

Міністерство освіти і науки України  
Національний технічний університет  
«Харківський політехнічний інститут»

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ  
до лабораторної роботи  
«Обробка експериментальних даних з надійності двигуна»  
з дисципліни «Надійність ДВЗ».

Для студентів спеціальності 7.090210  
«Двигуни внутрішнього згорання»

Харків 2009



Міністерство освіти і науки України  
Національний технічний університет  
«Харківський політехнічний інститут»

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ  
до лабораторної роботи  
«Обробка експериментальних даних з надійності двигуна»  
з дисципліни «Надійність ДВЗ».

Для студентів спеціальності 7.090210  
«Двигуни внутрішнього згорання»

Затверджено  
редакційно-видавничою  
радою університету,  
протокол № від .12.09.

Харків 2009

Методичні вказівки до лабораторної роботи «Обробка експериментальних даних з надійності двигуна» з дисципліни «Надійність ДВЗ» для студентів спеціальності 7.090210 «Двигуни внутрішнього згорання». Упор. О.Ю. Ліньков, М.В. Прокопенко. -Харків, НТУ «ХПІ», 2009. -41с.

Укладачі: О.Ю. ЛІНЬКОВ,  
М.В. ПРОКОПЕНКО

Рецензент: Триньов О.В.

Кафедра двигунів внутрішнього згорання

## ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ

Питання надійності є одним з найбільш важливих у двигунобудуванні. Кафедрою двигунів внутрішнього згоряння завжди приділялась значна увага цьому питанню. Великий вклад у розробку сучасних методик оцінки надійності двигунів внесено Заслуженим діячем науки УРСР, лауреатом Нагороди Ярослава Мудрого Академії наук Вищої школи України, академіком академії наук Вищої Школи України, лауреатом державної премії 2008 року, професором, доктором технічних наук, завідувачем кафедри з 1970 по 2001 рік Шеховцовим Анатолієм Федоровичем.

При аналізі рівня надійності двигунів внутрішнього згоряння важливе місце займає оцінка їх експлуатаційної безвідмовності як властивості, що визначає ефективність використання силових установок із ДВЗ.

Результати будуть достовірними, якщо для такої оцінки використовується інформація про наробітки двигунів досліджуваної партії до постановок їх на капітальні ремонти, тобто за повний термін служби кожного двигуна. Потрібно також досить представницька вибірка (обсяг партії) досліджуваних двигунів. При цих умовах є можливість застосувати статистичний підхід при оцінці безвідмовності кожного двигуна й партії в цілому.

На практиці використовують статистичну обробку експериментальних даних про ресурсні випробування двигунів з метою відшукування числових значень основних показників безвідмовності на етапі технічного проектування, тобто для попередньої оцінки рівня надійності ДВЗ. При цьому вибірка звичайно не перевищує 5÷10 дослідних зразків двигунів, тому така попередня оцінка можлива й при ручному рахунку.

Остаточні судження про рівень надійності двигунів, що випускають, природно, можуть бути висловлені лише за результатами аналізу даних про експлуатаційні відмови значно більш представницьких партій двигунів, шляхом математичного моделювання за допомогою ПЕОМ характеристик безвідмовності на основі виявлення теоретичного закону розподілу цих даних.

У даній лабораторній роботі вивчається методика попередньої оцінки безвідмовності ДВЗ.

## ОБРОБКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДАНИХ ПО НАДІЙНОСТІ ДВЗ

### 1. Мета заняття

Вивчення методики статистичної обробки експериментальних даних з безвідмовності ДВЗ.

### 2. Постановка завдання

На етапі технічного проектування двигуна для попередньої оцінки рівня його безвідмовності ставиться по-перше завдання графічного подання імовірнісних характеристик розподілу експериментальних даних про відмови двигунів дослідної партії. Мова йде про побудову гістограм розподілу наробітку на відмову й графіка емпіричної інтегральної функцій розподілу цього наробітку.

По-друге, ставиться завдання наступного розрахунку основних показників безвідмовності й довговічності кожного дослідного двигуна і їхньої партії в цілому: середніх наробітків до та між відмовами, потоку відмов, ресурсів до першого капітального ремонту, періоду приробляння, періоду нормальної експлуатації.

І, нарешті, ставиться завдання виявлення закону розподілу наробітків на відмову партії двигунів у цілому.

Зрозуміло, що ставиться комплексне завдання, результати рішення якого дозволять студентам практично освоїти інженерний підхід до всебічної оцінки найважливішої сторони якості двигуни на стадії його проектування.

### 3. Методика статистичної, обробки, експериментальних даних про відмови ДВЗ

#### 3.1. Збір та аналіз емпіричної інформації про відмови

Збір такої інформації повинен передувати статистичній обробці експериментальних даних про відмови.

Інформацію про відмови одержують за результатами ресурсних випробувань дослідних двигунів в умовах їх підконтрольної експлуатації.

За результатами випробувань для всієї дослідної партії двигунів (експериментальної вибірки) складають зведену інформаційну карту по надійності. Форма такої карти наведена нижче (табл. 1).

За даними колонок 6 й 7 цієї таблиці будується табл. 2.

Наведена в табл. 1 вихідна інформація повинна бути попередньо проаналізована як із критичної точки зору (можливі не в'язання, пропуски)

так і з метою візуальної оцінки результатів випробувань на надійність дослідної партії двигунів. Для такої оцінки треба за даними табл. 2 скласти тимчасову діаграму потоку відмов двигунів залежно від їхнього наробітку. Приклад такої діаграми показаний на рис. 1, де відзначені всі моменти настання відмов по кожному двигуну. При візуальній оцінці можна зорієнтуватися на розходження окремих двигунів у їхніх ресурсах до першого капітального ремонту, частоті відмов, рівнях наробітків до відмови  $T_j$  і на відмову  $t$ .

Таблиця 1

№	Найменування виробу	Умови роботи	Найменування елемента, що відмовляє (компонента, деталі, вузла)	Режим роботи	Моменти		Ознаки відмови	Причини відмови	Час ремонту (або заміни), у тому числі першого капітального ремонту	Час простою виробу	Підпис відповідальної особи
					Початку роботи (дата, година,	Відмови (дата, година, хвилини)					
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12

Таблиця 2

Номера відмов	Наробітки на відмову $t$ (ч) для двигунів			
	№1	№2	№3	...
1	7	13	.	.
2	8	14	.	.
3	9	.	.	.
4	10	.	.	.
5	11	.	.	.
6	12	.	.	.

Результати попереднього аналізу можна використати й для контролю правильності наступного статистичного аналізу експериментальних даних про надійність.

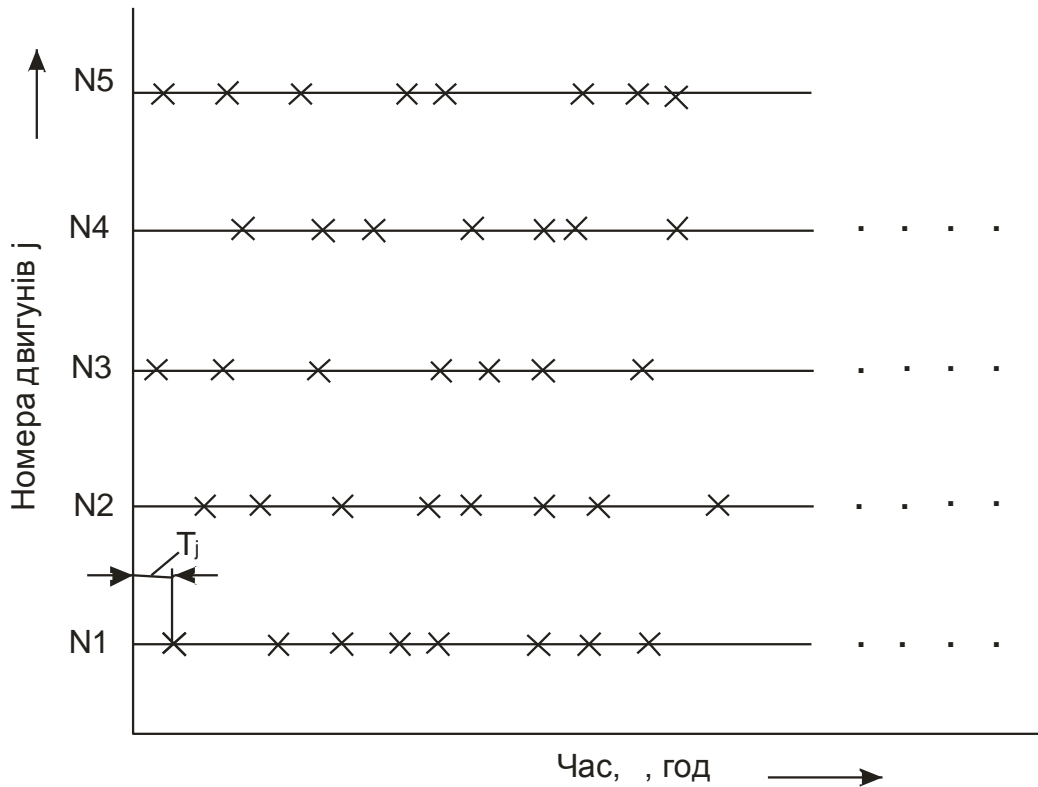


Рис. 1. Часова, діаграма потоку відмов партії двигунів

### 3.2. Методика графічного подання розподілу експериментальних даних про надійність й їхній статистичний аналіз

#### 3.2.1. Методика побудови гістограми щільності розподілу наробітків на відмову

Для такої побудови вісь наробітків (вісь абсцис) гістограми ділиться на рівні інтервали величиною  $\Delta t$ .

Підраховують для всієї партії двигунів числа наробітків на відмову, що потрапили в кожен такий інтервал.

Якщо позначити  $n$  - загальне число відмов для партії двигунів,  $n_i$  - число відмов, що потрапили в  $i$ -й інтервал наробітків на відмову, то емпіричну функцію  $f_n(t)$  щільності розподілу наробітку на відмову можна описати формулою

$$f_n(t) = \frac{n_i}{n \cdot \Delta t} \quad (1)$$

Зі співвідношення (1) по осі ординат гістограми, по суті, повинні відкладатися частоти появи відмов. Загальне число відмов для партії двигунів легко встановити з табл. 2 або за рис. 1.

При побудові гістограми число інтервалів не повинно бути занадто великим, тому що в цьому випадку можливі випадкові перегони  $f_n(t)$ , або занадто малим, оскільки тоді вийде груба оцінка  $f_n(t)$ . Звичайно діапазон

спостережень розбивають на 6-20 інтервалів, причому більше число їх ставиться до більшого, числа відмов.

Побудова гістограми проводиться на основі результатів обчислень за формулою (1), для зручності яких варто скласти за даними табл.2 допоміжну таблицю за формою табл. 3. У ній під варіаційним рядом розуміється числовий ряд, складений у порядку не убуття. Кількість рядків у табл. 3 залежить від найбільшого числа відмов у будь-якого із двигунів партії.

Таблиця 3

Номера відмов	Варіаційні ряди значень наробітків на відмову $t$ (ч) двигунів			
	№1	№2	№3	...
1				
2				
3				
·				
·				
·				

Слід звернути увагу на відмінність табл. 3 від табл. 2: у першій з них наробітки на відмову ранжуються за величинами  $t_j$ .

Для обчислень за формулою (1) треба в табл. 3 провести (візуально відзначити) угруповання значень  $t$  по інтервалах  $\Delta t$ .

Гістограма звичайно будується в координатах  $[f_n(t) \cdot 10^3, 1/4] - [t, ч]$  и представляє собою східчастий графік; висота кожної ступені в межах  $\Delta t$  повинні залишатися незмінною.

Візуальний аналіз побудованої гістограми  $f_n(t)$  проводять із метою попередньої оцінки закону розподілу, яким її можна апроксимувати. Адже типові графіки  $f_n(t)$  для найпоширеніших теоретичних законів розподілу відомі.

Цікаву можливість надає гістограма у зв'язку з тим, що площа під нею адекватна ймовірності  $P(t)$  наробітки на відмову для будь-якого значення  $t$  у діапазоні  $t=0 \div t_{max}$ . Звичайно для цілей практики, наприклад при оцінках ефективності модернізації двигуна, виходять із умови  $P(t)=0,5$  (50%); природно, що зростання  $t$  при цій умові свідчить про збільшення ефекту модернізації.

### 3.2.2. Методика побудови емпіричних функцій імовірності безвідмовної роботи й імовірності відмов

Функція ймовірності відмов розуміється й будується як емпірична інтегральна функція розподілу наробітку на відмову  $Q_n(t)$ .

Якщо  $n$  – загальне для партії двигунів число відмов,  $n(0-t)$  - число відмов, що потрапили, в інтервал наробітку на відмову  $(0-t)$ , де  $0$  - початок експлуатації, то

$$Q_n(t) = \frac{n(0-t)}{n}. \quad (2)$$

Бачимо, що  $n(0-t)$  становлять собою накопичені частоти відмов. Тут значення  $n$  - з табл. 1, а величини  $n(0-t)$  – за даними табл. 2, що зручніше представити за формою табл. 4 (накопичені частоти відмов різних двигунів).

Таблиця 4

Інтервали $(0-t)$ , ч	Накопичені частоти відмов $n(0-t)$	Інтервали $(0-t)$ , ч	Накопичені частоти відмов $n(0-t)$	...
--------------------------	------------------------------------	--------------------------	------------------------------------	-----

На підставі табл. 4 будується графік функції  $Q_n(t)$ , що представляє монотонно наростаючу криву в координатах  $[Q_n(t)]-[t, ч]$ . Помітимо, що значення  $Q_n(t)$  становлять частки одиниці, зростаючи від нуля до одиниці.

Варто підкреслити, що на відміну від гістограми  $f_n(t)$  графік  $Q_n(t)$  будується інакше. Для останнього інтервалу  $(0-t)$  цілком визначаються табл. 2 й табл. 4. Це припускається інтегральним характером  $Q_n(t)$  і неможливістю, наприклад, почати з довільно великого інтервалу, що приведе до різкого перекручування кривій  $Q_n(t)$  на початку графіка.

Виходячи з формули

$$P_n(t) = 1 - Q_n(t), \quad (3)$$

будується емпірична функція ймовірності безвідмовної роботи  $P_n(t)$ .

На відміну від графіка  $Q_n(t)$  крива  $P_n(t)$  монотонно зменшується від одиниці до нуля.

Візуальний аналіз побудованих графіків  $P_n(t)$  і  $Q_n(t)$  можна як і гістограму  $f_n(t)$ , використати для попереднього виявлення закону розподілу, яким можна апроксимувати досліджувані експериментальні дані про відмови. Типові графіки  $P_n(t)$  і  $Q_n(t)$  для найпоширеніших теоретичних законів розподілу відомі [3].

На практиці побудовані залежності  $P_n(t)$  або  $Q_n(t)$  корисно використовувати при аналізі ефективності модернізації двигуна.

Звичайно із цією метою виходять із  $P_n(t)=0,5$ , причому зростання при такій умові підтверджує доцільність модернізації. Таким чином використання

для відзначеної цілі графіків  $P_n(t)$  або  $Q_n(t)$  є більш наочним і менш складним, чим використання гістограми  $f_n(t)$ .

### 3.2.3. Методика побудови гістограми інтенсивності відмов

Для побудови такої гістограми її часова вісь (вісь абсцис) розбивається на інтервали рівної довжини  $\Delta\tau$ . Потім для всієї партії двигунів підраховують числа  $n(\tau_i, \Delta\tau)$  відмов, що відбулися в цих інтервалах часу. У позначенні таких відмов  $n(\tau_i, \Delta\tau)$  враховано, що їхня кількість залежить не тільки від обраного інтервалу  $\Delta\tau$ , але й від тимчасової його прив'язки, оскільки інтенсивність відмов залежить також від попереднього даному моменту часу  $\tau_i$  тривалості роботи двигуна, тобто від  $\tau_i$ .

Позначивши  $n(\tau_i)$  - число двигунів, що перебувають на випробуванні (справно працювали) до моменту часу  $\tau_i$  записують формулу для визначення інтенсивності відмов.

$$\lambda(\tau) = \frac{n(\tau_i, \Delta\tau)}{N(\tau_i) \cdot (\tau_{i+1} - \tau_i)}, \quad (4)$$

Для реалізації співвідношення зручно скласти за даними табл. 2 допоміжну таблицю за формою табл. 5.

Таблиця 5

Номера відмов	Моменти відмов (ч) двигунів		
	№1	№2	...
1			
2			
3			
·			
·			
·			

Число рядків цієї таблиці відповідає числу відмов такого двигуна партії, у якого воно є найбільшим. Очевидно, що останні цифри в кожній колонці табл. 5 відповідають ресурсам двигунів до їх перших капітальних ремонтів.

Вказівки на вибір тимчасового інтервалу  $\Delta\tau$  аналогічні тим, які зроблені вище в п. 3.2.1, тобто число таких інтервалів звичайно становить  $6 \div 20$ .

Гістограму, як правило, будують у координатах  $[\lambda_n(\tau) \cdot 10^3, 1/\tau] - [t, \tau]$ . Вона становить собою ступінчатий графік. Висота кожної ступені  $\lambda_n(\tau)$  в межах  $\Delta\tau$  повинна бути незмінною.

Як й у випадках з  $f_n(t)$  і  $P_n(t)$  гістограму  $\lambda_n(\tau)$  використовують для її візуального аналізу з метою попереднього виявлення закону розподілу експериментальних даних.

Відзначимо принципову можливість використання цієї гістограми й для відшукування таких важливих усереднених для партії двигунів характеристик, як період приробітки, і нормальної експлуатації. При цьому виходять із того, що прироблення завершується й починається нормальна експлуатація з початком стабілізації кривій  $\lambda_n(\tau)$  після постановки партії двигунів на випробування. Нормальну експлуатацію партії двигунів варто припинити, з різким зростанням значень  $\lambda_n(\tau)$  у процесі їх тривалих ресурсних випробувань.

### 3.3. Методика розрахунку основних показників безвідмовності й довговічності

В основу розрахунку цих показників покладені відомі співвідношення теорії надійності.

#### 3.3.1. Середній наробіток до відмови

Цей показник безвідмовності можна обчислити для партії двигунів за даними табл. 5 на основі формули

$$T_m = \frac{1}{N(\tau=0)} \cdot \sum_1^j T_j, \quad (5)$$

де  $T_j$  – наробіток до першої відмови  $j$ -го двигуна (див. табл. 2);  
 $N(\tau=0)$  – число двигунів у партії до початку їхніх ресурсних випробувань.  
Значення  $T_j$  також повинні бути вписані окремо.

#### 3.3.2. Середній наробіток на відмову

Цей показник безвідмовності називають ще середнім наробітком між відмовами. Його визначають за даними табл.1 для партії двигунів відповідно до формули

$$t_m = \frac{1}{n} \cdot \sum_1^j \sum_1^{n_j} t, \quad (6)$$

де  $n$  – загальне число відмов при ресурсних випробуваннях партії двигунів;  
 $n_j$  – число відмов по  $j$ -му дизелю.  
Розрахунки по (6) досить трудомісткі у випадках значних масивів  $t$   
Простіше користуватися очевидним різновидом формули (6):

$$t_m = \frac{1}{n} \cdot \sum_1^j M_j, \quad (7)$$

де  $M_j$  – беруть із табл. 5.

Для кожного двигуна партії варто також розрахувати середній наробіток на відмову:

$$t_{m_j} = \frac{1}{n_j} \cdot \sum_1^{n_j} t = \frac{1}{n_j} \cdot M_j. \quad (8)$$

### 3.3.3. Провідна функція потоку відмов (потік відмов)

Як й інші показники безвідмовності, потік відмов відшукують по кожному двигуну й для партії в цілому, використовуючи формули:

$$\omega_j = \frac{n_j}{N_j(\tau=0) \cdot \Delta\tau_j}; \quad (9)$$

$$\omega = \frac{n}{N(\tau=0) \cdot \Delta\tau}, \quad (10)$$

де  $N_j(\tau=0)=1$ ;

$\Delta\tau=M_j$  – наробіток  $j$ -го двигуна до першого капремонту;

$$\Delta\tau = \frac{1}{N(\tau=0)} \cdot \sum_1^j M_j. \quad (11)$$

Інші позначення роз'яснені вище.

Залежність (10) можна спростити, підставивши в неї (11), отримуємо:

$$\omega = \frac{n}{\sum_1^j M_j} = \frac{1}{\sum_1^j (\frac{M_j}{n})} = \frac{1}{t_m}, \quad (12)$$

де значення  $t_m$  уже обчислене по формулі (7).

### 3.3.4. Ресурс до першого капітального ремонту

Для кожного із двигунів партії ресурс  $M_j$  відомий за даними табл. 5.

Становить інтерес середній ресурс для партії двигунів, що легко обчислюється:

$$M = \frac{\sum_1^j M_j}{N(\tau=0)}. \quad (13)$$

### 3.3.5. Методика аналізу показників надійності

Після розрахунків цих основних показників надійності й безвідмовності двигунів варто проаналізувати їх значення.

Починати треба з показників для партії двигунів.

Значення  $M$ ,  $t_m$  й  $T_m$  співставляються з даними для двигунів-прототипів за літературними джерелами. Для автотракторних дизелів, наприклад, такі дані наведені в табл. 6.

Таблица 6

Показник надійності автотракторного дизеля	Позначення	Розмірність	Значення
Ресурс до першого капітального ремонту	$M$	машино-г	10000÷12000
Середній наробіток до відмови	$t_m$	ч	150÷250
Середній наробіток на відмову	$T_m$	ч	150÷300

Потім порівнюють показники надійності окремих двигунів.

Двигуни зрівнюють за комплексом показників  $M_j$ ,  $T_j$ ,  $t_{mj}$  й  $\omega_j$ .

Оцінюють рівень надійності, кожного двигуна по ваговому показнику  $(M_j/\omega_j)$ , де співмножники адекватно характеризують надійність. Відбирають двигун, для якого  $(M_j/\omega_j)=max$ . Як правило, у такого двигуна й  $t_{mj} = max$ , що дозволяє з гарантією оцінити його як найкращий у партії за рівнем надійності.

Показник  $T_j$  доповнює зроблені висновки за результатами аналізу показників надійності.

Необхідно застерегти від оцінки надійності двигуна по кількості відмов  $n_j$  за ресурс  $M_j$ . Можливі ситуації, коли у двигуна найгіршого по надійності, має місце найменше число відмов. Об'єктивна оцінка рівня надійності повинна проводитися на основі рекомендованого вище комплексного підходу.

### 3.4. Методика виявлення закону розподілу експериментальних даних по надійності

Достатню вірогідність результатів дає графоаналітичний метод виявлення такого закону. Для його використання варто представити експериментальні дані для партії двигунів (див. табл. 1) у вигляді загального для всіх двигунів варіаційного ряду наробітків на відмови, причому, наробітки  $t$  у ряді розташовують по їхньому зростанню. Кожному значенню  $t$  повинні бути поставлені, у відповідність значення поточних частот появи відмов, тобто значення  $\tilde{n}$  для партії двигунів. Таким чином, одержують числові масиви  $t$  й  $\tilde{n}$ . Отримані дані заносять у колонки 1 й 2 табл. 7.

Таблиця 7

$t, ч$	$\tilde{n}$	$H$	$\frac{H}{\sum_1^j \sum_1^{n_j} \tilde{n}}$	$1 - \frac{H}{\sum_1^j \sum_1^{n_j} \tilde{n}}$
1	2	3	4	5

$$n = \sum \tilde{n}$$

Тут  $H$  представляє собою накопичену частоту появи відмов, коли в даному рядку таблиці записується значення  $H$ , рівне сумі  $\tilde{n}$ , відзначених у цій і всіх попередніх рядках.

Для графічного виявлення закону розподілу треба значення колонки 5 табл. 7 нанести на імовірнісний папір зі спеціальною координатною сіткою, залежно від теоретичного закону розподілу. На рис. 2, 3, 4 представлені імовірнісні папери для експонентного, нормального й нормально-логарифмічного розподілів. Для довідок відзначимо, що на рис. 2 по осі абсцис нанесена рівномірна шкала для  $t$ , а по осі ординат - логарифмічна для  $(1-H/\sum \tilde{n})$ ; на рис. 3 по осі абсцис - рівномірна шкала для  $t$ , а по осі ординат - особлива шкала, що відповідає нормальному закону розподілу, для  $(1-H/\sum \tilde{n})$ ; на рис. 4 по осі абсцис - логарифмічна шкала для  $t_i$ , а по осі ординат - особлива шкала, що відповідає нормальному закону розподілу, для  $(1-H/\sum \tilde{n})$ . Значно складніше виглядає імовірнісний папір для розподілу Вейбулла-Гнеденко. Його роз'яснення подаються в спеціальній літературі.

Процедура виявлення полягає в перевірці можливості лінійної інтерполяції експериментальних даних про відмови на конкретному імовірнісному папері.

Перевірку рекомендується робити в послідовності рис. 2 - 4.

Виявленим, тобто вірогідно апроксимуючим ці дані, теоретичний закон розподілу стає за умови, якщо точки значень, будучи відкладені на

відповідній координатній сітці, ляжуть на пряму. Графік такої прямої будують візуально, або використовуючи методику побудови найкращій прямій [1]. При візуальній побудові домагаються, щоб відхилення точок від інтерполяційної прямої мали найменші значення й розташовувалися по обидві сторони від неї.

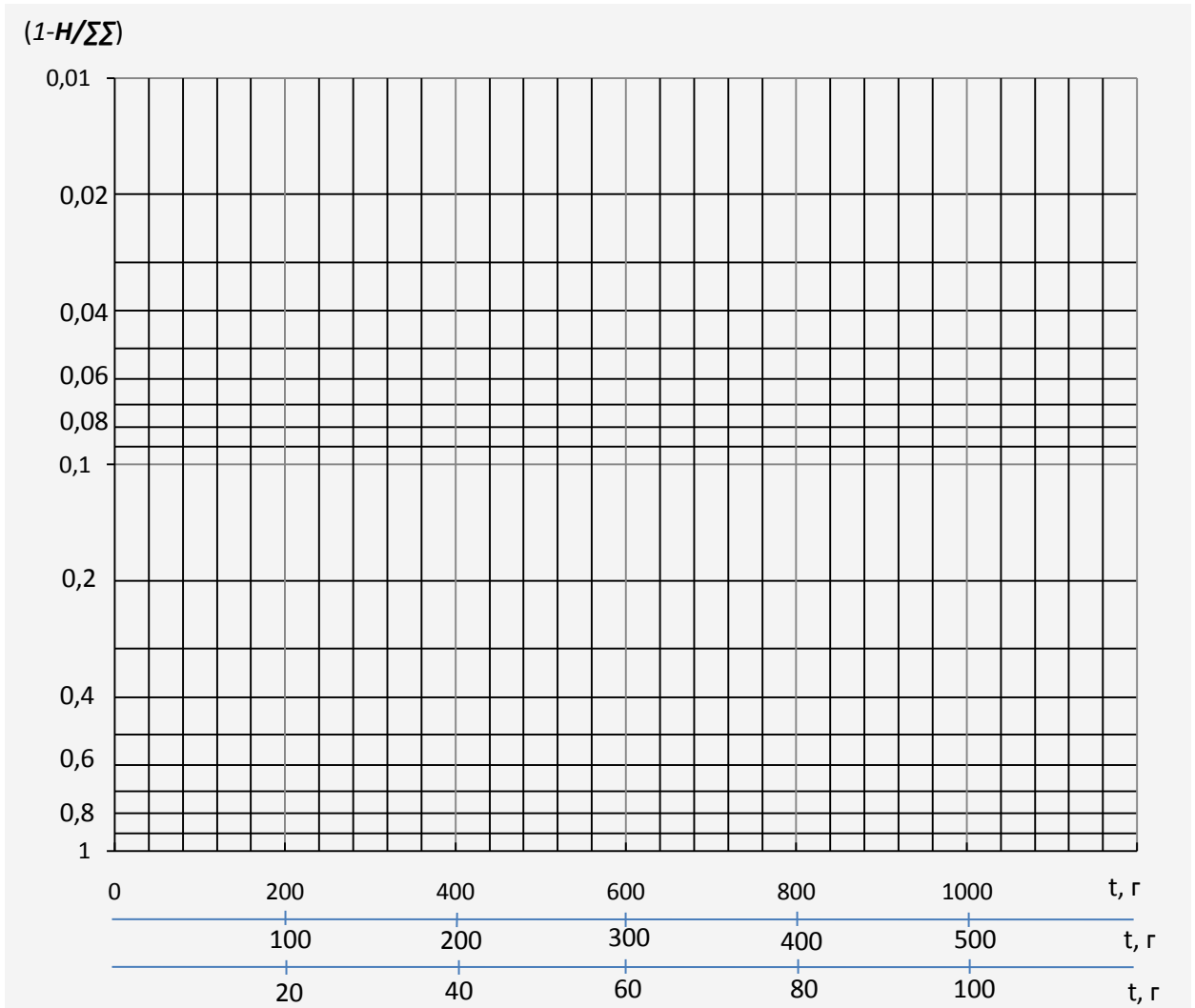


Рис. 2. Імовірнісний папір для експонентного розподілу

Якщо провести згадану пряму на даній координатній сітці не вдасться, то варто перейти до перевірки на папері з іншою координатною сіткою й т.д.

Найбільше відхилення  $D$  установлюється зіставленням величин відхилень по осі ординат всіх точок від інтерполяційної прямої. При цьому враховується нерівномірність шкали ординат, тобто відшукується абсолютний, а не геометричний максимум  $D$ .

$(1-H/\Sigma\Sigma)$

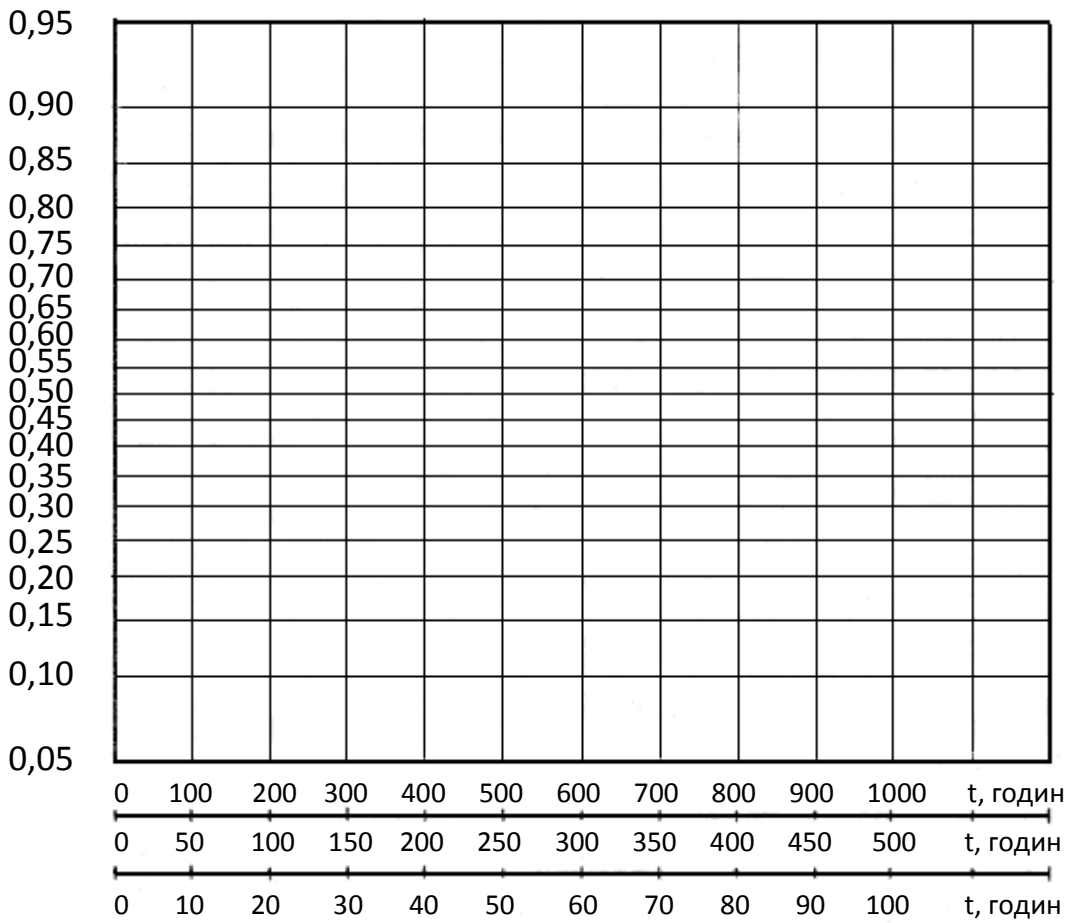


Рис. 3. Імовірнісний папір для нормального розподілу

$(1-H/\Sigma\Sigma)$

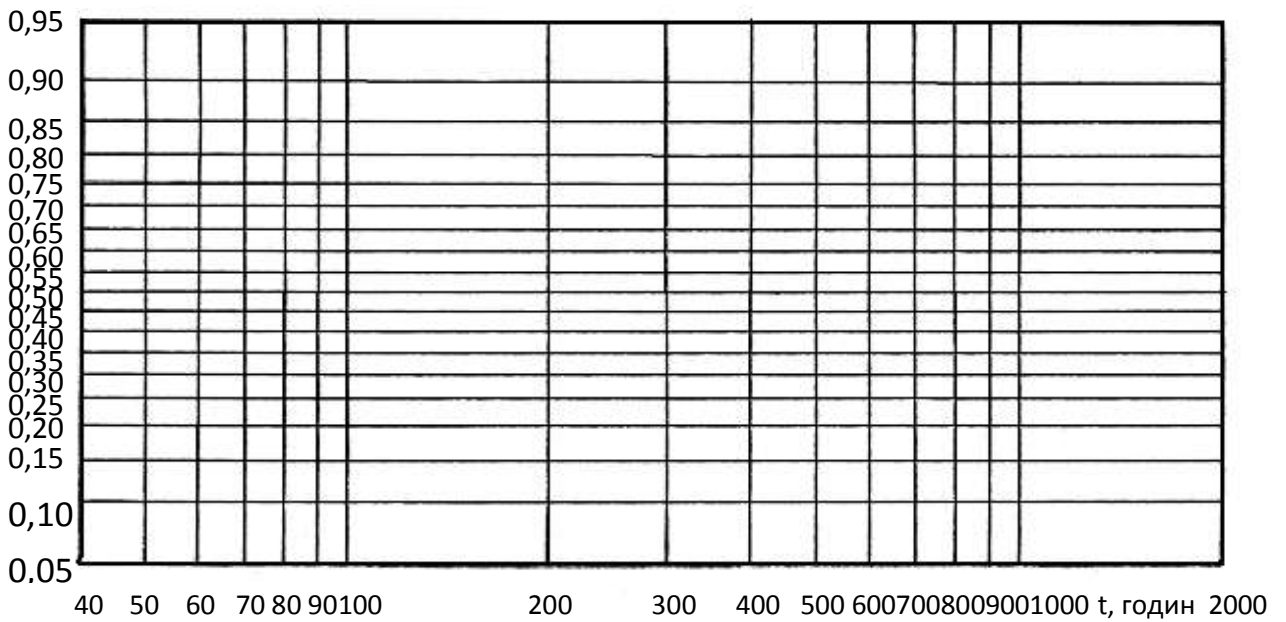


Рис. 4. Імовірнісний папір нормально-логічного розподілу

Якість лінійної інтерполяції експериментальних даних оцінюють за критерієм згоди Колмогорова

$$S = D\sqrt{n} \leq 1.0, \quad (14)$$

де  $n$  – число експериментальних точок (у нашому випадку загальна для досліджуваної партії двигунів кількість їхніх відмов  $n_{ij}$ ).

Якщо умову (14) дотримано, то вважається, що встановлено згоду експериментального й теоретичного законів розподілу. У випадку  $S > 1.0$  такої згоди немає, і варто продовжити порівняння з наступним видом теоретичного закону розподілу.

Цікаво спочатку зіставити можливість апроксимації експериментальних даних експонентним законом розподілу, слід пам'ятати, що при такому розподілі

$$\lambda_n(t) = \text{const} = \lambda_{cp} = \frac{1}{T_m}. \quad (15)$$

Значення  $T_m$  беруть із співвідношення (5), а  $\lambda_{cp}$  – з гістограми інтенсивності відмов як усереднене значення  $\lambda_n(t)$  для всього інтервалу наробітків на відмови.

Якщо умова (15) не забезпечена, то теоретичний закон розподілу не є експонентним.

Виявлений закон розподілу далі можна також зіставити з попередніми оцінками, які робилися в п. 3.2 на підставі візуального аналізу гістограм і графіка  $f_n(t)$ ,  $\lambda_n(\tau)$ ,  $Q_n(t)$  або  $P_n(t)$ .

Результати простих попередніх зіставлень дозволяють уникнути помилок при використанні досить складного графоаналітичного методу виявлення закону розподілу за експериментальним даними.

#### 4. Порядок проведення лабораторного заняття

Пояснимо цей порядок на конкретному прикладі.

##### 4.1. Постановка завдання дослідження

Викладач ставить завдання для академічної групи в цілому: оцінити рівень безвідмовності партії двигунів і кожного з них.

#### 4.2. Підготовка вихідних даних

Вихідні дані задаються викладачем (див. додаток 1). При цьому оговорюються:

1. Тип і марка дизеля: тракторний, СМД-60.
2. Характеристика випробувань на надійність: випробування тривалі, ресурсні; проводяться для дослідної партії дизелів на етапі технічного проектування в умовах підконтрольної експлуатації.
3. Обсяг експериментальної вибірки: 6 дизелів для одного з варіантів вихідних даних.
4. Результати випробувань на надійність: представлені для цього варіанта в табл. 8.

З табл. 8 бачимо, що для партії двигунів загальне число відмов  $n = 1/\sum_1^j \sum_1^{n_j} \tilde{n} = 108$ , причому для конкретного дизеля (від №1 до №6) кількості відмов, відповідно,  $n_1=18, n_2=19, n_3=18, n_4=19, n_5=20, n_6=20$ .

5. Аналіз вихідних даних. Носить суцільно орієнтовний характер, оскільки первинні результати випробувань на надійність можуть істотно відрізнятися від статистично усереднених показників безвідмовності.

Проте, зіставляючи дані табл. 6 і табл. 8, можна помітити, що порядки величин поточних наробітків до відмови  $T_j$  на відмову  $t$  і середніх аналогічних наробітків  $T_m$  й  $t_m$  у загальному збігаються. Це свідчить про можливість використання інформації табл. 8 для її наступної статистичної обробки.

Таблиця 8

Номера відмов	Наробітки на відмову двигунів					
	№1	№2	№3	№4	№5	№6
1	2	3	4	5	6	7
1	100	150	200	200	400	400
2	250	250	200	250	300	150
3	100	50	250	200	250	350
4	100	100	300	300	150	450
5	50	150	200	250	350	200
6	200	150	150	200	150	400
7	150	50	50	150	350	250
8	200	150	300	350	200	250
9	50	150	200	150	250	200
10	150	200	350	400	300	300
11	200	200	250	250	150	150
12	150	250	200	250	300	300
13	100	250	300	250	250	300
14	350	200	200	150	250	250
15	150	300	200	300	250	250

Продовження табл. 8

1	2	3	4	5	6	7
16	350	200	250	200	250	200
17	150	300	200	350	300	300
18	450	300	450	150	100	200
19		350		400	250	250
20					200	100

#### 4.3. Етапи статистичної обробки експериментальних даних по надійності

Статистичній обробці дослідних даних повинна передувати побудова часової діаграми потоку відмов для двигунів партії. Така діаграма будується за даними табл. 8 і показана на рис. 5.

На підставі вивчення цього рисунка можна зробити попередні висновки:

- ресурси у різних двигунів партії істотно відрізняються: від 3250год (двигун №1) до 5250год (двигун №6);
- у кілька разів відрізняються й наробітки до відмови цих двигунів;
- порядок величин наробітків на відмову для різних дизелів приблизно однаковий.

На підставі первинних результатів випробувань двигунів на надійність важко виділити з них кращі (або гірші) по безвідмовності.

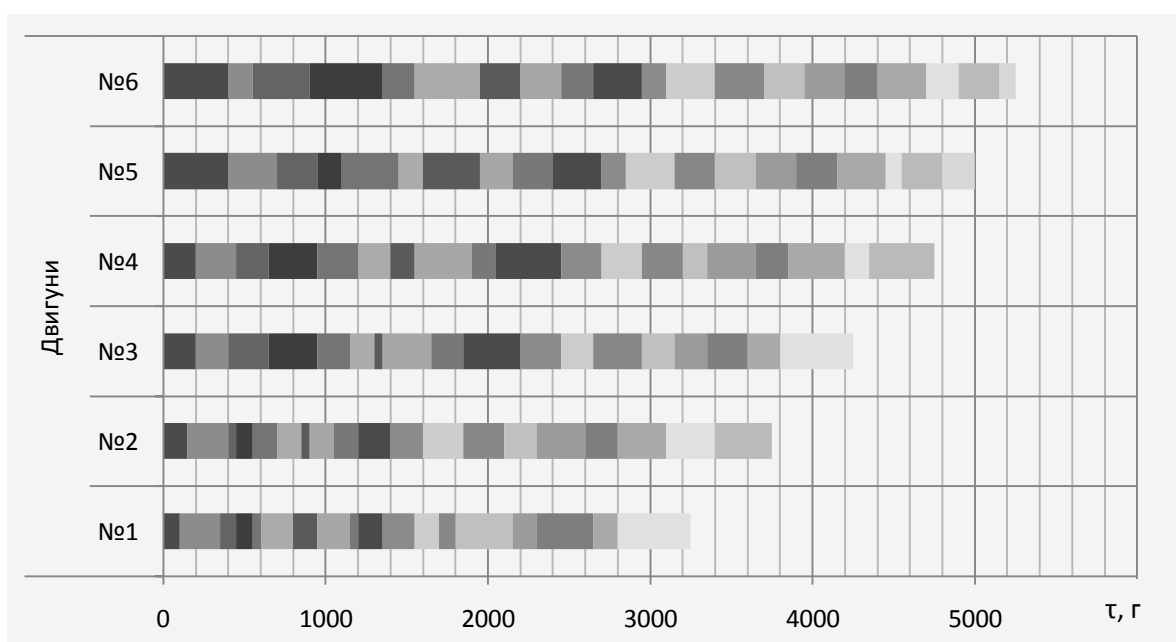


Рис. 5. Часова діаграма потоку відмов

4.3. 1. Побудова гістограми щільності розподілу наробітків на відмову  $f_n(t)$

Для її побудови спочатку складаємо варіаційні ряди значень наробітків на відмову у формі допоміжної табл. 9.

Таблиця 9

Номера відмов	Наробітки на відмову двигунів					
	№1	№2	№3	№4	№5	№6
1	2	3	4	5	6	7
1	50	50	50	150	100	100
2	50	50	150	150	150	150
3	100	100	200	150	150	150
4	100	150	200	150	150	200
5	100	150	200	200	200	200
6	100	150	200	200	200	200
7	150	150	200	200	250	200
8	150	150	200	200	250	250
9	150	200	200	250	250	250
10	150	200	200	250	250	250
11	150	200	250	250	250	250
12	200	200	250	250	250	250
13	200	250	250	250	250	300
14	200	250	300	300	300	300
15	250	250	300	300	300	300
16	350	300	300	350	300	300
17	350	300	350	350	300	350
18	450	300	450	400	350	400
19		350		400	350	400
20					400	450

При побудові гістограми  $f_n(t)$  з урахуванням значень наробітків  $t$  у цій таблиці вибирають інтервал по осі абсцис (осі наробітків).

Призначають  $\Delta t=50$  год. й  $\Delta t=100$  год. Зіставлення гістограм при різних  $\Delta t$  дозволить оцінити вплив вибору цього інтервалу на якість побудованої гістограми.

При побудові в табл. 9 виділяють для всієї партії дизелів блоки з однаковими значеннями  $t$ , потім підраховують число таких наробітків у кожному блоці. У нашому прикладі в першому блоці (з наробітком  $t=50$  год) число наробітків склало 5 у другому блоці (з наробітком  $t=100$  год) - 7 і т.д.

На рис. 6 показані побудовані  $\Delta t=50$  год. й  $\Delta t=100$  год. для розглянутого приклада дві гістограми  $f_n(t)$ ; обчислення проведені по формулі (1).

З рис. 6 видно, що вибір  $\Delta t$  вносить деяку невизначеність у гістограмі, оскільки від величини  $\Delta t$  залежить її якість. Очевидно,  $\Delta t=100$  год. варто вважати надмірно більшим.

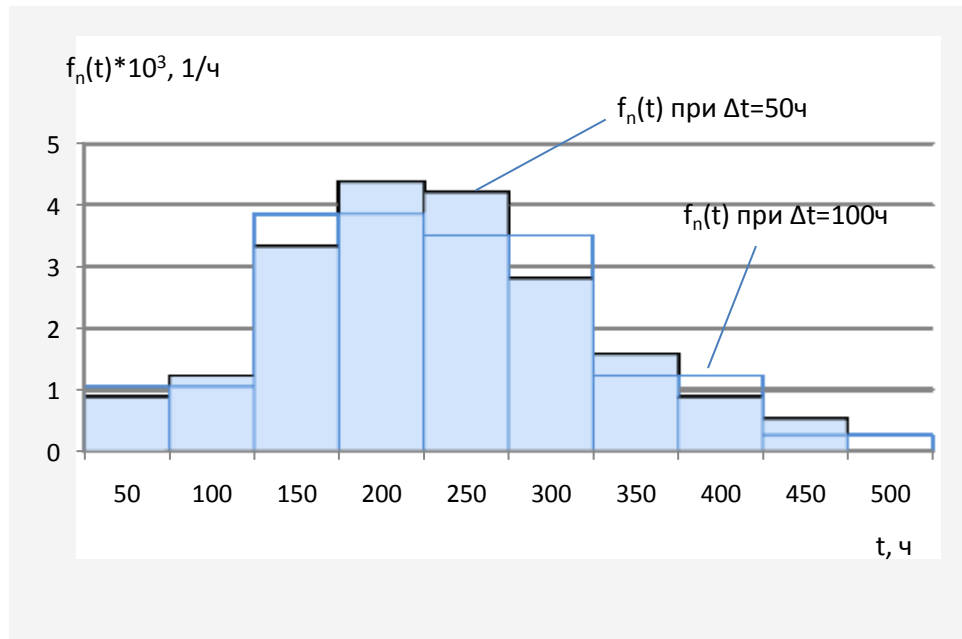


Рис.6. Гістограми щільності розподілу наробітків на відмову

#### 4.3.2. Побудова графіків дослідних залежностей $P_n(t)$ і $Q_n(t)$

Для побудови функції ймовірності відмов  $Q_n(t)$  складають допоміжну табл. 10.

Таблиця 10

Інтервали ( $0-t$ ), ч	Накопичені частоти відмов $n(0-t)$	Інтервали ( $0-t$ ), ч	Накопичені частоти відмов $n(0-t)$	Інтервали ( $0-t$ ), ч	Накопичені частоти відмов $n(0-t)$
0-50	5	0-200	57	0-350	106
0-100	12	0-250	81	0-400	111
0-150	32	0-300	96	0-450	114

На рис. 7 показана залежність  $Q_n(t)$  для розглянутого приклада. Обчислення виконані по формулі (2).

Виходячи із співвідношення (3), побудовано графік для функції ймовірності безвідмовної роботи  $P_n(t)$  (рис. 7).

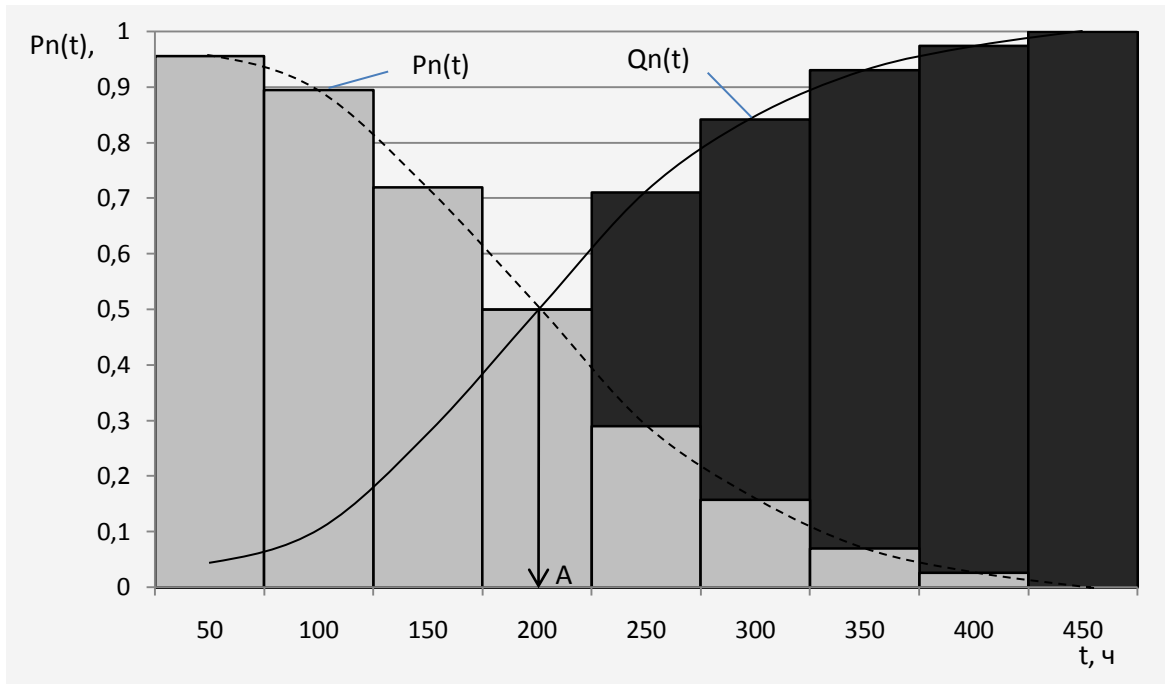


Рис.7. Інтегральні графіки розподілу наробітків на відмову

#### 4.3. 3. Побудова гістограми інтенсивності відмов $\lambda_n(\tau)$

До побудови гістограми  $\lambda_n(\tau)$  складають допоміжну табл. 11.

Таблица 11

Номера відмов	Моменти відмов двигунів, год					
	№1	№2	№3	№4	№5	№6
1	100	150	200	200	400	400
2	350	400	400	450	700	550
3	450	450	650	650	950	900
4	550	550	950	950	1100	1350
5	600	700	1150	1200	1450	1550
6	800	850	1300	1400	1600	1950
7	950	900	1350	1550	1950	2200
8	1150	1050	1650	1900	2150	2450
9	1200	1200	1850	2050	2400	2650
10	1350	1400	2200	2450	2700	2950
11	1550	1600	2450	2700	2850	3100
12	1700	1850	2650	2950	3150	3400
13	1800	2100	2950	3200	3400	3700
14	2150	2300	3150	3350	3650	3950
15	2300	2600	3350	3650	3900	4200
16	2650	2800	3600	3850	4150	4400
17	2800	3100	3800	4200	4450	4700
18	3250	3400	4250	4350	4550	4900
19		3750		4750	4800	5150
20					5000	5250

Після цього вибирають інтервал  $\Delta\tau$  на часовій осі гістограми. Виходять із найбільшого ресурсу до першого капітального ремонту у двигуна № 6 й, керуючись вказівками п. 3.2.3, призначають  $\Delta\tau=250$  год.

Для оцінки впливу вибору величини цього інтервалу, на якість гістограми  $\lambda_n(\tau)$  призначають інший часовий інтервал, наприклад  $\Delta\tau=500$  год.

Таким чином, будують дві гістограми, використовуючи формулу (4).

Для зручності побудови, стосовно до кожної гістограми, представляють інформацію табл. 11 у вигляді двох числових масивів відповідно при  $\Delta\tau=250$  год. й  $\Delta\tau=500$  год. (табл. 12 й 13).

Таблиця 12

$\tau_i$ , год.	$n(\tau_i, \Delta\tau)/N(\tau_i)$	$\tau_i$ , год.	$n(\tau_i, \Delta\tau)/N(\tau_i)$	$\tau_i$ , год.	$n(\tau_i, \Delta\tau)/N(\tau_i)$
250	4/6	2000	6/6	3750	5/5
500	8/6	2250	6/6	4000	4/4
750	8/6	2500	6/6	4250	4/4
1000	8/6	2750	6/6	4500	3/3
1250	8/6	3000	6/6	4750	3/3
1500	6/6	3250	6/6	5000	3/2
1750	6/6	3500	6/5	5250	2/1

Таблиця 13

$\tau_i$ , год.	$n(\tau_i, \Delta\tau)/N(\tau_i)$	$\tau_i$ , год.	$n(\tau_i, \Delta\tau)/N(\tau_i)$
500	12/6	3500	11/6
1000	16/6	4000	9/5
1500	14/6	4500	7/4
2000	12/6	5000	6/3
2500	12/6	5500	2/1
3000	12/6		

Результати обчислень по формулі (4) представлені на рис. 7.

З рис. 8 бачимо, що величина  $\Delta\tau$  вносить деяку невизначеність у гістограму  $\lambda_n(\tau)$ , Очевидно, більш вдалим є вибір  $\Delta\tau=250$  год., тому що подальше збільшення часового інтервалу приводить до все більшого наближення кривої  $\lambda_n(\tau)$  до середнього значення  $\lambda_{cp}$  в інтервалі часу від початку експлуатації до 5250 год.

#### 4.3.4. Розрахунок показників надійності

Відповідно до формул (5)-(13) послідовно обчислюють основні показники безвідмовності й довговічності, год.:

- медіанний наробіток на відмову (з рис. 7, точка А):

$$t_{p(t)=50\%}=175;$$

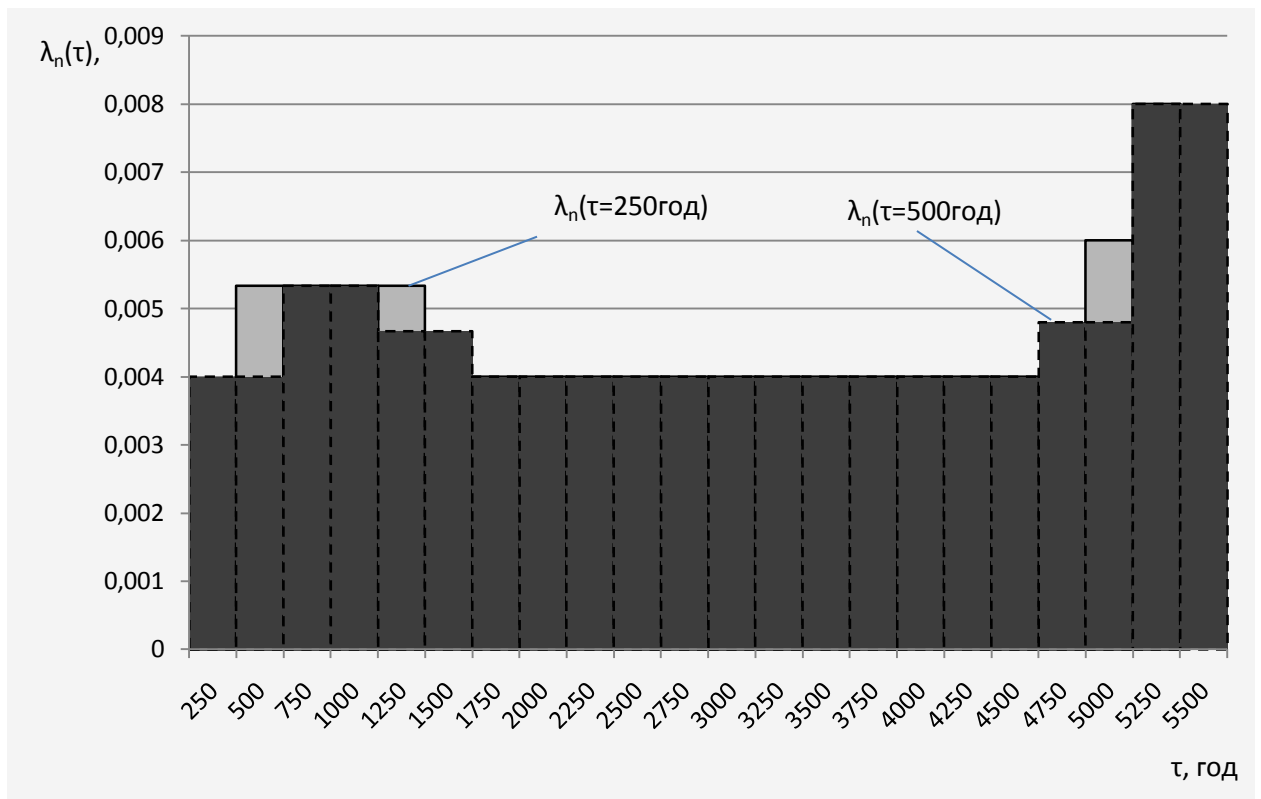


Рис. 8. Гістограми інтенсивності відмов

- середня для партії двигунів наробіток до відмови:

$$T_m = \frac{1}{6} \cdot (100 + 150 + 200 + 200 + 400 + 400) = 242;$$

- наробітки до відмови кожного дизеля, відповідно:

$$T_j = 100; 150; 200; 200; 400; 400;$$

- середній для партії двигунів наробіток на відмову:

$$t_m = \frac{1}{114} \cdot (3250 + 3750 + 4250 + 4750 + 5000 + 5250) = 26150/114 = 230;$$

- середні для кожного дизеля наробітки на відмову:

$$t_{m_1} = \frac{1}{18} \cdot 3250 = 180;$$

$$t_{m_2} = \frac{1}{19} \cdot 3750 = 297;$$

$$t_{m_3} = \frac{1}{18} \cdot 4250 = 237;$$

$$t_{m_4} = \frac{1}{19} \cdot 4750 = 250;$$

$$t_{m_5} = \frac{1}{20} \cdot 5000 = 250;$$

$$t_{m_6} = \frac{1}{20} \cdot 5250 = 262.$$

Потік відмов для партії дизелів, 1/год.:

$$\omega = \frac{114}{26150} = 4,33 \cdot 10^{-3};$$

потоки відмов для кожного двигуна, відповідно, 1/год.:

$$\omega_1 = \frac{1}{t_{m_1}} = \frac{1}{180} = 5,52 \cdot 10^{-3};$$

$$\omega_2 = \frac{1}{197} = 5,07 \cdot 10^{-3};$$

$$\omega_3 = \frac{1}{237} = 4,23 \cdot 10^{-3};$$

$$\omega_4 = \frac{1}{250} = 4,00 \cdot 10^{-3};$$

$$\omega_5 = \frac{1}{250} = 4,00 \cdot 10^{-3};$$

$$\omega_6 = \frac{1}{262} = 3,83 \cdot 10^{-3}.$$

Ресурси до першого капітального ремонту кожного дизеля, машино-г:

$$M_1=3250;$$

$$M_2=3750;$$

$$M_3=4250;$$

$$M_4=4750;$$

$$M_5=5000;$$

$$M_6=5250.$$

Середній для партії дизелів ресурс до першого капремонту:

$$M = \frac{1}{6} \cdot \sum_1^6 M_j = \frac{1}{6} \cdot 26150 = 4370 \text{ машино-г.}$$

#### 4.3.5. Аналіз показників надійності

Спочатку оцінюють рівень таких показників у партії дизелів у цілому.

Значення  $T_m=242$  год. й  $t_m=230$  год. цілком відповідають даним табл. 6 для серійних тракторних дизелів, що свідчить про прийнятний рівень безвідмовності партії двигунів що випробовується.

За рівнем  $M$  така партія істотно уступає тракторним дизелям, що випускають. Це вимагає вивчення причин настільки низької ( $M= 4370$  машино-г) довговічності, у першу чергу, пов'язаних з помилками конструкції або надмірно жорсткими умовами експлуатації. Показник  $\omega$  відіграє допоміжну роль, тому що він адекватний  $t_m$ , що впливає з формули (12).

Потім аналізують показники надійності кожного двигуна, що дозволяє ранжувати їх за рівнем надійності.

За рівнем  $T_j$  кращими виявилися дизелі № 5 й № 6.

Розглянемо рівень надійності кожного дизеля по ваговому показнику  $(M_j / \omega_j)$ , який зручніше представити у вигляді  $(M_j \cdot t_{mj})$  відповідно формулі(12). Розрахунки зведемо у табл. 14.

Таблиця 14

Номер двигуна	Ваговий показник $(M_j \cdot t_{mj})$
1	$3250 \cdot 180 = 5,85 \cdot 10^5$
2	$3750 \cdot 197 = 7,28 \cdot 10^5$
3	$4250 \cdot 237 = 10,0 \cdot 10^5$
4	$4750 \cdot 250 = 11,9 \cdot 10^5$
5	$5000 \cdot 250 = 12,5 \cdot 10^5$
6	$5250 \cdot 262 = 13,7 \cdot 10^5$

Бачимо, що за комплексним критерієм  $(M_j \cdot t_{mj})$  найкращими є двигуни № 5 та 6. Така оцінка цілком корелюється з отриманою раніше оцінкою за  $T_j$ .

Можна зробити й кількісну оцінку рівня надійності дизелів з комплексу  $(M_j \cdot t_{mj})$ . З табл. 14 випливає, що за таким критерієм двигун № 6 є кращим за двигун № 1 в  $13,7/5,85 = 2,35$  рази, тобто дуже суттєво.

Між іншим, відзначимо, що не можна судити про надійність дизеля по числу  $n_j$  відмов за ресурс  $M_j$ . У нашому прикладі  $n \approx const$ , хоча критерій  $(M_j \cdot t_{mj})$  у дизелів відрізняється більш ніж в 2 рази.

## 5. Оформлення звіту

Студенти записують у звіт відомості й матеріали розділів 1-3 даних вказівок і результати виконання всіх етапів розділу 4.

Особливу увагу варто приділити висновкам по цим результатам.

### Література.

1. Методические указания к лабораторной работе №3.10-5. Аппроксимация экспериментальных данных на основе графического анализа / Сост. А.Ф. Шеховцов. -Харьков: ХГПУ, 1993.
2. Пильов В.О. Автоматизоване проектування поршнів швидкохідних дизелів із заданим рівнем тривалої міцності: Монографія. –Харків: НТУ «ХПІ», 2001 -332с.
3. Двигуни внутрішнього згоряння: Серія підручників у 6 томах. Т.6. Надійність ДВЗ/За ред.. проф. А.П. Марченка, засл. Діяча науки України проф. А.Ф. Шеховцова. –Харків: ХНАДУ, 2004. -324с.

## ДОДАТОК 1

### Вихідні дані до розрахунку

Варіант № 1 Двигун СМД-17Н

Номер відмови	Наробітки до відмови t (ч) двигунів					
	№1	№2	№3	№4	№5	№6
1	140	110	120	110	190	100
2	190	100	140	120	200	150
3	200	190	200	190	200	190
4	220	200	230	200	300	200
5	230	250	240	230	330	200
6	240	250	290	240	400	250
7	250	250	400	250	400	230
8	260	300	410	260	430	260
9	270	400	430	300	300	270
10	300	410	450	270	310	280
11	310	420	200	310	190	300
12	320	210	220	400	180	290
13	400	240	210	410	200	310
14	380	200	190	300	220	310
15	310	200	180	310	230	330
16	320	300	140	340	150	320
17	200		400	390	140	340
18	210		130	300	240	350
19	400		110	200	230	360
20			100	200	240	420
21			430	250		410

Варіант № 2 Двигун СМД-18

Номер відмови	Наробітки до відмови t (ч) двигунів					
	№1	№2	№3	№4	№5	№6
1	95	110	120	110	190	100
2	115	100	140	120	200	150
3	175	190	200	190	200	190
4	205	200	230	200	300	200
5	215	250	240	230	330	200
6	265	250	290	240	400	250
7	375	250	400	250	400	230
8	385	300	410	260	430	260
9	405	400	430	300	300	270
10	425	410	450	270	310	280
11	175	420	200	310	190	300
12	195	210	220	400	180	290
13	185	240	210	410	200	310
14	165	200	190	300	220	310
15	155	200	180	310	230	330
16	115	300	140	340	150	320
17	375		400	390	140	340
18	105		130	300	240	350
19	85		110	200	230	360
20	75		100	200	240	420
21	405		430	250		410
22						

Варіант № 3 Двигун СМД-19

Номер відмови	Наробітки до відмови t (ч) двигунів					
	№1	№2	№3	№4	№5	№6
1	140	160	120	285	260	190
2	190	210	170	335	310	240
3	200	220	180	345	320	250
4	220	240	200	365	340	270
5	230	250	210	375	350	280
6	240	260	220	385	360	290
7	250	270	230	395	370	300
8	260	280	240	405	380	310
9	270	290	250	415	390	320
10	300	320	280	445	420	350
11	310	330	290	455	430	360
12	320	340	300	465	440	370
13	400	420	380	545	520	450
14	380	400	360	525	500	430
15	310	330	290	455	430	360
16	320	340	300	465	440	370
17	200	210	180	335	310	250
18	210	300	190	425	400	260
19	400	310	380	435	410	450
20			130	200	175	
21			120	250		

Варіант № 4 Двигун СМД-18Н

Номер відмови	Наробітки до відмови t (ч) двигунів					
	№1	№2	№3	№4	№5	№6
1	140	305	295	165	255	240
2	190	355	345	215	305	290
3	200	365	355	225	315	300
4	220	385	375	245	335	320
5	230	395	385	255	345	330
6	240	405	395	265	355	340
7	250	415	405	275	365	350
8	260	425	415	285	375	360
9	270	435	425	295	385	370
10	300	465	455	325	415	400
11	310	475	465	335	425	410
12	320	485	475	345	435	420
13	400	230	220	425	180	165
14	380	250	240	405	200	185
15	310	250	240	335	200	185
16	320	300	290	345	250	235
17	200	190	200	225	140	125
18	210	200	230	235	240	225
19	400	210	210	425	230	215
20	350	210	200	200	240	225
21	300	200	190	250	300	285
22					250	
23						

Варіант № 5 Двигун СМД-17

Номер відмови	Наробітки до відмови t (ч) двигунів					
	№1	№2	№3	№4	№5	№6
1	115	110	90	100	80	100
2	105	100	80	90	130	150
3	195	190	170	180	170	190
4	205	200	180	190	180	200
5	255	250	230	240	180	200
6	255	250	230	240	230	250
7	255	250	230	240	210	230
8	305	300	280	290	240	260
9	405	400	380	390	250	270
10	415	410	390	400	260	280
11	425	420	400	410	280	300
12	215	210	190	200	270	290
13	245	240	220	230	290	310
14	205	200	180	190	290	310
15	205	200	180	190	310	330
16	305	300	280	290	300	320
17	200		400	410	320	340
18	210		130	140	330	350
19	400		110	120	340	360
20			100	110	400	420
21			430	440		410
22						

Варіант № 6 Двигун СМД-18

Номер відмови	Наробітки до відмови t (ч) двигунів					
	№1	№2	№3	№4	№5	№6
1	140	150	120	70	190	200
2	190	200	140	90	200	210
3	200	210	200	150	200	210
4	220	230	230	180	300	310
5	230	240	240	190	330	340
6	240	250	290	240	400	410
7	250	260	400	350	400	410
8	260	270	410	360	430	440
9	270	280	430	380	300	310
10	300	310	450	400	310	320
11	310	320	200	150	190	200
12	320	330	220	170	180	190
13	400	410	210	160	200	210
14	380	390	190	140	220	230
15	310	320	180	130	230	240
16	320	330	140	90	150	160
17	200		400	350	140	150
18	210		130	80	240	250
19	400		110	60	230	240
20			100	50	240	250
21			430	380		410
22						

Варіант № 7 Двигун СМД-19Н

Номер відмови	Наробітки до відмови t (ч) двигунів					
	№1	№2	№3	№4	№5	№6
1	140	110	150	100	190	160
2	190	100	200	90	200	170
3	200	190	210	180	200	170
4	220	200	230	190	300	270
5	230	250	240	240	330	300
6	240	250	250	240	400	370
7	250	250	260	240	400	370
8	260	300	270	290	430	400
9	270	400	280	390	300	270
10	300	410	310	400	310	280
11	310	420	320	410	190	160
12	320	210	330	200	180	150
13	400	240	410	230	200	170
14	380	200	390	190	220	190
15	310	200	320	190	230	200
16	320	300	330	290	150	120
17	200		210	390	140	110
18	210		220	300	240	210
19	400		410	200	230	200
20			100	200	240	210
21			430	250		410
22						

Варіант № 8 Двигун СМД-14

Номер відмови	Наробітки до відмови t (ч) двигунів					
	№1	№2	№3	№4	№5	№6
1	100	110	80	110	190	200
2	90	100	90	120	200	210
3	180	190	160	190	200	210
4	190	200	170	200	300	310
5	240	250	200	230	330	340
6	240	250	210	240	400	410
7	240	250	220	250	400	410
8	290	300	230	260	430	440
9	390	400	270	300	300	310
10	400	410	240	270	310	320
11	410	420	280	310	190	200
12	200	210	370	400	180	190
13	230	240	380	410	200	210
14	190	200	270	300	220	230
15	190	200	280	310	230	240
16	290	300	310	340	150	160
17	200		360	390	140	150
18	210		270	300	240	250
19	400		170	200	230	240
20			170	200	240	250
21			220	250		410
22						

Варіант № 9 Двигун СМД-17Н

Номер відмови	Наробітки до відмови t (ч) двигунів					
	№1	№2	№3	№4	№5	№6
1	140	120	60	110	190	130
2	190	170	70	120	200	140
3	200	180	140	190	200	140
4	220	200	150	200	300	240
5	230	210	180	230	330	270
6	240	220	190	240	400	340
7	250	230	200	250	400	340
8	260	240	210	260	430	370
9	270	250	250	300	300	240
10	300	280	220	270	310	250
11	310	290	260	310	190	130
12	320	300	350	400	180	120
13	400	380	360	410	200	140
14	380	360	250	300	220	160
15	310	290	260	310	230	170
16	320	300	290	340	150	90
17	200		340	390	140	80
18	210		250	300	240	180
19	400		150	200	230	170
20			150	200	240	180
21			200	250		410
22						

Варіант № 10 Двигун СМД-18

Номер відмови	Наробітки до відмови t (ч) двигунів					
	№1	№2	№3	№4	№5	№6
1	120	140	50	110	85	100
2	80	100	100	120	135	150
3	170	190	140	190	175	190
4	180	200	150	200	185	200
5	230	250	150	230	185	200
6	230	250	200	240	235	250
7	230	250	180	250	215	230
8	280	300	210	260	245	260
9	380	400	220	300	255	270
10	390	410	230	270	265	280
11	400	420	250	310	285	300
12	190	210	240	400	275	290
13	220	240	260	410	295	310
14	180	200	260	300	295	310
15	180	200	280	310	315	330
16	280	300	270	340	305	320
17	200		290	390	325	340
18	210		300	300	335	350
19	400		310	200	345	360
20			370	200	405	420
21			430	250		410
22						

Варіант № 11 Двигун СМД-17

Номер відмови	Наробітки до відмови t (ч) двигунів				
	№1	№2	№3	№4	№5
1	140	110	120	110	190
2	190	100	140	120	200
3	200	190	200	190	200
4	220	200	230	200	300
5	230	250	240	230	330
6	240	250	290	240	400
7	250	250	400	250	400
8	260	300	410	260	430
9	270	400	430	300	300
10	300	410	450	270	310
11	310	420	200	310	190
12	320	210	220	400	180
13	400	240	210	410	200
14	380	200	190	300	220
15	310	200	180	310	230
16	320	300	140	340	150
17			400	390	140
18			130	300	240
19				200	230
20				200	
21				250	
22					

Варіант № 12 Двигун СМД-20

Номер відмови	Наробітки до відмови t (ч) двигунів				
	№1	№2	№3	№4	№5
1	90	110	120	110	100
2	110	100	140	120	120
3	170	190	200	190	180
4	200	200	230	200	210
5	210	250	240	230	220
6	260	250	290	240	270
7	370	250	400	250	380
8	380	300	410	260	390
9	400	400	430	300	410
10	420	410	450	270	430
11	170	420	200	310	180
12	190	210	220	400	200
13	180	240	210	410	190
14	160	200	190	300	170
15	150	200	180	310	160
16	110	300	140	340	120
17	370		400	390	380
18	100		130	300	110
19	80		110	200	90
20			100	200	
21			430	250	
22					
23					

Варіант № 13 Двигун СМД-20

Номер відмови	Наробітки до відмови t (ч) двигунів					
	№1	№2	№3	№4	№5	№6
1	115	110	130	150	190	200
2	105	100	140	160	200	210
3	195	190	140	160	200	210
4	205	200	240	260	300	310
5	255	250	270	290	330	340
6	255	250	340	360	400	410
7	255	250	340	360	400	410
8	305	300	370	390	430	440
9	405	400	240	260	300	310
10	415	410	250	270	310	320
11	425	420	130	150	190	200
12	215	210	120	140	180	190
13	245	240	140	160	200	210
14	205	200	160	180	220	230
15	205	200	170	190	230	240
16	305	300	90	110	150	160
17	200		80	100	140	150
18	210		180	200	240	250
19	400		170	190	230	240
20			180	200	240	250
21			230	250		410
22						

Варіант № 14 Двигун СМД-18

Номер відмови	Наробітки до відмови t (ч) двигунів					
	№1	№2	№3	№4	№5	№6
1	70	110	120	170	190	100
2	90	100	140	180	200	150
3	150	190	200	180	200	190
4	180	200	230	280	300	200
5	190	250	240	310	330	200
6	240	250	290	380	400	250
7	350	250	400	380	400	230
8	360	300	410	410	430	260
9	380	400	430	280	300	270
10	400	410	450	290	310	280
11	150	420	200	170	190	300
12	170	210	220	160	180	290
13	160	240	210	180	200	310
14	140	200	190	200	220	310
15	130	200	180	210	230	330
16	90	300	140	130	150	320
17	350		400	120	140	340
18	80		130	220	240	350
19	60		110	210	230	360
20			100	220	240	420
21			430	250		410
22						
23						

Варіант № 15 Двигун СМД-17Н

Номер відмови	Наробітки до відмови t (ч) двигунів					
	№1	№2	№3	№4	№5	№6
1	120	110	60	110	190	170
2	110	100	70	120	200	180
3	200	190	140	190	200	180
4	210	200	150	200	300	280
5	260	250	180	230	330	310
6	260	250	190	240	400	380
7	260	250	200	250	400	380
8	310	300	210	260	430	410
9	410	400	250	300	300	280
10	420	410	220	270	310	290
11	430	420	260	310	190	170
12	220	210	350	400	180	160
13	250	240	360	410	200	180
14	210	200	250	300	220	200
15	210	200	260	310	230	210
16	310	300	290	340	150	130
17	200		340	390	140	120
18	210		250	300	240	220
19	400		150	200	230	210
20			150	200	240	220
21			200	250		410
22						

Варіант № 16 Двигун СМД-18

Номер відмови	Наробітки до відмови t (ч) двигунів				
	№1	№2	№3	№4	№5
1	140	110	80	110	90
2	190	100	90	120	100
3	200	190	160	190	170
4	220	200	170	200	180
5	230	250	200	230	210
6	240	250	210	240	220
7	250	250	220	250	230
8	260	300	230	260	240
9	270	400	270	300	280
10	300	410	240	270	250
11	310	420	280	310	290
12	320	210	370	400	380
13	400	240	380	410	390
14	380	200	270	300	280
15	310	200	280	310	290
16	320	300	310	340	320
17	200		360	390	370
18	210		270	300	280
19	400		170	200	180
20			170	200	180
21			220	250	230
22					
23					

Варіант № 17 Двигун СМД-14

Номер відмови	Наробітки до відмови t (ч) двигунів					
	№1	№2	№3	№4	№5	№6
1	80	110	100	110	190	175
2	90	100	110	120	200	185
3	160	190	180	190	200	185
4	170	200	190	200	300	285
5	200	250	220	230	330	315
6	210	250	230	240	400	385
7	220	250	240	250	400	385
8	230	300	250	260	430	415
9	270	400	290	300	300	285
10	240	410	260	270	310	295
11	280	420	300	310	190	175
12	370	210	390	400	180	165
13	380	240	400	410	200	185
14	270	200	290	300	220	205
15	280	200	300	310	230	215
16	310	300	330	340	150	135
17	360		380	390	140	125
18	270		290	300	240	225
19	170		190	200	230	215
20	170		190	200	240	225
21	220		240	250		410
22						

Варіант № 18 Двигун СМД-19

Номер відмови	Наробітки до відмови t (ч) двигунів					
	№1	№2	№3	№4	№5	
1	140	110	180	110	190	
2	140	100	190	120	200	
3	240	190	190	190	200	
4	270	200	290	200	300	
5	340	250	320	230	330	
6	340	250	390	240	400	
7	370	250	390	250	400	
8	240	300	420	260	430	
9	250	400	290	300	300	
10	130	410	300	270	310	
11	120	420	180	310	190	
12	140	210	170	400	180	
13	160	240	190	410	200	
14	170	200	210	300	220	
15	90	200	220	310	230	
16	80	300	140	340	150	
17	180		130	390	140	
18	170		230	300	240	
19	180		220	200	230	
20			230	200	240	
21			430	250		
22						
23						

Варіант № 19 Двигун СМД-21

Номер відмови	Наробітки до відмови t (ч) двигунів				
	№1	№2	№3	№4	№5
1	140	110	120	110	190
2	190	100	130	120	200
3	200	190	200	190	200
4	220	200	210	200	300
5	230	250	240	230	330
6	240	250	250	240	400
7	250	250	260	250	400
8	260	300	270	260	430
9	270	400	310	300	300
10	300	410	280	270	310
11	310	420	320	310	190
12	320	210	410	400	180
13	400	240	420	410	200
14	380	200	310	300	220
15	310	200	320	310	230
16	320	300	350	340	150
17	200		400	390	140
18	210		310	300	240
19	400		210	200	230
20			210	200	240
21			260	250	
22					

Варіант № 20 Двигун СМД-20

Номер відмови	Наробітки до відмови t (ч) двигунів					
	№1	№2	№3	№4	№5	№6
1	60	110	120	75	190	100
2	80	100	140	125	200	150
3	140	190	200	165	200	190
4	170	200	230	175	300	200
5	180	250	240	175	330	200
6	230	250	290	225	400	250
7	340	250	400	205	400	230
8	350	300	410	235	430	260
9	370	400	430	245	300	270
10	390	410	450	255	310	280
11	140	420	200	275	190	300
12	160	210	220	265	180	290
13	150	240	210	285	200	310
14	130	200	190	285	220	310
15	120	200	180	305	230	330
16	80	300	140	295	150	320
17	340		400	315	140	340
18	70		130	325	240	350
19	50		110	335	230	360
20			100	395	240	420
21			430	385		410
22						
23						

Варіант № 21 Двигун СМД-22

Номер відмови	Наробітки до відмови t (ч) двигунів					
	№1	№2	№3	№4	№5	№6
1	85	110	120	75	190	100
2	105	100	140	120	200	150
3	165	190	200	190	200	190
4	195	200	230	200	300	200
5	205	250	240	230	330	200
6	255	250	290	240	400	250
7	365	250	400	250	400	230
8	375	300	410	260	430	260
9	395	400	430	300	300	270
10	415	410	450	270	310	280
11	165	420	200	310	190	300
12	185	210	220	400	180	290
13	175	240	210	410	200	310
14	155	200	190	300	220	310
15	145	200	180	310	230	330
16	105	300	140	340	150	320
17	365		400	390	140	340
18	95		130	300	240	350
19	75		110	200	230	360
20			100	200	240	420
21			430	250		410
22						

Варіант № 22 Двигун СМД-18

Номер відмови	Наробітки до відмови t (ч) двигунів					
	№1	№2	№3	№4	№5	
1	155	110	95	110	190	
2	165	100	105	120	200	
3	165	190	175	190	200	
4	265	200	185	200	300	
5	295	250	215	230	330	
6	365	250	225	240	400	
7	365	250	235	250	400	
8	395	300	245	260	430	
9	265	400	285	300	300	
10	275	410	255	270	310	
11	155	420	295	310	190	
12	145	210	385	400	180	
13	165	240	395	410	200	
14	185	200	285	300	220	
15	195	200	295	310	230	
16	115	300	325	340	150	
17	105		375	390	140	
18	205		285	300	240	
19	195		185	200	230	
20			185	200	240	
21			235	250		
22						
23						

Варіант № 23 Двигун СМД-17Н

Номер відмови	Наробітки до відмови t (ч) двигунів					
	№1	№2	№3	№4	№5	№6
1	85	110	120	155	190	100
2	105	100	140	165	200	150
3	165	190	200	165	200	190
4	195	200	230	265	300	200
5	205	250	240	295	330	200
6	255	250	290	365	400	250
7	365	250	400	365	400	230
8	375	300	410	395	430	260
9	395	400	430	265	300	270
10	415	410	450	275	310	280
11	165	420	200	155	190	300
12	185	210	220	145	180	290
13	175	240	210	165	200	310
14	155	200	190	185	220	310
15	145	200	180	195	230	330
16	105	300	140	115	150	320
17	365		400	105	140	340
18	95		130	205	240	350
19	75		110	195	230	360
20			100	205	240	420
21			430	250		410
22						

Варіант № 24 Двигун СМД-18

Номер відмови	Наробітки до відмови t (ч) двигунів					
	№1	№2	№3	№4	№5	№6
1	140	110	70	110	190	160
2	190	100	80	120	200	170
3	200	190	150	190	200	170
4	220	200	160	200	300	270
5	230	250	190	230	330	300
6	240	250	200	240	400	370
7	250	250	210	250	400	370
8	260	300	220	260	430	400
9	270	400	260	300	300	270
10	300	410	230	270	310	280
11	310	420	270	310	190	160
12	320	210	360	400	180	150
13	400	240	370	410	200	170
14	380	200	260	300	220	190
15	310	200	270	310	230	200
16	320	300	300	340	150	120
17	200		350	390	140	110
18	210		260	300	240	210
19	400		160	200	230	200
20			160	200	240	210
21			210	250		410
22						
23						

Варіант № 25 Двигун СМД-17

Номер відмови	Наробітки до відмови t (ч) двигунів					
	№1	№2	№3	№4	№5	№6
1	90	110	95	110	190	160
2	80	100	105	120	200	170
3	170	190	175	190	200	170
4	180	200	185	200	300	270
5	230	250	215	230	330	300
6	230	250	225	240	400	370
7	230	250	235	250	400	370
8	280	300	245	260	430	400
9	380	400	285	300	300	270
10	390	410	255	270	310	280
11	400	420	295	310	190	160
12	190	210	385	400	180	150
13	220	240	395	410	200	170
14	180	200	285	300	220	190
15	180	200	295	310	230	200
16	280	300	325	340	150	120
17	200		375	390	140	110
18	210		285	300	240	210
19	400		185	200	230	200
20			185	200	240	210
21			235	250		410
22						

Варіант № 26 Двигун СМД-18

Номер відмови	Наробітки до відмови t (ч) двигунів					
	№1	№2	№3	№4	№5	№6
1	85	110	120	110	190	100
2	75	100	140	120	200	150
3	165	190	200	190	200	190
4	175	200	230	200	300	200
5	225	250	240	230	330	200
6	225	250	290	240	400	250
7	225	250	400	250	400	230
8	275	300	410	260	430	260
9	375	400	430	300	300	270
10	385	410	450	270	310	280
11	395	420	200	310	190	300
12	185	210	220	400	180	290
13	215	240	210	410	200	310
14	175	200	190	300	220	310
15	175	200	180	310	230	330
16	280	300	140	340	150	320
17	200		400	390	140	340
18	210		130	300	240	350
19	400		110	200	230	360
20			100	200	240	420
21			430	250		410
22						
23						

Варіант № 27 Двигун СМД-20

Номер відмови	Наробітки до відмови t (ч) двигунів					
	№1	№2	№3	№4	№5	№6
1	140	110	85	110	190	145
2	190	100	95	120	200	155
3	200	190	165	190	200	155
4	220	200	175	200	300	255
5	230	250	205	230	330	285
6	240	250	215	240	400	355
7	250	250	225	250	400	355
8	260	300	235	260	430	385
9	270	400	275	300	300	255
10	300	410	245	270	310	265
11	310	420	285	310	190	145
12	320	210	375	400	180	135
13	400	240	385	410	200	155
14	380	200	275	300	220	175
15	310	200	285	310	230	185
16	320	300	315	340	150	105
17	200		365	390	140	95
18	210		275	300	240	195
19	400		175	200	230	185
20			175	200	240	195
21			225	250		410
22						

Варіант № 28 Двигун СМД-23

Номер відмови	Наробітки до відмови t (ч) двигунів					
	№1	№2	№3	№4	№5	№6
1	85	110	120	110	110	100
2	105	100	140	120	160	150
3	165	190	200	190	200	190
4	195	200	230	200	210	200
5	205	250	240	230	210	200
6	255	250	290	240	260	250
7	365	250	400	250	240	230
8	375	300	410	260	270	260
9	395	400	430	300	280	270
10	415	410	450	270	290	280
11	165	420	200	310	310	300
12	185	210	220	400	300	290
13	175	240	210	410	320	310
14	155	200	190	300	320	310
15	145	200	180	310	340	330
16	105	300	140	340	330	320
17	365		400	390	350	340
18	95		130	300	360	350
19	75		110	200	370	360
20			100	200	430	420
21			430	250		410
22						
23						

Варіант № 29 Двигун СМД-17

Номер відмови	Наробітки до відмови t (ч) двигунів				
	№1	№2	№3	№4	№5
1	105	110	120	200	190
2	125	100	140	210	200
3	185	190	200	210	200
4	215	200	230	310	300
5	225	250	240	340	330
6	275	250	290	410	400
7	385	250	400	410	400
8	395	300	410	440	430
9	415	400	430	310	300
10	435	410	450	320	310
11	185	420	200	200	190
12	205	210	220	190	180
13	195	240	210	210	200
14	175	200	190	230	220
15	165	200	180	240	230
16	125	300	140	160	150
17	385		400	150	140
18	115		130	250	240
19	95		110	240	230
20			100	250	240
21			430	250	
22					

Варіант № 30 Двигун СМД-22

Номер відмови	Наробітки до відмови t (ч) двигунів				
	№1	№2	№3	№4	№5
1	105	110	120	110	135
2	125	100	140	120	145
3	185	190	200	190	215
4	215	200	230	200	225
5	225	250	240	230	255
6	275	250	290	240	265
7	385	250	400	250	275
8	395	300	410	260	285
9	415	400	430	300	325
10	435	410	450	270	295
11	185	420	200	310	335
12	205	210	220	400	425
13	195	240	210	410	435
14	175	200	190	300	325
15	165	200	180	310	335
16	125	300	140	340	365
17	385		400	390	415
18	115		130	300	325
19	95		110	200	225
20			100	200	225
21			430	250	
22					
23					

Навчальне видання

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ**  
до лабораторної роботи  
«Обробка експериментальних даних по надійності двигуна»  
по дисципліні «Надійність ДВЗ»

ПРОКОПЕНКО Миколай Вікторович  
ЛІНЬКОВ Олег Юрійович

Відповідальний за випуск: А.П. Марченко

Роботу до видання рекомендував В.К. Белов

В авторській редакції

План 2009р., поз. .

Підписано до друку . Формат 60x84<sup>1/16</sup>. Папір друк №2.

Друк – ризографія. Гарнітура Times New Roman. Ум. друк. арк. .

Обл.-вид. арк. 2,8. Наклад 50 прим. Зам. № . Ціна договірна.

---

Видавничий центр НТУ «ХПІ».

Свідоцтво про державну реєстрацію ДК №116 від 10.07.2000 р.

61002, Харків, вул. Фрунзе, 21

---

Друкарня НТУ «ХПІ». 61002, Харків, вул. Фрунзе, 21

