



**Міністерство освіти і науки України**

**ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ  
УНІВЕРСИТЕТ СІЛЬСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА  
ІМЕНІ ПЕТРА ВАСИЛЕНКА**

**Навчально-науковий інститут технічного сервісу**

**Кафедра надійності, міцності і технічного сервісу  
машин ім.В.Я. Аніловича**

# **МЕТОДОЛОГІЯ НАУКОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ**

**Методичні вказівки до проведення практичних занять  
та індивідуальні завдання**

Для студентів другого (магістерського) рівня вищої освіти  
денної та заочної форм навчання  
спеціальності 208 Агроінженерія

Харків  
2019

Міністерство освіти і науки України

ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
СІЛЬСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА ІМЕНІ ПЕТРА ВАСИЛЕНКА

Навчально-науковий інститут технічного сервісу

Кафедра надійності, міцності і технічного сервісу машин  
ім.В.Я. Аніловича

## **МЕТОДОЛОГІЯ НАУКОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ**

Методичні вказівки до проведення практичних занять  
та індивідуальні завдання

Для студентів другого (магістерського) рівня вищої освіти  
денної та заочної форм навчання  
спеціальності 208 Агроінженерія

Затверджено  
рішенням Науково-методичної  
ради ННІ МСМ ХНТУСГ  
Протокол № 9  
від 14 травня 2019р

Харків  
2019

**УДК 167**  
**М 54**

Схвалено на засіданні  
кафедри надійності, міцності і технічного сервісу машин ім. В.Я.Аніловича  
Протокол №8 від "08" травня 2019 р.

Методологія наукових досліджень: метод. вказівки до проведення практичних занять та індивідуальні завдання для студентів другого (магістерського) рівня вищої освіти денної та заоч. форм навч., спец. 208 Агроінженерія / Харків. нац. техн. у-т сіл. госп-ва ім. П. Василенка; уклад.: В. Г. Кухтов, В. Б. Савченко, В. І. Іванов, О. А. Свіргун. - Харків : [б. в.], 2019. - 32с.

Методичні вказівки з дисципліни "Методологія наукових досліджень" розроблено з метою надання практичних навичок слухачами магістратури під час виконання ними практичних завдань з відповідної дисципліни. Видання включає короткий огляд теоретичних даних і приклади вирішення відповідних завдань. Методичні вказівки містять також індивідуальні завдання, які можуть бути використані слухачами як на практичних заняттях, так і в процесі самостійного опанування матеріалу дисципліни.

Видання призначене студентам другого (магістерського) рівня вищої освіти денної та заочної форм навчання, спеціальності 208 Агроінженерія

**Рецензенти:**

**А. С. Полянський**, д-р. техн. наук, проф., Харківський національний автомобільно-дорожній університет

**Ю. С. Воробйов**, д-р. техн. наук, проф., Інститут проблем машинобудування ім. А. М. Погорілого НАН України

**Відповідальний за випуск** (зав.каф.) : В. Г. Кухтов, д-р. техн. наук, проф.

© В. Г. Кухтов, В. Б. Савченко,  
В. І. Іванов, О. А. Свіргун,  
ХНТУСГ, 2019

## ВСТУП

**Мета** вивчення дисципліни «Методологія наукових досліджень» – формування системи знань магістрів, удосконалення знань в області методології, теорії та технології науково-дослідницької діяльності.

**Основні завдання** дисципліни:

- актуалізувати і поглибити знання студентів з теоретико-методологічних, методичних і організаційних аспектів науково-дослідницької діяльності;
- розвинути вміння системного підходу при організації та проведенні науково-дослідної діяльності;
- підготувати студентів до вирішення завдань науково-дослідної практики;
- формувати у студентів дослідницькі уміння, досвід роботи з підручниками, навчальними посібниками, науковою літературою, періодичними виданнями, іншими джерелами інформації;
- стимулювати студентів до систематичної самостійної навчальної праці.

У результаті вивчення дисципліни студент повинен:

- **знати** методологію і методи наукових досліджень, що сприяє розвитку раціонального мислення, оптимальній організації наукової творчості в умовах практичної діяльності;
- **вміти**: при проведенні наукових досліджень розрізняти поняття «об'єкт» і «предмет» пізнання і дослідження; формулювати мету, завдання та гіпотезу; вибрати та аналізувати необхідну інформацію для наукових досліджень; оцінювати рівень задоволення умовами, характером та результатами досліджень; виявляти фактори, що порушують відчуття психологічного комфорту та визначити шляхи їх подолання; концентрувати та орієнтувати наукові дослідження на виконання найбільш важливих завдань; користуватись ознаками наукової інформації; розрізняти галузі інформації у процесі наукових досліджень; проводити аналіз інформаційних матеріалів та опрацювання джерел інформації; оцінювання результатів дослідження та техніко-економічне обґрунтування.

Методичні вказівки містять базовий теоретичний матеріал, приклади виконання і вихідні дані для виконання індивідуальних завдань, які викладач пропонує студентам до виконання у відповідності до індивідуального шифру (варіанту).

# 1. ПЛАНУВАННЯ ВИПРОБУВАНЬ ПРИ ДЕГРАДАЦІЙНОМУ ХАРАКТЕРІ РУЙНУВАННЯ ОБ'ЄКТА ДОСЛІДЖЕННЯ

## Теоретичні відомості

В загальному випадку, при проведенні прискорених випробувань коефіцієнт ущільнення  $K_y$  може бути представлений як добуток коефіцієнтів  $K_{yi}$ , які отримано за рахунок реалізації різних режимів прискорення випробувань:

$$K_y = K_{y1} \cdot K_{y2} \cdot K_{y3} \dots K_{yn}. \quad (1.1)$$

Значення коефіцієнтів визначаються параметрами випробувань. Наприклад  $K_{y1}$  може бути пов'язаний з прогнозуванням результатів випробувань,  $K_{y2}$  – з збільшенням часу випробувань протягом доби,  $K_{y3}$  – показує, в скільки разів "ущільнено" цикли навантаження об'єкту при проведенні прискорених випробувань в порівнянні з експлуатаційним режимом і т. ін.

Складовими коефіцієнта ущільнення випробувань можуть також виступати коефіцієнти переходу, які отримано за рахунок посилення навантажень - силового навантаження  $K_{nQ}$ , швидкісного навантаження  $K_{nV}$  та ін.

Методику визначення коефіцієнтів ущільнення і переходу розглянемо на прикладі деякого деградаційного процесу, вважаючи, що величина зносу  $U$  описується ступеневою функцією (рис.1.1), яка має вигляд:

$$U = a \cdot t^v, \quad (1.2)$$

де  $a$  і  $v$  - параметри, які характеризують процес зношування об'єкту.

Запишемо вирази для визначення тривалості прискорених  $t_y$  і експлуатаційних  $T_e$  випробувань. Їх відношення є коефіцієнтом ущільнення випробувань  $K_y$ :

$$K_y = \frac{T_e}{t_y} = \left( \frac{U_{sp}}{U_y} \right)^{\frac{1}{v}} \left( \frac{a_y}{a_e} \right)^{\frac{1}{v}}. \quad (1.3)$$

Помітимо, що параметр  $v$  тут характеризує нелінійність деградаційного процесу і для одного найменування виробу, зазвичай, не змінюється. Його величина, визначена за результатами раніше проведених експериментів і при розрахунках приймається постійною.

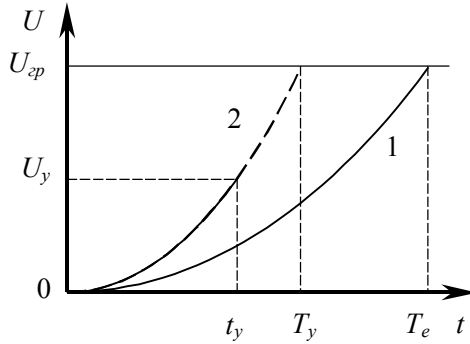


Рис.1.1 - Характер процесу зношування при проведенні експлуатаційних (1) і ущільнених (2) випробувань

Відношення гранично допустимого зносу деталі і зносу, який отримано до моменту припинення її прискореного випробування, визначає коефіцієнт ущільнення, який пов'язано з прогнозуванням результату:

$$K_{y1} = \left( \frac{U_{sp}}{U_y} \right)^{\frac{1}{v}}. \quad (1.4)$$

Відношення коефіцієнтів  $a_y$  і  $a_e$  в залежності (1.3), характеризує збільшення швидкості процесу зношування за рахунок більш жорстких швидкісного і силового режимів випробувань. Враховуючи відомий вигляд залежності, можемо отримати вирази для обчислення коефіцієнтів ущільнення при збільшенні навантаження  $K_{nQ}$  і швидкісного режиму випробувань  $K_{nV}$ :

$$K_{nQ} = \left( \frac{Q_y}{Q_e} \right)^{\frac{\beta}{v}} \quad \text{і} \quad K_{nV} = \left( \frac{V_y}{V_e} \right)^{\frac{\alpha}{v}} \quad (1.5)$$

де  $\beta$  і  $\alpha$  - відомі в довідниковій літературі коефіцієнти. Як показує практика, можна приймати значення  $\beta = 1,38$  і  $\alpha = 0,96$ .

Окрім прогнозування результатів випробувань, посилювання їх силового і швидкісного режимів, можуть використовуватися також інші способи скорочення часу випробувань. Наприклад, коефіцієнт  $K_{y2}$  може визначатися відношенням тривалості проведення прискорених випробувань протягом доби  $t_{y2}$  до добового навантаження об'єкту в експлуатації:

$$K_{y2} = \frac{t_{y2}}{t_{e2}}. \quad (1.6)$$

Коефіцієнт  $K_{y3}$  показує, в скільки разів "ущільнені" цикли навантаження об'єкту при проведенні прискорених випробувань в порівнянні з експлуатаційним режимом (без збільшення силових, швидкісних і ін. чинників); передбачається, що "ущільнення" циклів навантаження здійснюється за рахунок збільшення їх кількості на певному проміжку часу в порівнянні з експлуатацією.

Остаточне значення коефіцієнту ущільнення випробувань з урахуванням всіх факторів, які прискорюють випробування, підраховують за залежністю (1.1).

### Завдання

Підібрати режими прискорених стендових випробувань на знос палців гусеничного ланцюга трактора Т-150. Визначити середню календарну тривалість випробувань, якщо середнє напрацювання об'єкту до відмови в експлуатації складає  $T_e=3000$  мото-год.

Таблиця 1.1 - Вихідні дані до задачі

№ строки	$v$	$\frac{Q_y}{Q_s}$	$\frac{V_y}{V_e}$	$\frac{U_{zp}}{U_y}$	$K_{y3}$	$t_{e2}$
1	1,1	1,10	1,03	2,0	2,60	8,0
2	1,2	1,15	1,07	1,9	2,70	10,0
3	1,3	1,20	1,10	1,8	2,80	12,0
4	1,4	1,25	1,14	1,7	2,90	14,0
5	1,5	1,30	1,17	1,6	3,00	16,0
6	1,6	1,35	1,20	1,5	3,10	16,0
7	1,7	1,40	1,23	1,4	3,20	14,0
8	1,8	1,45	1,26	1,3	3,30	12,0
9	1,9	1,50	1,30	1,2	3,40	10,0
0	2,0	1,54	1,33	1,1	3,50	8,0
	$\bar{b}$	$\bar{v}$	$\bar{a}$	$\bar{b}$	$\bar{v}$	$\bar{a}$

## Приклад виконання розрахунку

Визначимо середню календарну тривалість випробувань з урахуванням того, що середнє напруження пальців гусеничного ланцюга трактора Т-150 до відмови в експлуатації складає  $T_e = 3000$  мото-год. При цьому приймаємо такі значення коефіцієнтів

$$K_{y3}=3,75; \quad v=1,1; \quad \frac{Q_y}{Q_e}=1,15; \quad \frac{V_y}{V_e}=1,1; \quad \frac{U_{sp}}{U_y}=2 \quad t_{e2}=8 \text{ год.}$$

### Вирішення.

Прискорення випробувань можна забезпечити ущільненням їх в часі. Це досягається за рахунок:

- прогнозування результатів випробувань, яке характеризується коефіцієнтом прискорення  $K_{y1}$ , який дорівнює

$$K_{y1} = \left( \frac{U_{sp}}{U_y} \right)^{\frac{1}{v}} = 2^{\frac{1}{1,1}} = 1,88;$$

- збільшення тривалості випробувань протягом доби, яке характеризується коефіцієнтом  $K_{y2}$ . Вважатимемо, що випробування будемо проводити цілодобово ( $t_{y2} = 24$  год):

$$K_{y2} = \frac{t_{y2}}{t_{e2}} = \frac{24}{8} = 3;$$

- максимального "ущільнення" циклів навантаження, яке характеризується коефіцієнтом  $K_{y3}=3,75$ .

Розрахункове значення загального коефіцієнта прискорення при вибраних режимах прискорених випробувань становитиме:

$$K_y = K_{y1} \cdot K_{y2} \cdot K_{y3} = 1,88 \cdot 3 \cdot 3,75 = 21,15 .$$

Збільшення значення коефіцієнта прискорення можна забезпечувати також посиленням швидкісного режиму:

$$K_{nv} = \left( \frac{V_y}{V_e} \right)^{\frac{\alpha}{v}} = (1,1)^{\frac{0,96}{1,1}} = 1,09 .$$

Тоді загальний коефіцієнт прискорення випробувань складе:

$$K_y = 21,15 \cdot 1,09 = 23,05 .$$



Посилення силового режиму навантаження забезпечує величину коефіцієнта переходу, що дорівнює

$$K_{nQ} = \left( \frac{Q_y}{Q_e} \right)^{\beta} = (1.15)^{\frac{1.382}{1.1}} = 1.19.$$

Тепер  $K_y = 21,15 \cdot 1,09 \cdot 1,19 = 27,43$ .

Якщо палець гусеничного ланцюга трактора має експлуатаційний ресурс  $T_e = 3000$  мото-год, то при 8-годинній добовій роботі машини в експлуатації ( $t_{22} = 8$  год) він досягне граничного стану за  $\frac{T_e}{t_{e2}} = \frac{3000}{8} = 375$  календарних діб. В ході прискорених випробувань такий результат буде досягнуто в  $K_y = 27,43$  разів швидше, тобто за  $\frac{375}{27,43} = 13,67$  доби.

### **Висновок**

1. Для досягнення мінімально можливої тривалості випробувань необхідно:

- випробування проводити цілодобово ( $K_{y2} = 3$ );
- посилення режиму випробувань забезпечити за рахунок збільшення швидкісного ( $K_{nV} = 1,09$ ), та силового ( $K_{nQ} = 1,19$ ) режимів.

2. Перераховані умови забезпечують значення коефіцієнта прискорення випробувань  $K_y = 27,43$ . Отже, середня тривалість випробувань не перевищуватиме 14 діб.

### **Питання для самоконтролю**

1. За рахунок чого можна скоротити час проведення випробувань?
2. В чому полягає різниця між коефіцієнтом прискорення випробувань і коефіцієнтом переходу?
3. Наведіть приклад прискорення випробувань за рахунок ущільнення циклів навантаження?
4. Які умови повинні бути витримані при прискоренні випробувань за рахунок підвищення навантажень і швидкісного режиму?

## 2. ПЛАНУВАННЯ ЕКСПЕРИМЕНТУ І ВИЗНАЧЕННЯ РЕЖИМІВ БАГАТОСТУПІНЧАСТИХ ВИПРОБУВАНЬ

### Теоретичні відомості

Часто при плануванні прискорених стендових випробувань наперед невідомі закономірності, що визначають розрахункову величину коефіцієнта прискорення (переходу), який може бути отриманий за рахунок підвищення навантажень при випробуваннях. В цьому випадку коефіцієнт переходу  $K_n$  наперед невідомий, але відомі експлуатаційні навантаження. Тоді очікувану експлуатаційну довговічність об'єкту можна отримати за результатами ступінчастих випробувань.

У відповідності до плану ступінчастих випробувань, перший зразок випробовують при експлуатаційному навантаженні  $Q_e$  деякий заданий час, не доводячи його до руйнування. Потім навантаження збільшують (посилюють режим) до заздалегідь визначеної величини і доводять об'єкт до відмови протягом напрацювання  $t_y$  (рис.2.2.а.1).

Випробування другого зразка проводять тільки в посиленому режимі, доводячи його до стану відмови за час  $T_y$  (рис.2.2.а.2).

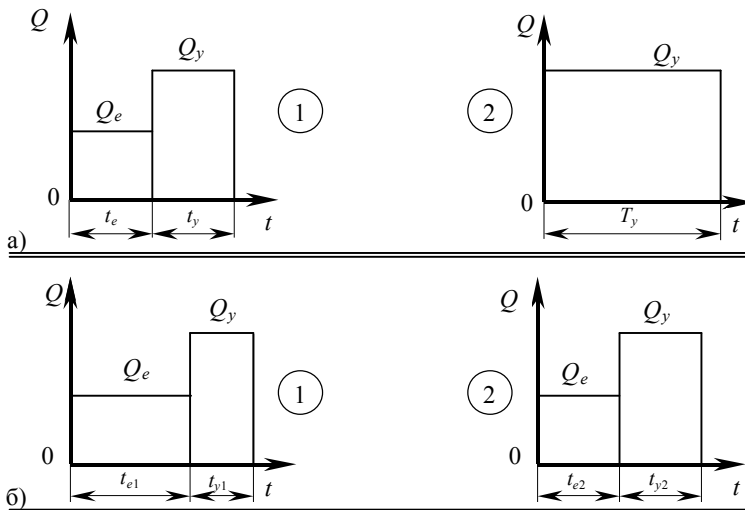


Рис.2.1 - Схеми двоступінчастих прискорених випробувань

При такій програмі проведення дослідження відпадає необхідність

знати попереднє значення коефіцієнта переходу  $K_n$ . Очікуване напрацювання до відмови в експлуатації може бути отримане безпосередньо за результатами таких випробувань.

Після проведення випробувань, отримавши напрацювання до відмови  $T_y$ , розраховують коефіцієнт переходу  $K_n$  з його математичного визначення

$$K_n = \frac{T_e}{T_y} = \frac{\frac{t_e}{t_y}}{\frac{T_y}{t_y} - 1} \quad (2.1)$$

Виходячи з припущення, що випробування першого і другого зразків проводяться одночасно, можна оцінити, у скільки разів швидше можна отримати інформацію про експлуатаційну довговічність об'єкта досліджень при двоступінчастому режимі прискорених випробувань в порівнянні з одноступінчастими випробуваннями в експлуатації, визначивши коефіцієнт прискорення  $K_y$

$$K_y = \frac{\frac{T_y}{t_e}}{\frac{t_e}{t_y} + 1} \cdot K_n \quad (2.2)$$

Визначивши таким чином коефіцієнт переходу при обраних режимах випробувань, його можна використовувати при проведенні наступних прискорених випробувань. Проводячи випробування по аналогічному плану в подальшому, з'являється можливість проводити тільки прискорені стендові одноступінчасті випробування, а експлуатаційний ресурс обчислювати за формулою

$$T_e = T_y \cdot K_n \quad (2.3)$$

При плануванні випробувань по схемі рис.2.1.б, так само як і для схеми по рис.2.1, а, для проведення двоступінчастих випробувань, потрібно два зразки. Проте, як видно з рис.2.1.б, на відміну від схеми по рис.2.1, а, обидва зразки випробовуються спочатку в експлуатаційному режимі до напрацювань  $t_{e1}$  і  $t_{e2}$ , а потім доводяться до відмов при посиленому режимі відповідно при напрацюваннях  $t_{y1}$  і  $t_{y2}$ .

Коефіцієнт переходу визначається за формулою

$$K_n = \frac{T_e}{T_y} = \frac{\frac{t_{e1} - t_{e2}}{t_{y1}}}{\frac{t_{y2}}{t_{y1}} - 1}; \quad (2.4)$$

Як і для схеми випробувань по рис.2.1.а, можна визначити коефіцієнт прискорення випробувань  $K_y$ . Для найдовшого варіанту випробувань, наприклад, першого зразка, для якого, коефіцієнт прискорення дорівнює:

$$K_y = \frac{T_e}{t_{e1} + t_{y1}} = \frac{1 - \frac{t_{y1}}{t_{e1}} \cdot \frac{t_{e2}}{t_{y1}} \cdot \frac{t_{y1}}{t_{y2}}}{1 - \frac{t_{y1}}{t_{y2}} + \frac{t_{y1}}{t_{e1}} - \frac{t_{y1}}{t_{e1}} \cdot \frac{t_{y1}}{t_{y2}}}. \quad (2.5)$$

### Завдання

Визначити значення коефіцієнтів переходу і коефіцієнтів прискорення при проведенні двоступінчастих випробувань за даними табл.2.1.

Таблиця 2.1 - Вихідні дані до завдання за визначенням коефіцієнта переходу і коефіцієнта прискорення при двоступінчастих випробуваннях

№ строки	$\frac{t_e}{t_y}$	$\frac{T_y}{t_y}$	$\frac{t_{e1}}{t_{y1}}$	$\alpha'$	$\frac{t_{y2}}{t_{y1}}$
1	5,5	1,1	5,5	0,100	1,1
2	6,0	1,2	6,0	0,125	1,2
3	6,5	1,3	6,5	0,150	1,3
4	7,0	1,4	7,0	0,175	1,4
5	7,5	1,5	7,5	0,200	1,5
6	8,0	1,6	8,0	0,225	1,6
7	8,5	1,7	8,5	0,250	1,7
8	9,0	1,8	9,0	0,275	1,8
9	9,5	1,9	9,5	0,300	1,9
0	10,0	2,0	10,0	0,325	2,0
	$\bar{b}$	$\bar{v}$	$\bar{a}$	$\bar{b}$	$\bar{b}$

## Приклад виконання розрахунку

Визначити величину коефіцієнтів переходу  $K_n'$  і  $K_n''$ , а також коефіцієнтів прискорення  $K_y'$  і  $K_y''$  при проведенні двоступінчастих випробувань відповідно до схем рис.2.1,а і 2.1,б.

**Вихідні дані** для розрахунків:

а) до схеми по рис.2.1.а:  $\frac{t_e}{t_y} = 8,0$ ;  $\frac{T_y}{t_y} = 1,6$ ;

б) до схеми по рис.2.1.б:  $\frac{t_{e1}}{t_{y1}} = 8,0$ ;  $\alpha' = 0,2$ ;  $\frac{t_{y2}}{t_{y1}} = 1,6$ .

### Вирішення.

Значення коефіцієнтів переходу  $K_n'$  і  $K_n''$  можна визначити відповідно за формулами (2.1) і (2.4). При обчисленні  $K_n''$  спочатку необхідно знайти величину співвідношення  $\frac{t_{e2}}{t_{y1}} = \alpha' \cdot \frac{t_{e1}}{t_{y1}} = 0,2 \cdot 8 = 1,6$ . Після цього можна визначити значення коефіцієнтів переходу:

$$K_n' = \frac{\frac{t_e}{t_y}}{\frac{T_y}{t_y} - 1} = \frac{8}{1,6 - 1} = 13,3; \quad K_n'' = \frac{\frac{t_{e1}}{t_{y1}} - \frac{t_{e2}}{t_{y1}}}{\frac{t_{y2}}{t_{y1}} - 1} = \frac{8 - 1,6}{1,6 - 1} = 10,07.$$

Коефіцієнти прискорення  $K_y'$  і  $K_y''$  визначаються відповідно за формулами (2.2) і (2.5):

$$K_y' = \frac{\frac{T_y}{t_y}}{\frac{t_e}{t_y} + 1} \cdot K_n = \frac{1,6}{8 + 1} \cdot 13,3 = 2,36;$$

$$K_y'' = \frac{1 - \frac{t_{y1}}{t_{e1}} \cdot \frac{t_{e2}}{t_{y1}} \cdot \frac{t_{y1}}{t_{y2}}}{1 - \frac{t_{y1}}{t_{y2}} + \frac{t_{y1}}{t_{e1}} - \frac{t_{y1}}{t_{e1}} \cdot \frac{t_{y1}}{t_{y2}}} = \frac{1 - 0,125 \cdot 1,6 \cdot 0,625}{1 - 0,625 + 0,125 - 0,125 \cdot 0,625} = 2,074.$$

**Висновок.** Як видно, при розглянутих режимах прискорених випробувань, коефіцієнти прискорення і переходу для схеми рис.2,а, дещо більші відносно коефіцієнтів прискорення і переходу схеми рис.2,б (відповідно  $K_y' = 2,36 > K_y'' = 2,074$  і  $K_n' = 13,3 > K_n'' = 10,07$ ). Тому схему, яка наведена на рис.2,а, можна вважати більш ефективною. Її використання дозволяє в подальшому проводити випробування лише в форсованому режимі, що скорочує час випробувань.

### Питання для самоконтролю

1. Який план проведення прискорених випробувань (схема рис.2,а чи схема рис.2,б) є більш ефективним, і чому?
2. За яким планом можна проводити ступінчасті випробування при визначеному значенні коефіцієнта переходу?
3. В яких випадках проведення ступінчастих випробувань можливо лише за менш ефективною схемою рис.2,б?

### 3. АПРОКСИМАЦІЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДАНИХ І ПОБУДОВА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ

#### Завдання:

Використовуючи програму MS Excel, за даними вимірювань зносу зубів шестерні підібрати математичну залежність зносу від часу випробувань. Порівняти результати, отримані при описі даних інтерполяційним поліномом, лінійною і квадратичною функціями.

Вихідні дані вибрати з табл. 3.1 відповідно до варіанту, який задано викладачем.

Таблиця 3.1 - Дані про середній знос  $y_i$  (мм) зубців шестерні колісного редуктора трактора Т-150 при відомому напрацюванні  $x_i$  (тыс. мото-год.)

№ п/п	$x_1=1$	$x_2=2$	$x_3=3$	$x_4=4$	$x_5=5$	$x_6=6$
	$y_1$	$y_2$	$y_3$	$y_4$	$y_5$	$y_6$
1	0.11	0.15	0.20	0.27	0.33	0.41
2	0.09	0.13	0.19	0.24	0.30	0.38
3	0.20	0.23	0.29	0.38	0.42	0.50
4	0.21	0.25	0.30	0.33	0.41	0.46
5	0.22	0.29	0.38	0.49	0.55	0.67
6	0.17	0.22	0.29	0.42	0.50	0.62
7	0.15	0.24	0.36	0.49	0.56	0.71
8	0.05	0.13	0.26	0.45	0.54	0.70
9	0.16	0.23	0.27	0.38	0.53	0.63
10	0.15	0.24	0.28	0.40	0.47	0.57
11	0.10	0.21	0.28	0.37	0.52	0.65
12	0.12	0.20	0.26	0.37	0.46	0.63
13	0.11	0.19	0.31	0.51	0.66	0.89
14	0.20	0.29	0.35	0.43	0.58	0.77
15	0.08	0.14	0.24	0.40	0.53	0.72
16	0.16	0.20	0.28	0.48	0.60	0.81
17	0.20	0.24	0.33	0.50	0.60	0.83
18	0.17	0.25	0.30	0.44	0.52	0.68
19	0.14	0.26	0.32	0.53	0.68	0.79
20	0.21	0.34	0.42	0.66	0.77	0.94
21	0.27	0.42	0.48	0.68	0.81	0.92
22	0.21	0.28	0.37	0.52	0.69	0.80
23	0.18	0.27	0.39	0.53	0.64	0.83
24	0.14	0.19	0.31	0.48	0.61	0.81
25	0.12	0.17	0.24	0.35	0.44	0.62
26	0.11	0.19	0.32	0.41	0.56	0.78
27	0.09	0.14	0.25	0.39	0.47	0.64
28	0.13	0.19	0.28	0.35	0.48	0.59
29	0.07	0.16	0.32	0.44	0.51	0.74
30	0.06	0.17	0.26	0.47	0.61	0.86

## Теоретичні відомості

Якщо метою експериментального дослідження є виявлення закономірностей протікання досліджуваного процесу, то його результати можуть бути представлені у вигляді таблиці. В загальному випадку така таблиця має вигляд таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 - Результати експерименту

$X$	$x_1$	$x_2$	$x_3$	.....	$x_i$	.....	$x_n$
$Y$	$y_1$	$y_2$	$y_3$	.....	$y_i$	.....	$y_n$

Як правило, при математичній обробці експериментальних даних такого роду, вимагається отримати деяку функцію  $f(x)$ , на яку могли б з високою ймовірністю потрапити інші, отримані в ході експерименту, значення. Така задача називається *апроксимацією*.

В якості апроксимуючої функції  $y=f(x)$  зазвичай вибирають достатньо просту залежність, яка дозволяє виконати аналіз особливостей протікання досліджуваного процесу, а при необхідності, задаючи необхідні значення параметра  $x$ , отримати відповідні їм значення функції  $y$ . Якщо остання задача має вирішуватися лише в межах дослідженого діапазону значень, то частіше використовують методи інтерполяції.

*Інтерполяцією* називають такий різновид апроксимації, при якому крива побудованої функції проходить точно через наявні точки даних.

Вибір найбільш придатного алгоритму і виду шуканої функції залежить від того, чи відомий вид досліджуваного процесу, на скільки точний вибраний метод, наскільки гладкою є інтерполяційна функція і якої кількості точок даних вона вимагає. На практиці частіше за все застосовують інтерполяцію многочленами. Це пов'язано перш за все з тим, що многочлени легко обчислювати і легко аналізувати, знаходячи їх похідні.

Одним з найбільш поширених у використанні видів многочленів є інтерполяційний поліном Ньютона, рівняння якого має загальний вигляд:

$$y = a_0 + a_1 \cdot x + a_2 \cdot x^2 + \dots + a_m \cdot x^m \quad (3.1)$$

З його допомогою можна отримати рівняння функції  $\tilde{y} = P_m(x)$ , яка точно проходить через  $n=m+1$  точку.



Наприклад, на рис.3.1 показана така крива  $\tilde{y} = P_5(x)$  (поліном ньютон п'ятого порядку), яка проходить через 6 точок. Аналізуючи цей рисунок, нескладно помітити, що ця крива, хоч і проходить точно через всі шість експериментально отримані точки, має не багато спільного з дійсним процесом  $y=f(x)$ , рівняння для якого невідоме.

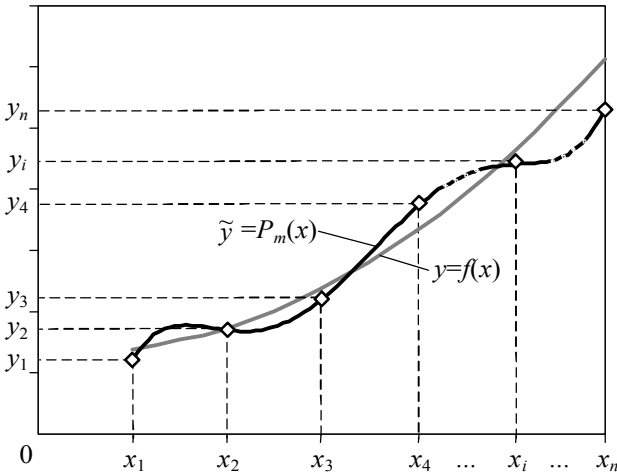


Рис.3.1 - Інтерполяція експериментальних даних досліджуваного процесу  $y=f(x)$  поліномом  $\tilde{y} = P_m(x)$

Враховуючи те, що вплив різноманітних, в тому числі і випадкових, факторів може призводити до відхилення експериментальних даних від їх теоретичних значень, точна відповідність рівняння  $\tilde{y} = P_m(x)$  до теоретичної функції  $y=f(x)$  не є обов'язковою. Тому при інтерполяції експериментальних даних поліномом  $\tilde{y} = P_m(x)$  частіше використовують поліноми невеликого порядку (першого або другого), використовуючи при цьому відповідно два або три вузли інтерполяції. При виборі з загального масиву вузлів інтерполяції, які будуть використовуватись при розрахунках, враховують вимогу рівновіддаленості вузлів один від одного по вісі  $x$ . Тобто, повинна виконуватися умова

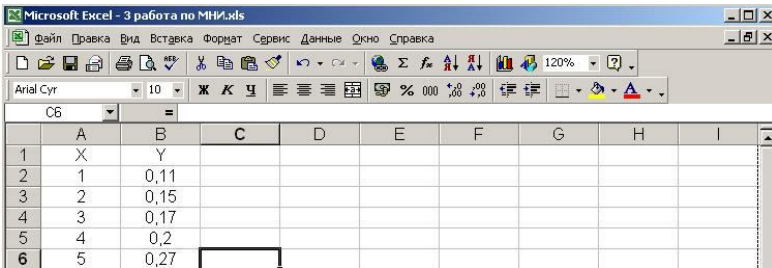
$$x_{i+1} - x_i = \Delta x_i = h = const, \quad (3.2)$$

В розглянутому методі було показано, що при використанні методів інтерполяції, отримана математична залежність може точно проходити через певну кількість точок вихідних даних. Але дуже часто значення



*Примітка:* В розглянутому прикладі обсяг експериментальних даних скорочено до  $n = 5$ )

На листі Excel набираємо вихідні дані, як показано на рис.3.2.



	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	X	Y							
2	1	0,11							
3	2	0,15							
4	3	0,17							
5	4	0,2							
6	5	0,27							

Рис.3.2 - Введення вихідних даних

Виділивши значення Y (B2-B6), натискаємо на панелі інструментів кнопку "Майстер діаграм". У вікні, що з'явилось, вибираємо ТИП - ГРАФІК і ВИГЛЯД - ГРАФІК З МАРКЕРАМИ, що ПОЗНАЧАЮТЬ ТОЧКИ ДАНИХ (Рис.3.3)

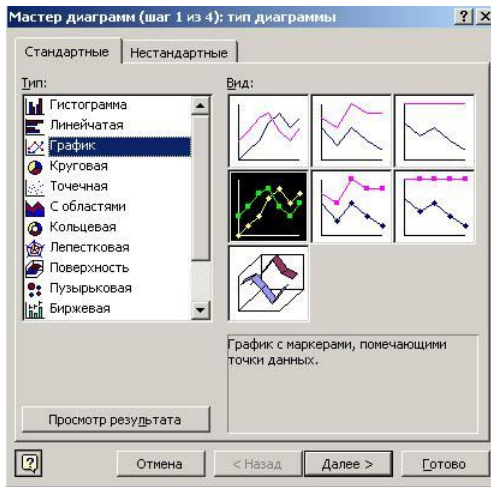


Рис.3.3 - Мастер діаграм (шаг 1)

Натискаємо ДАЛІ. В наступному вікні вибираємо вкладку РЯД. В рядку введення ПІДПИСИ ПО ОСІ X натискаємо кнопку вибору.



На полі листа виділяємо значення напрацювань (A1-A6). Натискаючи ДАЛІ, переходимо до наступного етапу настройки параметрів діаг-

рами (рис.3.4.).



Рис.3.4 - Мастер диаграмм (шаг 3)

На вкладках виконуємо наступні дії:

Вкладка ЛІНІЇ СІТКИ - встановити ВІСЬ X - ОСНОВНІ ЛІНІЇ.

Вкладка ЛЕГЕНДА - зняти ДОДАТИ ЛЕГЕНДУ.

Натискувати ДАЛІ і вибрати Помістити діаграму на листі - ІМЕЮЩЕМСЯ. Після натиснення кнопки ГОТОВО отримаємо поле графіка. Його можна перемістити в потрібне положення на листі за допомогою миші. Для того, щоб встановити значення напрацювань напроти міток по осі X, встановимо покажчик миші на будь-якому значенні горизонтальної осі і натиснемо праву кнопку миші.

У випадваючому меню виберемо ФОРМАТ ОСІ і у вкладці ШКАЛА знімемо відмітку ПЕРЕСЕЧЕНЬЕ З ВІССЮ Y МІЖ КАТЕГОРІЯМИ. Після натиснення кнопки ОК отримаємо графік, показаний на рис.3.5.

На графіку зображені точки, які відповідають вихідним даним, з'єднані відрізками. Якщо поле графіка активно, то в таблиці кольором будуть виділені клітинки з вихідними даними. Зміна значень цих клітинок автоматично призводить до зміни лінії графіка.

Проте, такий вид опису результатів експерименту недостатньо зручний для аналізу і подальшого використання.

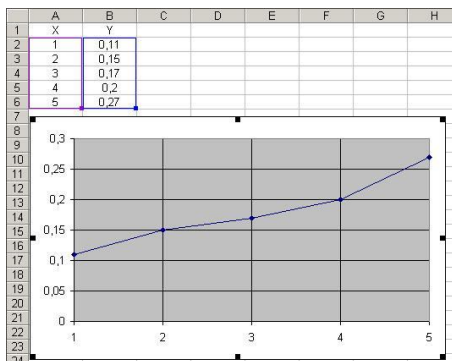


рис.3.5

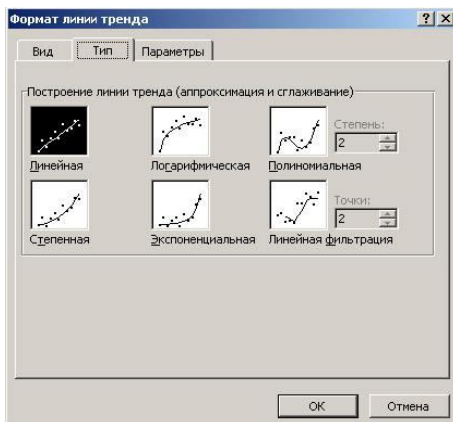


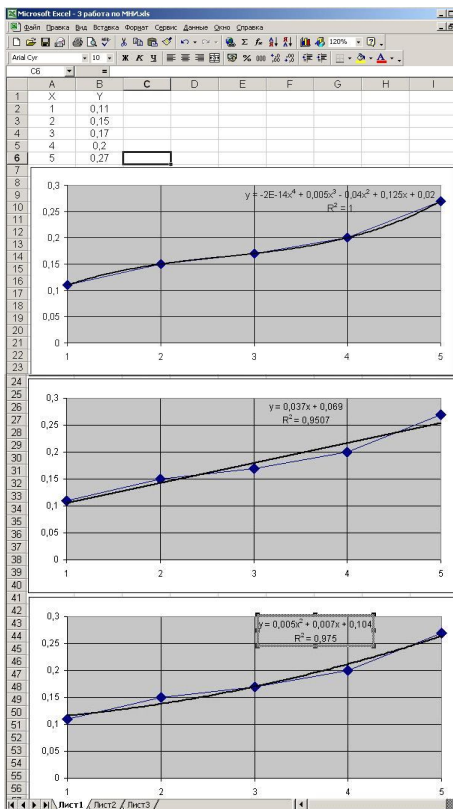
Рис.3.6

Наступним кроком є отримання математичної моделі апріорно вибраного вигляду. Для цього за допомогою миші встановимо курсор на один з відрізків графіка і натиснемо праву кнопку. У випадяючому меню виберемо пункт ДОДАТИ ЛІНІЮ ТРЕНДА. У вікні формату лінії тренда (рис.3.6), що з'явилося, на вкладці ТИП, можна вибрати бажаний вид математичної моделі (лінійна, логарифмічна, статечна і ін.). При виборі поліноміальної залежності у вікні СТУПІНЬ можна вказати необхідний ступінь полінома.

У вкладці ПАРАМЕТРИ можна встановити відмітки напроти настрійок "Показувати рівняння на діаграмі" і "Помістити на діаграму величину достовірності апроксимації R". Тоді на полі діаграми з'являться відповідні математичні вирази. Переміщаючи поле діаграми при натиснутій клавіші Ctrl можна створити необхідну кількість копій отриманої діаграми. Це дозволяє, задаючи для кожної з них відповідні настройки лінії тренда, порівняти точність апроксимації експериментальних даних вибраними видами функцій.

Причому, всі діаграми будуть прив'язані до одних і тих самих початкових даних, і при зміні їх значень, коефіцієнти всіх залежностей будуть автоматично перераховані. В остаточному варіанті лист Excel може мати вигляд, показаний на малюнку 3.7.

**Результатом виконаної роботи** є роздруківка побудованих за вихідними даними графіків з результатами аналізу точності кожної з вказаних функцій.



Поліном 4-го ступеня

Лінійна залежність

Поліном 2-го ступеня

Рис.3.7 - Результат виконання завдання

**Висновок по роботі** повинен містити аналіз відповідності розглянутих математичних моделей процесу зношування зубців шестерні колісного редуктора трактора Т-150 (фізична відповідність, показник достовірності апроксимації R), а також рівняння вибраної математичної моделі.

### Питання для самоконтролю

1. Чи є показник достовірності апроксимації R головним критерієм визначення типу математичної моделі?
2. Чи може математична модель процесу зношування мати ділянки, на яких значення функції зменшується?
3. Які зміни в плані експерименту можна запропонувати для підвищення точності отриманої математичної моделі?

## 4. СТАТИСТИЧНА ОБРОБКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДАНИХ ЗА ДОПОМОГОЮ СТАНДАРТНИХ ПРОГРАМ (MS EXCEL)

**Мета роботи:** ознайомитися з методами статистичної обробки експериментальних даних і можливостями поширеного програмного забезпечення щодо статистичного аналізу даних.

### Теоретичні відомості

Результати вимірювань різних параметрів при проведенні експерименту завжди мають ймовірнісний характер через вплив на ці результати багатьох, в тому числі і випадкових чинників. Наприклад, при вимірюванні розміру деякої деталі, результат кожного окремого вимірювання буде відрізнятися від інших. Вимірювання можуть мати розсіювання значень внаслідок неоднакової точності вимірювальних пристроїв, суб'єктивних особливостей виконавців і багатьох інших чинників.

Ще більш вираженим розсіюванням результатів вимірювань характеризуються параметри, які самі є випадковою величиною. Наприклад, глибина оранки поля залежить від багатьох чинників і носить яскраво виражений ймовірнісний характер.

Об'єктивна оцінка отриманих результатів вимірювань є однією з основних задач експерименту.

У технічних задачах вимірюваний параметр прийнято оцінювати числовими характеристиками, до числа яких відносяться середнє значення (математичне очікування), дисперсія, середнє квадратичне відхилення і коефіцієнт варіації величини яка вимірюється.

Прийнято розрізнявати теоретично можливі (генеральні) характеристики, що могли би бути отримані при обробці всієї теоретично можливої нескінченно великої сукупності вимірювань параметра (генеральної сукупності), і так звані вибіркові характеристики, визначені для обмеженої сукупності вимірювань, яка є частиною генеральної сукупності, і називається вибіркою.

### Вибіркові характеристики при малому об'ємі вибірки

Вибіркове середнє значення вимірюваного параметра обчислюється за формулою:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}, \quad (4.1)$$

де  $x_i$  - значення, отримане при  $i$ -му вимірюванні;

$n$  - кількість вимірювань.

Вибіркова дисперсія

$$D = \frac{1}{n-1} \cdot \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2. \quad (4.2)$$

Вибіркове середнє квадратичне відхилення

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n-1} \cdot \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}. \quad (4.3)$$

Вибірковий коефіцієнт варіації

$$V = \frac{\sigma}{\bar{x}}, \quad \text{або у відсотках} \quad \tilde{V} = \frac{\sigma}{\bar{x}} \cdot 100\%. \quad (4.4)$$

Вибіркові середнє значення  $\bar{x}$  і середнє квадратичне відхилення  $\sigma$ , обчислені за формулами (4.1, 4.3), є точковою оцінкою досліджуваного параметра. Для нормального закону розподілу їх зручно показати на графіку щільності розподілу (рис.4.1)

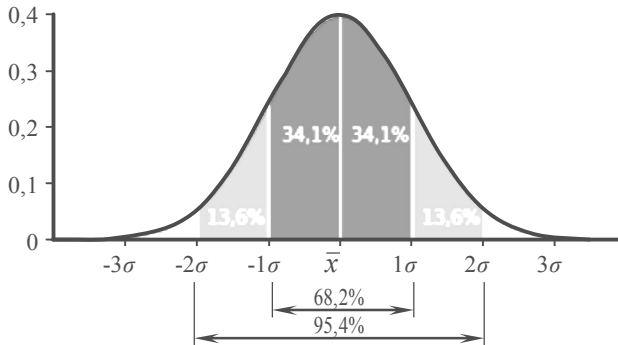


Рис.4.1 - Графік щільності ймовірності нормального розподілу і відсоток попадання випадкової величини на відрізки, які дорівнюють середньоквадратичному відхиленню

Важливе значення має також інтервальна оцінка параметра, або встановлення довірчого інтервалу, в якому з прийнятою довірчою ймовірністю  $\beta$  знаходяться значення параметра, який вимірюється.

Нижня  $x_{\min}$  і верхня  $x_{\max}$  довірчі межі визначаються за залежністю:

$$x_{\min} = \bar{x} - t_{\beta} \cdot \frac{\sigma}{\sqrt{n}}; \quad x_{\max} = \bar{x} + t_{\beta} \cdot \frac{\sigma}{\sqrt{n}}, \quad (4.5)$$

де  $t_{\beta}$  - квантіль нормального розподілу, що залежить від довірчої ймовірності  $\beta$  і визначається по таблицях. Наприклад:



при  $\beta = 0,9$ ;  $t_{\beta} = 1,64$ ;

при  $\beta = 0,8$ ;  $t_{\beta} = 1,28$  і т.д.

Методика виконання експерименту повинна містити вказівки про засоби і прийоми його виконання. Вибрані засоби, прийоми, обладнання, прилади і кількість повторень дослідів повинні забезпечувати необхідну достовірність і міру точності дослідження. Підвищити точність оцінки вимірюваного параметра при певних умовах експерименту (випробування) можна тільки шляхом збільшення обсягу проведених випробувань  $n$ .

Обґрунтування кількості випробувань є однією з задач планування експериментів. Для будь-якої імовірності, яка характеризує міру упевненості в достовірності отриманих результатів вимірювань, достатня кількість дослідів або їх повторностей визначається за формулою:

$$n = \frac{t_{\beta}^2 \cdot V^2}{E^2} \quad (4.6)$$

де  $E$  - допустима відносна похибка експерименту.

### Завдання

Для визначення втрат зерна при прибиранні комбайном проводився підрахунок кількості зернин на ділянках площею  $1\text{м}^2$ . По всій площі поля було вибрано 30 таких ділянок з урахуванням макрорельєфу, густини посіву і інших особливостей, які впливають на умови збирання врожаю. З кожної ділянки було зібрано всі втрачені зернини і підрахована їх кількість. Дані підрахунків наведено в табл. 4.1.

Таблиця 4.1 - Результати підрахунку втрат зерна на ділянках площею  $1\text{м}^2$

№ п/п	Кількість зернин на ділянці									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
1	314	289	240	287	241	309	485	430	470	417
2	297	222	507	377	581	381	662	201	498	435
3	387	262	344	493	380	186	444	582	259	399
4	374	202	334	471	180	321	390	443	382	495
5	348	382	417	528	381	384	305	475	356	240
6	310	226	538	455	288	405	524	304	383	378
7	187	369	330	229	278	378	311	387	414	296
8	433	249	342	433	402	184	365	490	270	295
9	389	407	538	358	452	256	360	306	303	449
0	289	513	244	268	377	219	286	179	278	274

## Порядок виконання завдання

1. В будь-який стовпчик чистого листа MS Excel набирають вибірку значень даних, отриманих в результаті експерименту (в прикладі, показано на рис.4.2, це стовпчик В:В, рядки 1÷30).

2. Використовуючи статистичні функції, які містяться в програмі Excel, визначають характеристики досліджуваної вибірки.

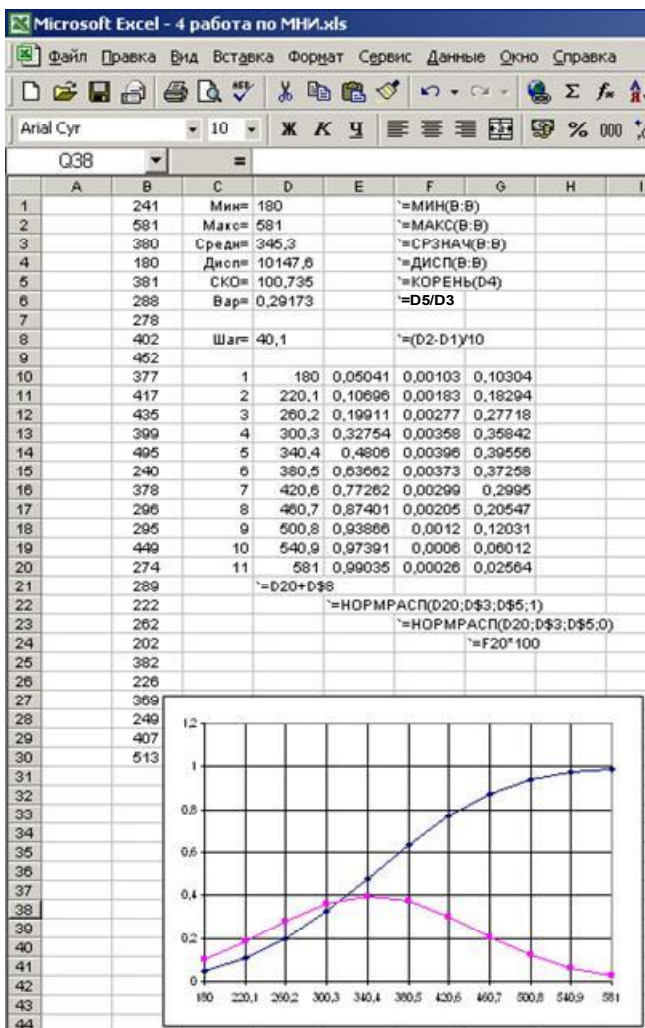
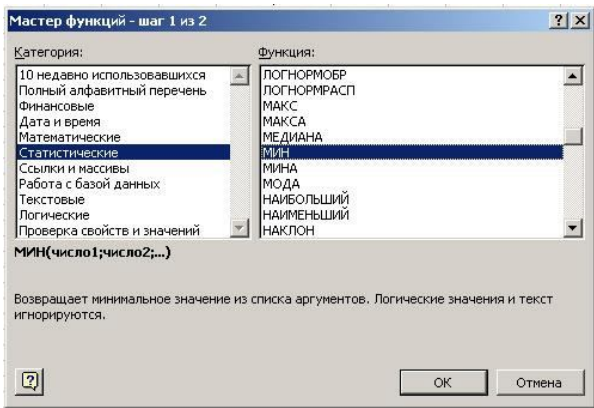


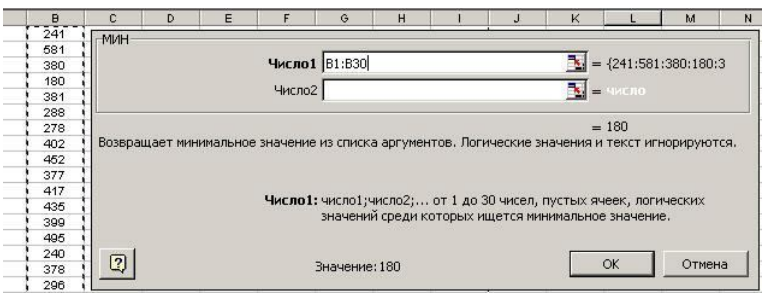
Рис.4.2 - Приклад статистичної обробки експериментальних даних.

Для цього, встановлюючи курсор в той елемент таблиці, куди буде поміщена формула (наприклад D1), викликають майстер функцій (кнопка  $f_x$ ) і вибирають необхідну функцію (рис.4.3а). Після натиснення кнопки ОК або клавіші Enter, переходять до завдання параметрів функції.

Так, наприклад, функція пошуку мінімального значення, як параметр має діапазон клітинок, що містять значення вибірки (рис.4.3б).



а)



б)

Рис.4.3 - Вибір функції і завдання її параметрів.

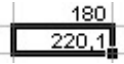
Аналогічно можна за допомогою стандартних функцій обчислити максимальне і середнє вибіркoві значення. Зазвичай, стандартні програми забезпечені лише мінімально необхідним набором функцій, який дозволяє виконати необхідні обчислення. Так, наприклад, для оцінки вибіркового середнього квадратичного відхилення можна спочатку обчислити дисперсію, а потім, взявши від неї квадратний корінь, отримати значення середнього квадратичного відхилення.

На рисунку 4.2 в рядках 1÷6 стовпчика С наведені позначення основних статистичних характеристик розглянутої вибірки даних. Формули для їх обчислення введено у відповідні рядки стовпчика D (на рисунку

бачимо результат обчислення), а в стовпчику F, як коментарі, показано зміст цих формул.

3. Для побудови графіків функції і щільності отриманого закону розподілу, необхідно спочатку розрахувати таблицю значень.

З цією метою розіб'ємо діапазон значень вибірки (від мінімального до максимального значення) на 10 інтервалів, обчислюючи крок в клітинці D8. Першому елементу створюваної таблиці (D10) привласнимо мінімальне вибіркоче значення, набравши в ній "=D1", а в наступному рядку (D11) до попереднього значення додаємо значення кроку, набравши "=D10+D\$8". Значок \$ вказує, що при копіюванні формули, значення кроку вибиратиметься саме з 8 рядка (тобто з клітинки D8).

Для формування першого стовпчика таблиці шляхом копіювання формули, виділимо клітинку D11.  Якщо потягнути мишкою за правий нижній кут виділення (він відзначений потовщеним квадратиком), то формула буде скопійована в заданий діапазон клітинок. Причому, копійована формула буде перетворена з урахуванням зміни номера рядка (рис.4.4). Саме тому нам необхідно було зафіксувати значення кроку, який знаходиться в рядку 8 (вводячи знак долара в позначення D\$8).

=D1
=D10+D\$8
=D11+D\$8
=D12+D\$8
=D13+D\$8
=D14+D\$8
=D15+D\$8
=D16+D\$8
=D17+D\$8
=D18+D\$8
=D19+D\$8

Рис.4.4 - Формули, отримані в клітинках D10÷D20 за результатами копіювання

Аналогічним чином за допомогою копіювання можуть бути заповнені стовпці таблиці, які містять значення функції і щільності розподілу. Для цього в майстрі функцій (категорія "Статистичні") вибирається функція НОРМРАСП. Параметр "інтегральний" визначає, чи буде отримане значення значенням функції (1), чи щільності (0) розподілу. Для більшої наочності на графіку, значення щільності бажано промасштабува-

ти, помноживши на 100. В результаті, перший рядок таблиці для побудови графіків має вигляд, показаний на рис.4.5.

x	F(x)	f(x)	f(x)*100
=D1	=НОРМРАСП(D10;D\$3;D\$5;1)	=НОРМРАСП(D10;D\$3;D\$5;0)	=F10*100

Рис.4.5 - Перший рядок таблиці для побудови графіків, представлений у вигляді формул

Розмножуючи цей рядок на рядки 11÷20 отримаємо таблицю, за якою можна побудувати графіки функції  $F(x)$  і щільності розподілу  $f(x)$ . Правила побудування графіків функцій наведено в роботі №3.

**Результатом виконаної роботи** є роздруківка побудованих за вихідними даними графіків.

В висновках по роботі необхідно вказати статистичні показники, які характеризують втрати зерна на досліджуваному полі.

### Питання для самоконтролю

1. В яких випадках результати експериментального дослідження можуть мати статистичний характер?
2. В чому полягає різниця між генеральними і вибірковими сукупностями досліджуваних значень?
3. Наведіть відомі Вам вибіркові характеристики.
4. Яким чином статистичні характеристики досліджуваного показника можуть використовуватись при плануванні експериментального дослідження?
5. Чи можна за допомогою статистичних показників досліджуваного процесу оцінити достовірність отриманої математичної моделі?

### **Рекомендована література**

1. Лудченко А.А., Лудченко Я.А., Примак Т.А. Основы научных исследований: Учебное пособие / под ред. Лудченко А.А. – К.: «Знання», 2001. – 113с.
2. Сухарев Э. А. Эксплуатационная надежность машин. Теория, методология, моделирование : учеб. пособие / Э. А. Сухарев. - Ровно : Б.и., 2006. - 192 с.
3. Планирование эксперимента и моделирование при исследовании эксплуатационных свойств автомобилей / А.Ф. Нефедов. Львов : Вища школа, 1976.- 160с.
4. Анилович В.Я., Гринченко А.С., Литвиненко В.Л. Надежность машин в задачах и примерах : учеб. пособие. Харьков: Око, 2001. –320с.

### **Інформаційні ресурси**

1. [http://library.dnu.dp.ua/Metodichki/metodologiyi\\_organizacija.pdf](http://library.dnu.dp.ua/Metodichki/metodologiyi_organizacija.pdf)
2. <http://e-tech.pp.ua/14669-planuvannya-bagatofaktornogo-eksperiment.html>
3. <https://learn.ztu.edu.ua/course/view.php?id=233>

## З М І С Т

Вступ .....	3
1. Планування випробувань при деградаційному характері руйнування об'єкта дослідження .....	4
2. Планування експерименту і визначення режимів багатоступінчастих випробувань .....	9
3. Апроксимація експериментальних даних і побудова математичної моделі.....	14
4. Статистична обробка експериментальних даних за допомогою стандартних програм (MS Excel).....	22

# **МЕТОДОЛОГІЯ НАУКОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ**

Методичні вказівки  
до проведення практичних занять  
та індивідуальні завдання

## **Укладачі:**

**КУХТОВ** Валерій Георгійович,  
**САВЧЕНКО** Володимир Борисович,  
**ІВАНОВ** Володимир Іванович,  
**СВІРГУН** Ольга Анатоліївна

Формат 60×84 1/16. Гарнітура Times New Roman.  
Папір для цифрового друку. Друк ризографічний.  
Умов. друк. арк. 1,9  
Наклад 100 примірників.

---

Віддруковано у друкарні ФОП Заночкин Д.Л.  
м. Харків, вул.Плеханівська, 16.  
Зам. 1704/2019. тел. 757-93-82.