1. Вивчення закономірностей випадкових процесів зміни технічного стану автомобілів (закономірностей другого виду)

1.1. *Теоретичні відомості*

Під впливом умов експлуатації, кваліфікації персоналу, неоднорідності самих виробів та їх початкового стану, інших факторів, інтенсивність і характер зміни параметра технічного стану у різних автомобілів буде різним. Тому, якщо зафіксувати значення параметра на рівні $y_д$, то моменти досягнення того стану (ресурсу) l_p у різних виробів буде різним, тобто напрацювання на відмову буде випадковою величиною і буде мати варіацію. В зв'язку з цим виникає питання, як встановити момент контролю і обслуговування виробів? Якщо зафіксувати певне напрацювання до моменту контролю і обслуговування автомобілів l_0, то неминуча варіація показника його технічного стану, і як наслідок варіація трудомісткості і тривалості виконання робіт з відновлення технічного стану.

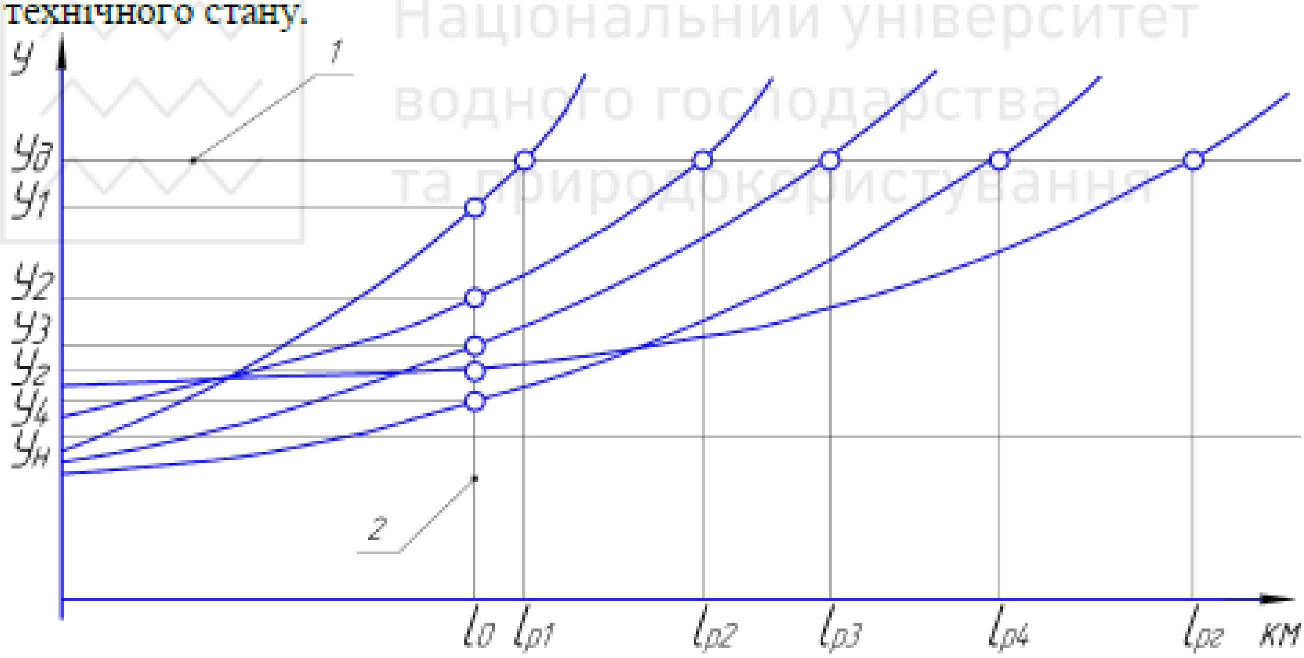

Рис. 1. Варіація ресурсу і технічного стану

1 – перетин випадкового процесу по параметру *y;*

2 – те ж саме, по напрацюванню *l;*

$y_н$, $y_г$, $y_д$ – значення параметра, відповідно номінального, граничного, допустимого.

Вирішення цього питання значно залежить від варіації випадкової величини. Характеристикою випадкової величини x за n реалізацій служать:

- середнє значення

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + \ldots + x_n}{n} = \frac{\sum_{i=1}^{n} x_i}{n}$$

- середньоквадратичне відхилення

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} +$$

- дисперсія $D = \sigma^2$
- коефіцієнт варіації $V_x = \sigma / \bar{x}$

Характеристикою випадкової величини є щільність імовірності (наприклад, імовірність відмов) $f(x)$ - функція, яка характеризує імовірність відмови за малу одиницю часу при роботі вузла, агрегату, деталі без заміни. Якщо імовірність відмови за напрацювання x рівна: $F(x) = m(x)/n$, то диференціюючи при $n = const$, отримаємо щільність імовірності відмови:

$$f(x) = \frac{1}{n} \cdot \frac{dm}{dx},$$

де $\frac{dm}{dx}$ — елементарна швидкість, з якою в будь-який момент часу проходить приріст;

$m(x)$ — числа відмов при роботі деталі, агрегату без заміни.

Так як $f(x) = F'(x)$, то $F(x) = \int_{-\infty}^{x} f(x)dx$

Тому $F(x)$ називають інтегральною функцією розподілу, а $f(x)$ - диференціальною функцією розподілу (рис.2)

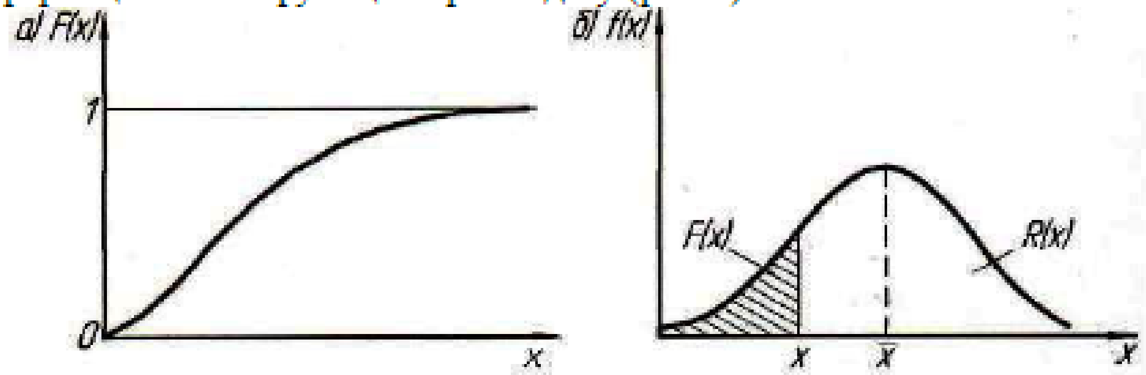

Рис.2. Інтегральна (а) і диференціальна (б) функція розподілу
$F(x)$ – імовірність відмови; $f(x)$ – щільність імовірності відмови;

Важливою характеристикою випадкової величини служить імовірність - чисельна міра ступені об'єктивно існуючої можливості появи події, яка вивчається. Статистична імовірність події представляє собою відношення числа випадків, що відбулися, до загального числа випадків n.

Імовірність безвідмовної роботи $R(x)$ визначається відношенням числа випадків безвідмовної роботи виробу за напрацювання x до загального числа випадків, тобто:

$$R(x) = \frac{n - m(x)}{n} = 1 - \frac{m(x)}{n},$$

де $m(x)$ - число виробів, що відмовили до моменту напрацювання x.

Імовірність відмови $F(x)$ є подією, протилежною імовірності безвідмовної роботи, тому:

$$F(x) = 1 - R(x) = \frac{m(x)}{n}$$

Так як $\int_{-\infty}^{\infty} f(x)dx = 1$, а $R(x) = 1 - F(x)$, то $R(x) = \int_{x}^{\infty} f(x)dx$

Наявність значень $F(x)$ або $f(x)$, дає можливість провести оцінку надійності і визначити середнє напрацювання на відмову:

$$\overline{x} = \int_{-\infty}^{\infty} xf(x)dx$$

Диференціальна функція розподілу $f(x)$ називають також законом розподілу випадкової величини. Знання законів розподілу випадкових величин дозволяє більш точно планувати моменти проведення і трудомісткість робіт ТО і Р, визначити необхідну кількість запчастин, вирішувати інші технологічні та організаційні питання.

Для процесів ТЕА найбільш характерні наступні закони розподілу: нормальний закон розподілу, закон розподілу Вейбулла-Гніденко, логарифмічно нормальний закон розподілу і експоненціальний закон розподілу.

1.2. *Практичне застосування*

Задача 1.

Визначити характеристики випадкової величини x (напрацювання на відмову) за n-реалізацій

1. Середнє напрацювання на відмову:

$x_1 = 5$ *тис.км* $x_4 = 3{,}1$ *тис.км*

$x_2 = 7{,}2$ *тис.км* $x_5 = 8{,}0$ *тис.км*

$x_3 = 4{,}7$ *тис.км* $x_6 = 6{,}7$ *тис.км*

$$\bar{x} = \frac{(5+7{,}2+4{,}7+3{,}1+8{,}0+6{,}7)\cdot 10^3}{6} = \frac{34{,}7}{6} = 5{,}78 \text{ тис.км}$$

2. Середньоквадратичне відхилення

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i-\bar{x})^2}{n-1}}$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{(5-5{,}78)^2+(7{,}2-5{,}78)^2+(4{,}7-5{,}78)^2+(3{,}1-5{,}78)^2+(8-5{,}78)^2+(6{,}7-5{,}78)^2}{6-1}}$$

$= 1830$ *км*

3. Дисперсія $D = \sigma^2 = 1830^2 = 3348900$ $км^2$

4. Коефіцієнт варіації $V_x = {}^{1830}\!/_{5780} = 0{,}32$

Задача 2.

На практиці, знаючи $f(x)$, оцінюють можливе число відмов $m(x)$, яке може виникнути за порівняно невеликий інтервал напрацювання $\Delta x = x_1 - x_2$. Для цього значення $f(x_1)$ множать на число виробів n і величину інтервалу Δx.

$$m(x_1 - x_2) = f(x_1)\cdot n(x_1 - x_2)$$

Наприклад, при n = 75, $f(x)$ = 0,02 тис.км$^{-1}$ і Δx = 2 тис. км отримаємо $m(x_1 - x_2) = 0{,}02\cdot 75\cdot 2 \cong 3$ відмови, тобто при експлуатації 75 невідновлювальних виробів (або відновлюваних виробів до першої відмови) є основа оцінювати в інтервалі напрацювання $x_1 - x_2$ появи трьох відмов і підготовитися відповідним чином до їх усунення.

Множенням значення щільності імовірності відмови $f(x_1)$ на величину інтервалу напрацювання, можна отримати оцінку імовірності відмови виробів в даному інтервалі.

Імовірність $P(x_1 < x < x_2) \cong f(x_1)\cdot \Delta x = 0{,}02\cdot 2 = 0{,}04$. Графічно ця величина визначається площею під кривою диференціальної функції розподілу з основою $\Delta x = x_1 - x_2$ (див. рис. 2).

Задача 3.

Визначити імовірність безвідмовної роботи *R(x)* і імовірність відмови *F(x)* автомобіля з початку періоду експлуатації до пробігу в 21тис.км $0 \leq x \leq 21$тис.км з інтервалом $\Delta x = 3$, і кількістю відмов в кожному інтервалі *m(x)* (табл.1). Імовірності *R(x)* і *F(x)* показати в графічній формі.

Таблиця 1.

Розрахунок імовірності безвідмовної роботи *R* і відмови *F*

Інтервал, тис. км	Кількість відмов в інтервалі Δx	$m(x)$	$R(x)$	$F(x)$
$0 \leq x_1 \leq 3$	0	0	1	0
$3 < x_2 \leq 6$	1	1	0,95	0,05
$6 < x_3 \leq 9$	2	3	0,85	0,15
$9 < x_4 \leq 12$	3	6	0,7	0,3
$12 < x_5 \leq 15$	6	12	0,4	0,6
$15 < x_6 \leq 18$	4	16	0,2	0,8
$18 < x_7 \leq 21$	4	20	0	1,0

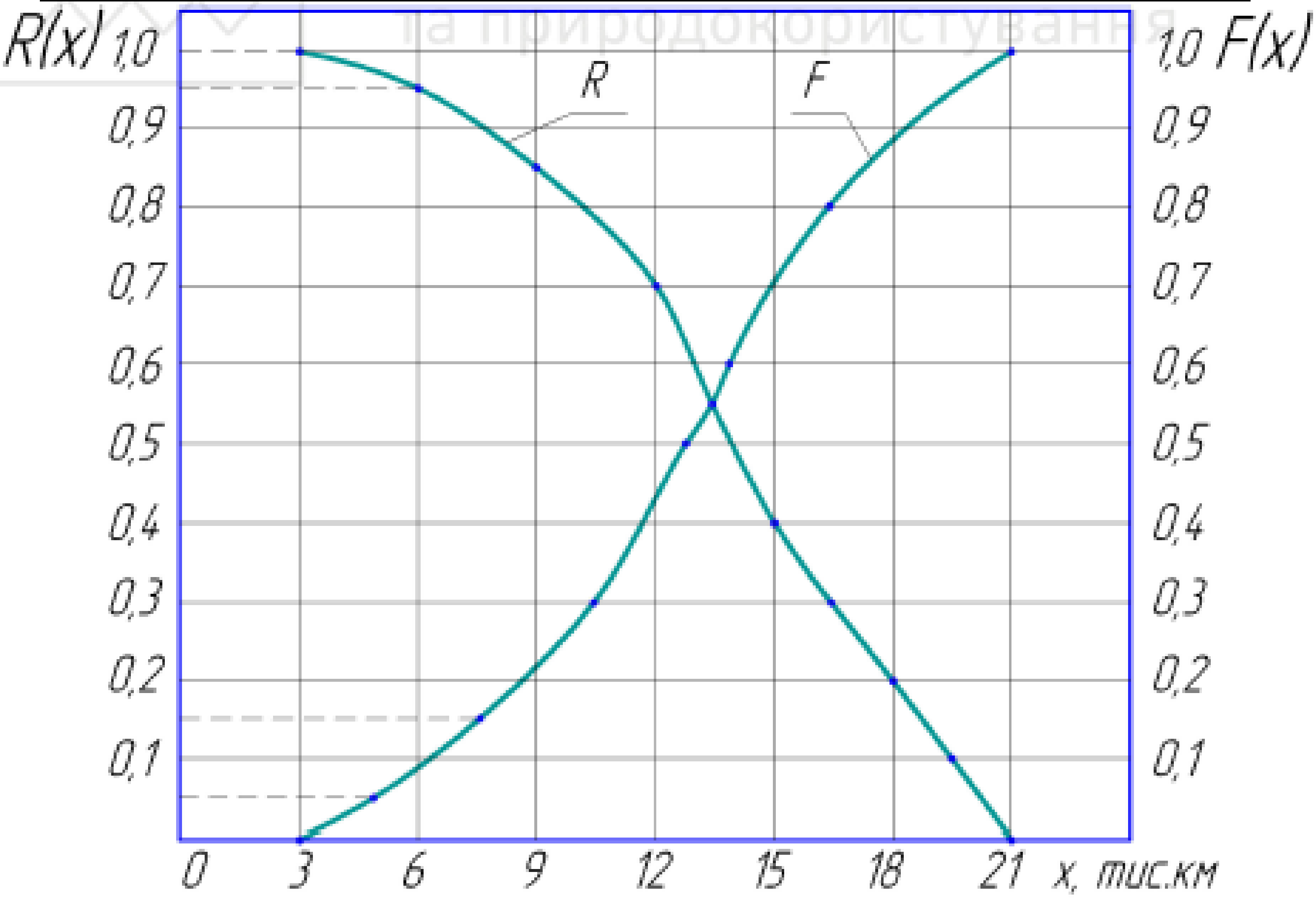

Рис.3. Імовірність безвідмовної роботи ***R*** *і відмови* ***F***