
1,5	0,	1295	1276	1257	1238	1219	1200	1182	1163	1145	1127
1,6	0,	1109	1092	1074	1057	1040	1023	1006	0989	0973	0957
1,7	0,0	9405	9246	9089	8933	8780	8628	8478	8329	8183	8036
1,8	0,0	7895	7754	7614	7477	7341	7206	7074	6943	6814	6687
1,9	0,0	6562	6438	6316	6195	6077	5959	5844	5730	5618	5508
2,0	0,0	5399	5292	5186	5082	4980	4879	4780	4682	4586	4491
2,1	0,0	4398	4307	4217	4128	4041	3955	3871	3788	3706	3626
2,2	0,0	3547	3470	3394	3319	3246	3174	3103	3034	2965	2898
2,3	0,0	2833	2768	2705	2643	2582	2522	2463	2406	2349	2294
2,4	0,0	2239	2186	2134	2083	2033	1984	1936	1888	1842	1797
2,5	0,0	1753	1709	1657	1625	1585	1545	1506	1468	1431	1394
2,6	0,0	1358	1324	1289	1256	1223	1191	1160	1130	1100	1071
2,7	0,0	1042	1014	0987	0961	0935	0908	0885	0867	0837	0814
2,8	0,00	7915	7696	7483	7274	7071	6873	6679	6491	6307	6127
2,9	0,00	5952	5782	5616	5454	5296	5143	4993	4847	4705	4567
3,0	0,00	4482	4301	4173	4046	3928	3810	3695	3584	3475	3370
3,	0,00	4432	3257	2384	1723	1232	0873	0612	0425	0292	0199
4,	0,00	1338	0893	0589	0385	0249	0160	0101	0064	0040	0024
5,	0,00	1487	0897	0536	0317	0186	0108	0062	0035	0020	0011

Додаток Г

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 Д

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