

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
Національний університет «Запорізька політехніка»

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ**

до лабораторних та практичних робіт з дисципліни  
**«КОМП'ЮТЕРНІ ТЕХНОЛОГІЇ СТАТИСТИЧНОЇ  
ОБРОБКИ ДАНИХ»**

для студентів спеціальностей  
175 «Інформаційно-вимірювальні технології»,  
176 «Мікро- та наносистемна техніка»  
денної та заочної форм навчання

Методичні вказівки до лабораторних та практичних робіт з дисципліни «Комп'ютерні технології статистичної обробки даних» для студентів спеціальностей 175 «Інформаційно-вимірювальні технології», 176 «Мікро- та наносистемна техніка» денної та заочної форм навчання / Укл.: О.В.Томашевський, Г.В. Сніжної, Н.А. Антонченко – Запоріжжя: НУ «Запорізька політехніка», 2023 – 44 с.

Укладачі: О.В. Томашевський, доц., канд. техн. наук  
Г.В. Сніжної, проф., канд. фіз.-мат. наук,  
д-р техн. наук  
Антонченко Н.А., асистент

Рецензент: В.В. Погосов, проф., д-р. фіз.-мат. наук

Відповідальний  
за випуск: А.В.Коротун, доц., канд. фіз.-мат. наук

Затверджено  
на засіданні кафедри  
мікро- та наноелектроніки  
Протокол №5  
від 17.02.2023 р.

Рекомендовано до видання  
НМК ФРЕТ  
Протокол №5  
від 23.02.2023 р.

## ЗМІСТ

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №1 «РОЗРАХУНОК СТАТИСТИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК І ПОБУДОВА ГІСТОГРАМ» .....	5
1.1 Мета роботи .....	5
1.2 Використання вмонтованих статистичних функцій з пакету аналізу Microsoft Excel .....	5
1.3 Розрахунок статистичних характеристик і побудова гістограми в пакеті «STATISTICA».....	7
1.4 Завдання до лабораторної роботи .....	8
1.5 Контрольні питання.....	9
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №2 «ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАКОНІВ РОЗПОДІЛУ ВИПАДКОВИХ ВЕЛИЧИН».....	10
2.1 Мета роботи .....	10
2.2 Використання вмонтованих статистичних функцій з пакету аналізу Microsoft Excel .....	10
2.3 Завдання до лабораторної роботи .....	10
2.4 Контрольні питання.....	11
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №3 «ПЕРЕВІРКА СТАТИСТИЧНИХ ГІПОТЕЗ ПРО ОДНОРІДНІСТЬ ВИБІРОК».....	12
3.1 Мета роботи .....	12
3.2 Використання вмонтованих статистичних функцій з пакету аналізу Microsoft Excel .....	12
3.3 Перевірка статистичних гіпотез у пакеті «STATISTICA».....	14
3.4 Завдання до лабораторної роботи .....	15
3.5 Контрольні питання.....	16
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №4 «КОРЕЛЯЦІЙНИЙ І РЕГРЕСІЙНИЙ АНАЛІЗ» .....	17
4.1 Мета роботи .....	17
4.2 Використання вмонтованих статистичних функцій з пакету аналізу Microsoft Excel .....	17
4.3 Кореляційний аналіз у пакеті «STATISTICA».....	18

4.4 Регресійний аналіз у пакеті «STATISTICA».....	19
4.5 Завдання до лабораторної роботи .....	20
4.6 Контрольні питання.....	21
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №5 «ДИСПЕРСІЙНИЙ АНАЛІЗ».....	22
5.1 Мета роботи .....	22
5.2 Використання пакету аналізу Microsoft Excel .....	22
5.3 Дисперсійний аналіз у пакеті «STATISTICA».....	22
5.4 Завдання до лабораторної роботи .....	24
5.5 Контрольні питання.....	24
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №6 «ПЛАНУВАННЯ ПОВНИХ ФАКТОРНИХ ЕКСПЕРИМЕНТІВ».....	25
6.1 Мета роботи .....	25
6.2 Планування експерименту в пакеті «STATISTICA».....	25
6.3 Завдання до лабораторної роботи .....	30
6.4 Контрольні питання.....	31
ПРАКТИЧНІ ЗАВДАННЯ.....	32
ПЕРЕЛІК РЕКОМЕНДОВАНИХ ПОСИЛАНЬ.....	41
Додаток А. Імітаційне моделювання псевдовипадкових чисел .....	42
Додаток Б. Варіанти вихідних даних .....	43
Додаток В. Вимоги до оформлення звіту з лабораторної роботи.....	44

## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №1 «РОЗРАХУНОК СТАТИСТИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК І ПОБУДОВА ГІСТОГРАМ»

### 1.1 Мета роботи

Освоїти поняття випадкової величини, функції розподілу, функції густини розподілу, математичного очікування і дисперсії випадкової величини. Навчитися оцінювати основні статистичні характеристики для випадкових величин і будувати гістограми, використовуючи рекомендовану літературу [1, 3, 4, 6].

### 1.2 Використання вмонтованих статистичних функцій з пакету аналізу Microsoft Excel

В програмі Microsoft Excel представлено багато вмонтованих статистичних функцій, за допомогою яких можна розрахувати всі статистичні характеристики, що зазвичай використовуються на практиці. Для виклику потрібної вмонтованої статистичної функції використовується команда *Вставка* → *Функція* ... чи кнопка *Вставка функції*, і у вікні *Майстер функцій* вибрати категорію «статистичні» і вказати потрібну функцію. Після вибору і клацання по кнопці ОК з'являється вікно *Аргументи функції*, за допомогою якого здійснюється введення адрес комірок таблиці із значеннями оброблюваного масиву і, при необхідності, інших необхідних величин (наприклад, ступенів вільності).

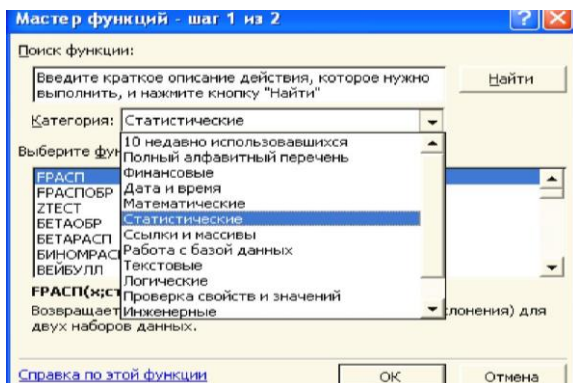


Рисунок 1.1 – Microsoft Excel: «Майстер функцій»

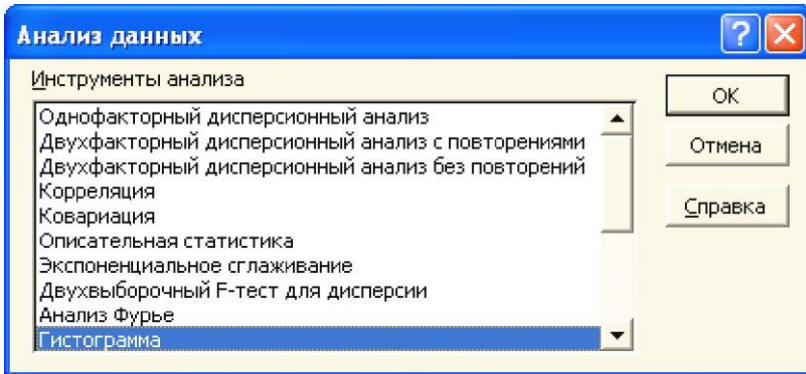


Рисунок 1.2 – Microsoft Excel: меню анализу даних

Для побудови гістограми використовується команда *Сервіс* → *Аналіз даних*, після чого вибирається інструмент аналізу – *Гістограма*.

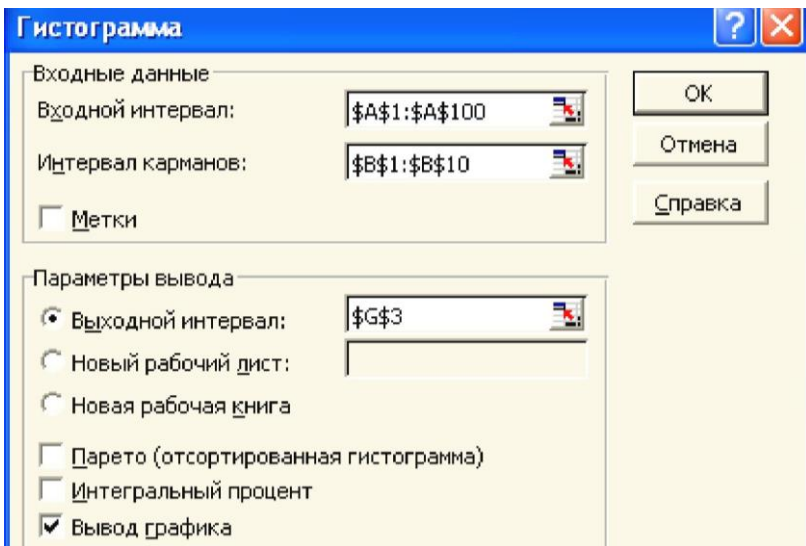


Рисунок 1.3 – Microsoft Excel: конфігуратор гістограми

У вікні *Гістограма* задається вхідний інтервал, де вказуються адреси комірок з вихідними даними і інтервал кишень, де вказуються адреси комірок із значеннями границь інтервалів. Потім задаються бажані параметри виводу після чого потрібно клацнути кнопку **ОК**.

### 1.3 Розрахунок статистичних характеристик і побудова гістограми в пакеті «STATISTICA»

У версії пакета 6.0 розрахунок статистичних характеристик і побудова гістограми визначаються процедурою, що складається з наступних кроків:

Крок 1: ввести чи імпортувати (наприклад, з Excel) вихідні дані в робочу книгу (Workbook) системи «STATISTICA».

Крок 2: виділити стовпець з уведеними чи імпортованими даними, для якого необхідно розрахувати статистичні характеристики і побудувати гістограму. При необхідності можна змінити назву стовпця.

Крок 3: клацнути по кнопці *Start menu ...*, що розташована в лівому нижньому куті вікна додатка і у меню вибрати *Statistics* → *Basic Statistics and Tables* → *Descriptive Statistics*.

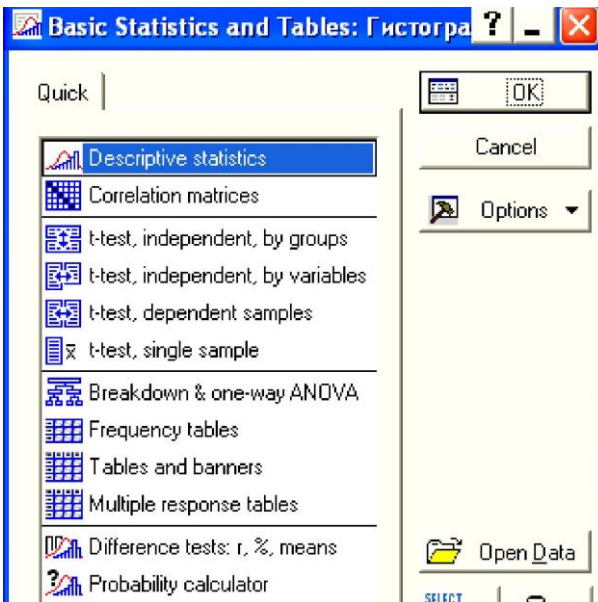


Рисунок 1.4 – STATISTICA: Basic Statistics and Tables

Крок 4: необхідні статистичні характеристики (описові статистики) задаються у вікні *Descriptive Statistics* на вкладці *Advanced*.

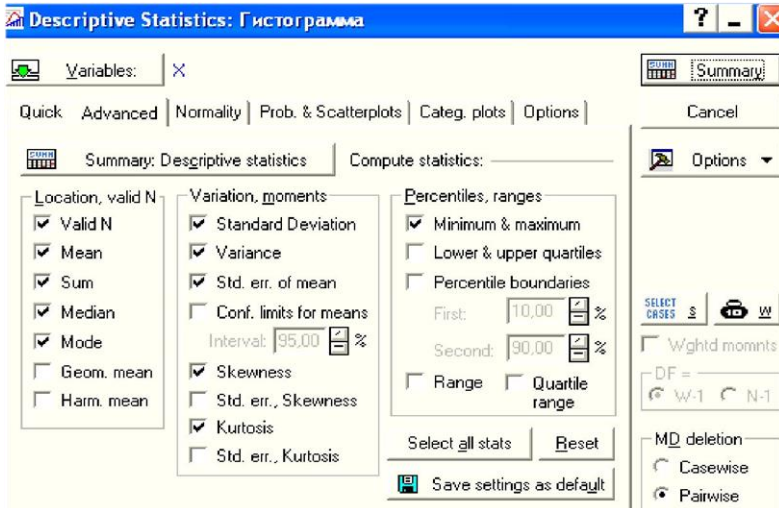


Рисунок 1.5 – STATISTICA: *Descriptive Statistics*, вкладка «Advanced»

Крок 5: для побудови таблиці з абсолютними і відносними частотами попадання даних в автоматично обраний інтервал і гістограми використовуються кнопки *Frequency table*, *Histograms* на вкладці *Quick* вікна *Descriptive Statistics*.

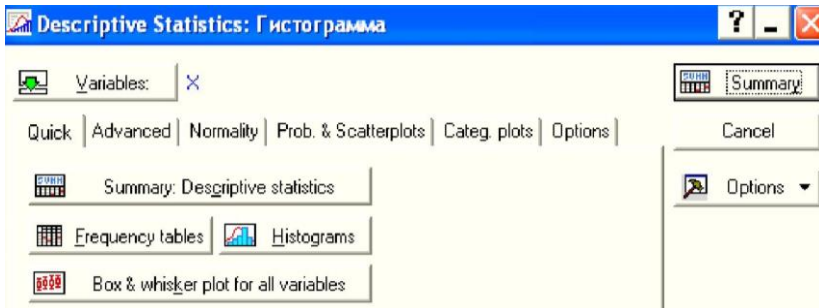


Рисунок 1.6 – STATISTICA: *Descriptive Statistics*, вкладка «Quick»

## 1.4 Завдання до лабораторної роботи

1. Одержати варіант вихідних даних для моделювання вибірки випадкових величин у викладача.
2. Виконати наступний алгоритм розрахунків:

- а) здійснити імітацію значень вибірки за допомогою методики, викладеної в додатку А;
- б) знайти кількість інтервалів, на який необхідно розбити масив вихідних даних, визначити ширину і границі інтервалів;
- в) підрахувати емпіричні частоти для кожного інтервалу;
- г) обчислити відносні частоти для кожного інтервалу;
- д) побудувати експериментальну функцію розподілу у виді гістограми;
- е) для обчислення теоретичних частот нормального розподілу знайти середини часткових інтервалів;
- ж) обчислити середнє значення й оцінку середньоквадратичного відхилення, медіану і розмах;
- з) пронормувати границі інтервалів;
- и) використовуючи функцію Лапласа, знайти теоретичні ймовірності влучення в інтервали;
- к) визначити теоретичні частоти нормального розподілу;
- л) побудувати теоретичну криву розподілу.

3. Визначити значення статистичних характеристик і побудувати гістограми за допомогою пакету «STATISTICA» і додатка Microsoft Excel.

4. Порівняти і проаналізувати результати, отримані по складеній програмі і за допомогою пакету «STATISTICA» і додатка Microsoft Excel.

### **1.5 Контрольні питання**

1. Поняття про випадкову величину, її основні статистичні характеристики.

2. Поняття про генеральну і вибірккову сукупності.

3. Емпірична і теоретична функції розподілу випадкових величин.

4. Математичне очікування і дисперсія випадкової величини.

5. Побудова гістограм для вибіркових сукупностей.

6. Як користуватися пакетом «STATISTICA» та додатком Microsoft Excel для визначення статистичних характеристик і побудови гістограм.

## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №2 «ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАКОНІВ РОЗПОДІЛУ ВИПАДКОВИХ ВЕЛИЧИН»

### 2.1 Мета роботи

Вивчити основні статистичні критерії, що використовуються для перевірки гіпотез про закон розподілу випадкової величини. Розробити програму розрахунку  $\chi^2$ -критерію Пірсона,  $\lambda$ -критерію Колмогорова і  $n\omega^2$ -критерію Мізеса-Смірнова. Освоїти засоби перевірки гіпотез про закон розподілу за допомогою модулів «STATISTICA: Basic Statistics and Tables», використовуючи рекомендовану літературу [2, 4, 6].

### 2.2 Використання вмонтованих статистичних функцій з пакету аналізу Microsoft Excel

ХИ2ТЕСТ – повертає значення для розподілу хі-квадрат (використовується як критичне значення  $\chi^2$ -критерій Пірсона).

### 2.3 Завдання до лабораторної роботи

1. Одержати варіант вихідних даних для моделювання вибірки у викладача.
2. Виконати наступний алгоритм розрахунків:
  - а) здійснити імітацію значень вибірки за допомогою методики, викладеної в додатку А;
  - б) побудувати гістограму за отриманими значеннями вибірки;
  - в) побудувати теоретичний розподіл на основі оцінок статистичних характеристик, отриманих з вибіркової сукупності;
  - г) розрахувати значення статистичних критеріїв:  $\chi^2$ -(Пірсона),  $\lambda$ -(Колмогорова) і  $n\omega^2$ -(Мізеса-Смірнова).
3. Для заданого викладачем рівня значимості знайти за таблицями критичні значення статистичних критеріїв.
4. Порівнюючи значення, що спостерігається, і критичне значення, прийняти чи відкинути гіпотезу про нормальність розподілу.
5. Визначити значення критеріїв для перевірки гіпотез про закон розподілу за допомогою пакету «STATISTICA».

6. Порівняти і проаналізувати результати, отримані за складеною програмою і за допомогою пакету «STATISTICA».

#### **2.4 Контрольні питання**

1. Використання критерію Пірсона для перевірки гіпотези про відповідність емпіричного розподілу випадкової величини нормальному закону.
2. Перевірка за допомогою критерію Колмогорова гіпотези про
3. нормальний закон розподілу.
4. Перевірка узгодженості за допомогою критерію Мізеса-Смірнова гіпотези про нормальний закон розподілу.
5. Як користуватися пакетом «STATISTICA» для перевірки гіпотез про закон розподілу.

## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №3 «ПЕРЕВІРКА СТАТИСТИЧНИХ ГІПОТЕЗ ПРО ОДНОРІДНІСТЬ ВИБІРОК»

### 3.1 Мета роботи

Вивчити основи теорії перевірки статистичних гіпотез про однорідність вибірок. Розробити програму розрахунку  $T$ -критерію,  $F$ -критерію,  $G$ -критерію і  $U$ -критерію. Навчитися розраховувати статистичні критерії для перевірки однорідності вибірок за допомогою програм «STATISTICA» і «Excel», використовуючи рекомендовану літературу [1, 2, 3, 4, 6].

### 3.2 Використання вмонтованих статистичних функцій з пакету аналізу Microsoft Excel

Для перевірки статистичних гіпотез можуть бути використані наступні вмонтовані функції:

- *TTEST* – для визначення імовірності того, що дві вибірки узяті з генеральних сукупностей з однаковим математичним очікуванням;
- *ZTEST* – для визначення імовірності того, що вибірка узята з визначеної нормально розподіленої генеральної сукупності. Можна використовувати цю функцію щоб оцінити імовірність того, що конкретне спостереження взяте з конкретної генеральної сукупності;
- *СТЪЮДРАСП* – для розрахунку критичних значень розподілу Ст'юдента ( $t$ -розподілу);
- *НОРМРАСП* – повертає нормальну функцію розподілу для зазначеного середнього і стандартного відхилення;
- *ДОВІРИТЬ* – повертає довірчий інтервал для середньо визначеної нормально розподіленої генеральної сукупності;
- *ФТЕСТ* – повертає однібічну імовірність того, що дисперсії вибірок розрізняються;
- *ХИ2ТЕСТ* – повертає значення для розподілу хі-квадрат (використовується як критичне значення  $X^2$ - критерій Пірсона).

У засобах статистичного аналізу, що викликаються командою *Аналіз даних* меню *Сервіс*, для перевірки статистичних гіпотез пропонуються наступні інструменти:

- *Двовибірковий F-тест для дисперсії* дозволяє перевірити гіпотезу про рівність дисперсій для двох вибірок;

Рисунок 3.1 – Microsoft Excel: двовибірковий F-тест для дисперсії

- *Парний двовибірковий t-тест для середніх*: для перевірки гіпотези про рівність середніх для двох вибірок за допомогою  $t$ -критерію за умови рівності обсягу вибірок;

- *Двовибірковий t-тест з однаковими дисперсіями*: двовибірковий  $t$ -тест Ст'юдента служить для перевірки гіпотези про рівність середніх для двох вибірок за умови рівності дисперсій;

- *Двовибірковий t-тест із різними дисперсіями*: двовибірковий  $t$ -тест Ст'юдента використовується для перевірки гіпотези про рівність середніх для двох вибірок за умови неоднорідності дисперсій. Вигляд вікон для  $t$ -тестів аналогічний як і для  $F$ -тесту;

- *Z-тест*: двовибірковий  $z$ -тест для середніх з відомими дисперсіями використовується для перевірки гіпотези про розходження між середніми двох генеральних сукупностей за умови, що дисперсії відомі, але гіпотези про їхню однорідність не перевірялися.

Рисунок 3.2 – Microsoft Excel: двовибірковий z-тест для середніх

### 3.3 Перевірка статистичних гіпотез у пакеті «STATISTICA»

Розглянемо на прикладі перевірки гіпотез про однорідність середніх і дисперсій двох вибірок.

Крок 1: ввести або імпортувати (наприклад, з Excel) вихідні дані в робочу книгу (Workbook) системи «STATISTICA». При перевірці гіпотез у відношенні двох вибірок вводяться два масиви (групи) даних. При необхідності можна ввести назву для таблиці і змінити назву стовпця.

Крок 2: клацнути по кнопці *Start menu ...*, що розташована в лівому нижньому куті вікна додатка і у меню вибрати *Statistics* → *Basic Statistics and Tables* → *t-test, independent, by variables*.

Крок 3: у вікні *T-Test for Independent Samples by Variables* після клацання по кнопці *Variables (Groups)* - вказати на стовпці з першою і другою вибіркою.

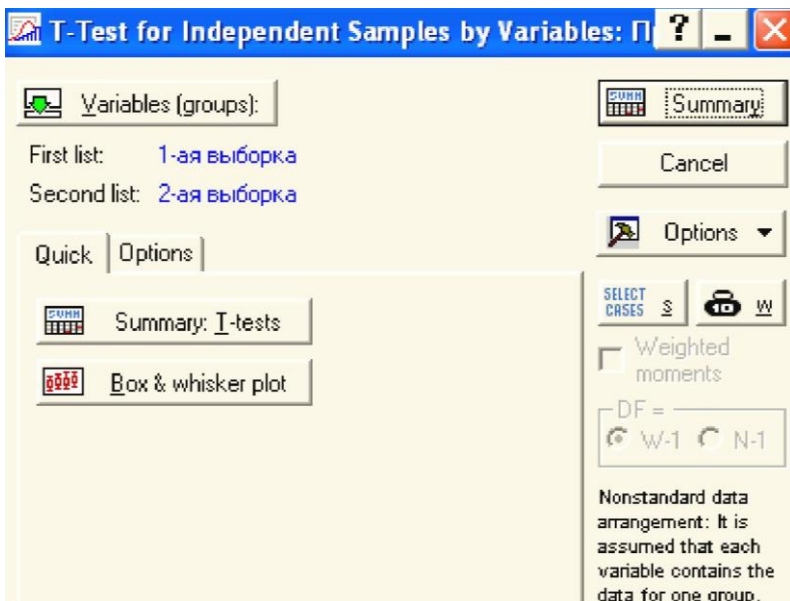


Рисунок 3.3 – STATISTICA: *T-Test for Independent Samples by Variables*

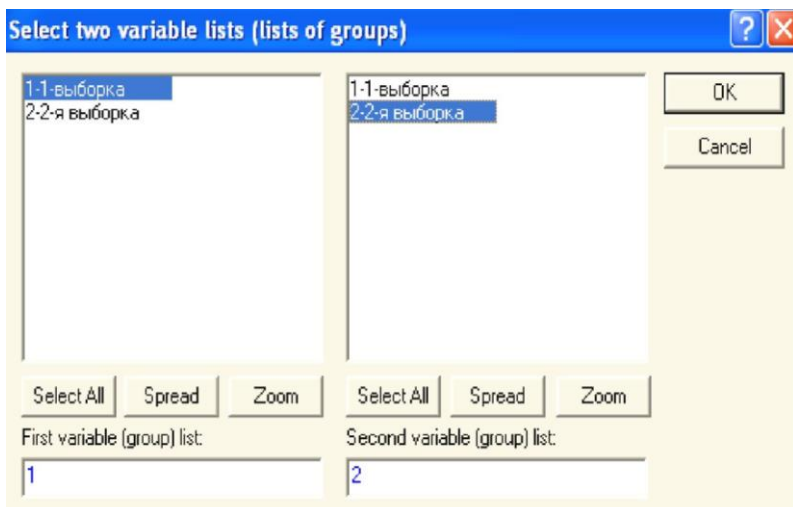


Рисунок 3.4 – STATISTICA: укавання вибірок для перевірки у  
*T-Test for Independent Samples by Variables*

Крок 4: для перевірки гіпотез про однорідність дисперсій і середніх вибирається кнопка *Summary:T-tests* (рис. 3.3).

Крок 5: після клацання по кнопці *Summary:T-tests* з'являється вікно зі значеннями середніх, середньоквадратичних, обсягами вибірок і результатами перевірки гіпотез – розрахунковими значеннями *t*-критерію і *F*-критерію.

T-test for Independent Samples (Пример 1 in Пример 1)										
Note: Variables were treated as independent samples										
	Mean	Mean	t-value	df	p	Valid N	Valid N	Std.Dev.	Std.Dev.	F-ratio
	Group 1	Group 2				Group 1	Group 2	Group 1	Group 2	Variances

Рисунок 3.5 – STATISTICA: результат перевірки гіпотез у  
*T-Test for Independent Samples by Variables*

### 3.4 Завдання до лабораторної роботи

1. Одержати у викладача варіант вихідних даних для моделювання на ЕОМ послідовностей псевдовипадкових значень порівнюваних вибірок.
2. Виконати наступний алгоритм розрахунків:

- а) здійснити імітацію значень порівнюваних вибірок за допомогою методики, викладеної в додатку А;
- б) розрахувати значення  $T$ -критерію,  $F$ -критерію,  $G$ -критерію і  $U$ -критерію для порівнюваних вибірок.
3. Визначити значення критеріїв для перевірки однорідності порівнюваних вибірок за допомогою пакету «STATISTICA» і додатку Microsoft Excel.
4. Порівняти і проаналізувати результати, отримані за складеною програмою і за допомогою пакету «STATISTICA» і додатку Microsoft Excel.

### 3.5 Контрольні питання

1. Поняття про статистичну, нульову й альтернативну гіпотези.
2. Помилки 1-го і 2-го роду в теорії перевірки статистичних гіпотез.
3. Статистичний критерій, потужність критерію.
4. Перевірка однорідності дисперсій двох вибірок.
5. Перевірка однорідності дисперсій декількох вибірок.
6. Перевірка однорідності середніх двох вибірок.
7. Перевірка приналежності двох вибірок однієї сукупності (при невідомому законі розподілу).
9. Як користуватися пакетом «STATISTICA» для перевірки
10. однорідності вибірок.
11. Як користуватися пакетом аналізу з додатка Microsoft Excel для перевірки однорідності вибірок.
12. Описати можливості модуля *Descriptive statistics*, викликаного зі стартової панелі *Basic Statistics and Tables* пакету «STATISTICA», при вивченні статистичних розподілів.
13. Описати можливості модулів:
  - *T-Test for Independent Samples by Groups* → *Quick*;
  - *T-Test for Dependent Samples* → *Quick*, викликаних зі стартової панелі *Basic Statistics and Tables* пакету «STATISTICA» при перевірці статистичних гіпотез.

## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №4 «КОРЕЛЯЦІЙНИЙ І РЕГРЕСІЙНИЙ АНАЛІЗ»

### 4.1 Мета роботи

Вивчити теоретичні основи кореляційного і регресійного аналізів. Розробити програму для розрахунку парних коефіцієнтів кореляції і коефіцієнтів лінійного рівняння регресії. Засвоїти засоби проведення кореляційного і лінійного регресійного аналізів з пакету «STATISTICA» і додатку Microsoft Excel, використовуючи рекомендовану літературу [1, 2, 3, 4, 6].

### 4.2 Використання вмонтованих статистичних функцій з пакету аналізу Microsoft Excel

Для проведення кореляційного аналізу можуть бути використані функції:

- *КОВАР* – повертає значення коваріації, тобто середнє добутків відхилень для кожної пари точок даних. Коваріація використовується для визначення зв'язку між двома множинами даних і дає можливість установити, чи асоційовані набори даних по величині, тобто великі значення з одного набору даних зв'язані з великими значеннями іншого набору (позитивна коваріація), або, навпаки, малі значення одного набору зв'язані з великими значеннями іншого (негативна коваріація), чи дані двох діапазонів ніяк не зв'язані (коваріація близька до нуля).

- *КОРРЕЛ* – повертає коефіцієнт кореляції. Коефіцієнт кореляції використовується для визначення наявності взаємозв'язку між двома вибірками.

У вікні *Аналіз даних* для кореляційного аналізу використовується інструмент - *Кореляція* та *Коваріація*.

Для проведення регресійного аналізу можуть бути використані функції:

- *ЛИНЕЙН* – розраховує за допомогою методу найменших квадратів параметри для лінійного рівняння регресії;

- *ПРЕДСКАЗ* – передбачає значення на основі рівняння лінійної регресії. Цю функцію можна використовувати для

передбачення майбутніх продаж, потреб в устаткуванні чи тенденцій споживання;

- *ТЕНДЕНЦІЯ* – повертає значення відповідно до лінійного тренда.

У вікні *Аналіз даних* для регресійного аналізу використовується інструмент – *Регресія*, користуючись яким можна отримати таблиці з регресійною статистикою, коефіцієнтами регресії, стандартними помилками, *t*-статистикою та ін.

### 4.3 Кореляційний аналіз у пакеті «STATISTICA»

Крок 1: увести або імпортувати (наприклад, з Excel) вихідні дані в робочу книгу (Workbook) системи «STATISTICA», виділити їх, увести назву таблиці вихідних даних і назви змінних.

Крок 2: клацнути по кнопці *Start menu ...*, розташованій в лівому нижньому куті вікна додатка і у меню вибрати *Statistics* → *Basic Statistics and Tables* → *Correlation matrices*.

Крок 3: у вікні *Product-Moment and Partial Correlations* → *Quick* вибрати кнопку *Summary: Correlation matrix*, після чого з'являється вікно з кореляційною матрицею по обраним змінним.

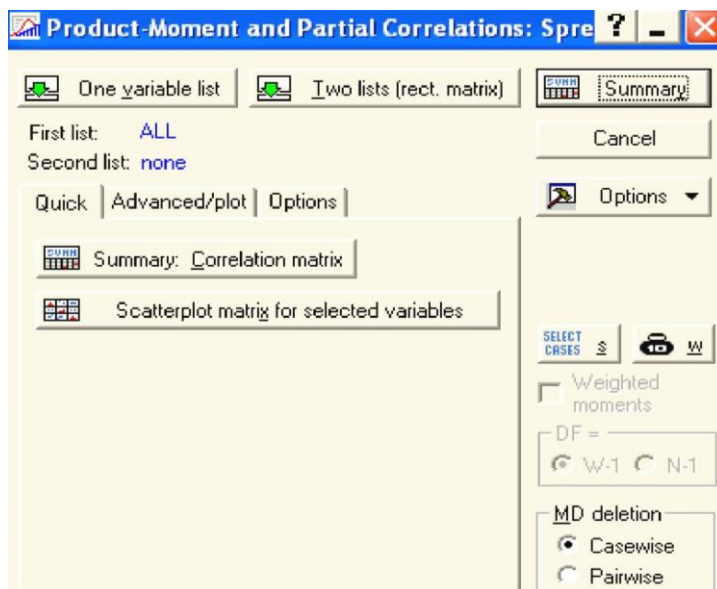


Рисунок 4.1 – STATISTICA: *Product-Moment and Partial Correlations*

#### 4.4 Регресійний аналіз у пакеті «STATISTICA»

Крок 1: ввести чи імпортувати (наприклад, з Excel) вихідні дані в робочу книгу (Workbook) системи «STATISTICA», виділити їх, увести назву таблиці вихідних даних і назви змінних.

Крок 2: клацнути по кнопці *Start menu ...*, розташованій в лівому нижньому куті вікна додатка і у меню вибрати *Statistics* → *Multiple Regression*.

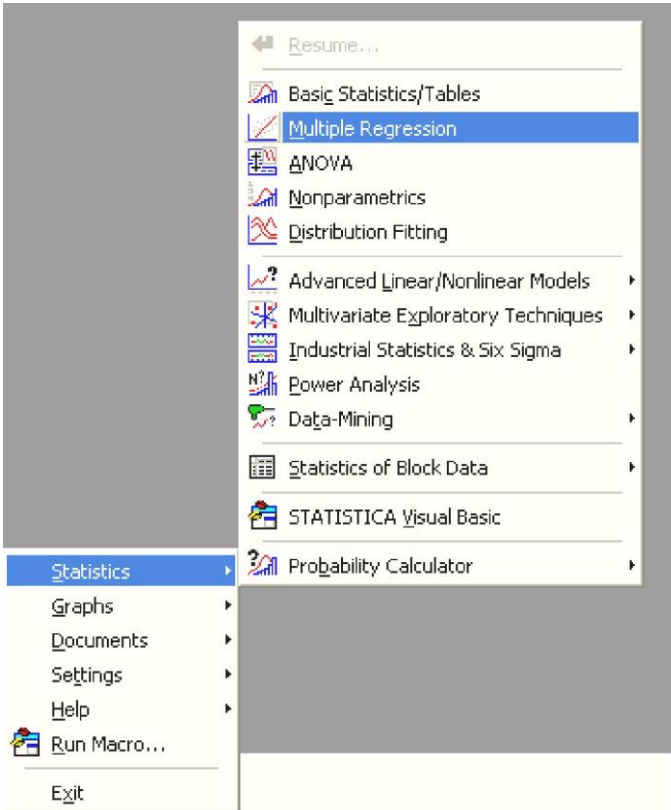


Рисунок 4.2 – STATISTICA: перехід до режиму «Multiple Regression»

Крок 3: у вікні *Multiple Linear Regression: ...* клацнути по кнопці *Variables*, після чого з'являється вікно *Select dependent and independent variable list*, в якому необхідно задати вихідну (залежну) змінну і вхідні (незалежні) змінні.

Крок 4: клацнути по кнопці ОК і з'являється вікно *Multiple Regression Results*, у якому відбиті результати аналізу і знаходяться вкладки, що дозволяють одержати більш детальну інформацію. За допомогою кнопки *Summary: Regression results* на вкладці *Quick* викликається вікно *Regression Summary for Dependent Variable*, у якому виведені коефіцієнти рівняння регресії і їхніх оцінок.

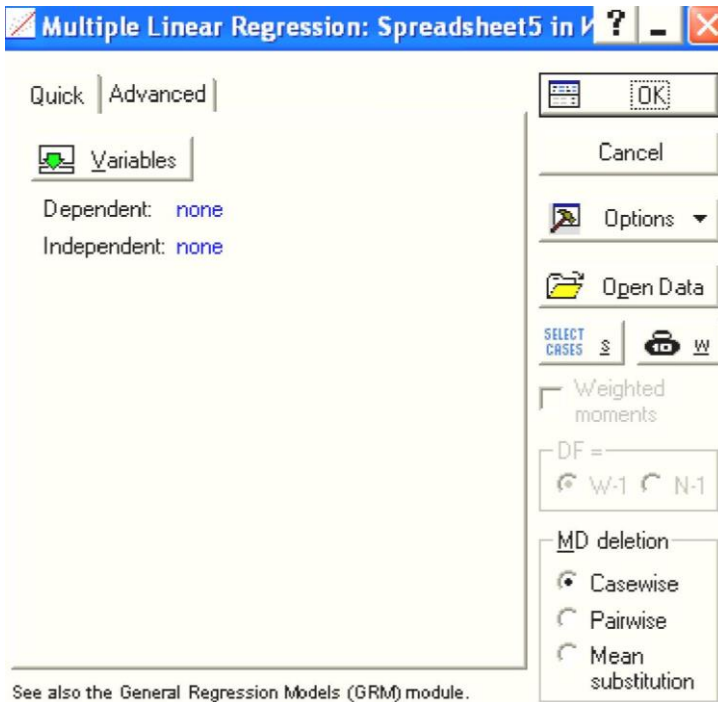


Рисунок 4.3 – STATISTICA: *Multiple Linear Regression*

#### 4.5 Завдання до лабораторної роботи

1. Одержати у викладача варіант вихідних даних для моделювання на ЕОМ значень для вхідних факторів і вихідних параметрів досліджуваного об'єкта (процесу).
2. Виконати наступний алгоритм розрахунків:
  - а) здійснити імітацію значень для вхідних факторів і вихідних параметрів за допомогою методики, викладеної в додатку А;

- б) розрахувати значення парних коефіцієнтів кореляції між вхідними факторами, між вихідними параметрами і між вхідними факторами і вихідними параметрами;
  - в) розрахувати коефіцієнти лінійних рівнянь регресії, що зв'язують вихідні параметри з вхідними факторами.
3. Провести кореляційний і регресійний аналізи для встановлення наявності зв'язку між вхідними і вихідними змінними досліджуваного об'єкта (процесу) і побудувати математичну
  4. модель за допомогою пакету «STATISTICA» і додатку Microsoft Excel.
  5. Порівняти і проаналізувати результати, отримані за складеною програмою і за допомогою пакету «STATISTICA» і додатку Microsoft Excel.

#### 4.6 Контрольні питання

1. Поняття про кореляційний зв'язок.
2. Основні задачі кореляційного аналізу.
3. Кореляційне поле і коефіцієнт кореляції.
4. Представлення вихідних даних для дослідження кореляційного зв'язку.
5. Парний і множинний коефіцієнт кореляції.
6. Задачі й основні положення регресійного аналізу.
7. Загальна схема регресійного аналізу, рівняння регресії.
8. Лінійна і поліноміальна регресія.
9. Оцінка коефіцієнтів рівняння регресії методом найменших квадратів.
10. Множинна лінійна регресія.
11. Аналіз рівняння регресії.
12. Описати можливості модуля *Product-Moment and Partial Correlations* → *Quick*, викликаного зі стартової панелі командою *Statistics* → *Basic Statistics and Tables* → *Correlation matrices*.
13. Описати можливості вкладки *Prob. & Scatterplots Tab* модуля *Descriptive Statistics*.

## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №5 «ДИСПЕРСІЙНИЙ АНАЛІЗ»

### 5.1 Мета роботи

Дослідити методику проведення дисперсійного аналізу при однофакторній і двофакторній класифікації. Розробити програму за методом однофакторного дисперсійного аналізу. Освоїти модуль ANOVA/MANOVA з пакета «STATISTICA» і засоби статистичного аналізу даних “Дисперсійний аналіз” з додатка Microsoft Excel, використовуючи рекомендовану літературу [2, 3].

### 5.2 Використання пакету аналізу Microsoft Excel

Інструменти дисперсійного аналізу доступні через команду *Аналіз даних* меню *Сервіс*. Існує кілька видів дисперсійного аналізу. Необхідний варіант вибирається з урахуванням числа факторів і наявних вибірок з генеральної сукупності.

*Однофакторний дисперсійний аналіз* використовується для перевірки гіпотези про подібність середніх значень двох чи більше вибірок, що належать одній генеральній сукупності.

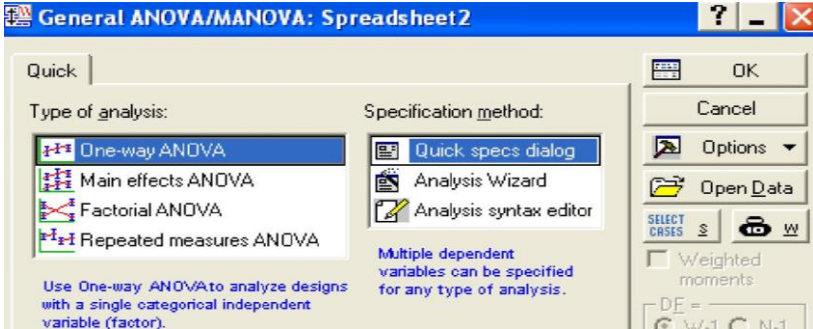
*Двофакторний дисперсійний аналіз з повтореннями* представляє собою більш складний варіант дисперсійного аналізу з декількома вибірками для кожної групи даних, його називають також дисперсійним аналізом при класифікації з групуванням.

*Двофакторний дисперсійний аналіз без повторення* представляє собою двофакторний аналіз дисперсії, що не включає більше однієї вибірки на групу, його називають також дисперсійним аналізом при класифікації з пересічними факторами.

### 5.3 Дисперсійний аналіз у пакеті «STATISTICA»

Крок 1: ввести або імпортувати (наприклад, з Excel) вихідні дані в робочу книгу (Workbook) системи «STATISTICA», виділити їх, увести назву таблиці вихідних даних і назви змінних.

Крок 2: клацнути по кнопці *Start menu ...*, розташованій в лівому нижньому куті вікна додатка і у меню вибрати *Statistics* → *ANOVA*. Після чого з'являється вікно *General ANOVA/MANOVA* → *Quick*.

Рисунок 5.1 – STATISTICA: вікно *General ANOVA/MANOVA*

Крок 3: після вибору рядка *One-way ANOVA* з'являється відповідне вікно, за допомогою якого вибираються залежні змінні (*dependent variable(s)*) і змінні, що групують (*categorical predictor variables*).

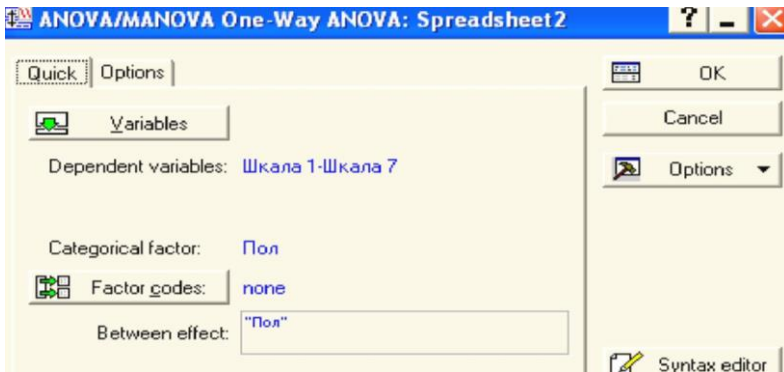
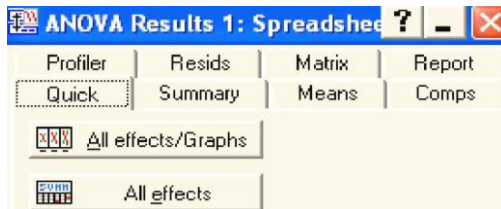


Рисунок 5.2 – STATISTICA: вибір змінних в режимі «ANOVA/MANOVA»

Крок 4: потім клацнути по кнопці **OK** і з'являється вікно *ANOVA Results* → *Quick*, де вибрати кнопку *All effects*, після чого і з'являється вікно *Multivariate Tests of Significance* з результатами аналізу.

Рисунок 5.3 – STATISTICA: *ANOVA Results*, де формується результат аналізу

### **5.4 Завдання до лабораторної роботи**

1. Одержати варіант вихідних даних у викладача.
2. Обробити вихідні дані методом дисперсійного аналізу.
3. Виконати розрахунок за допомогою модуля ANOVA/MANOVA з пакету «STATISTICA».
4. Виконати розрахунок за допомогою засобу статистичного аналізу даних «Дисперсійний аналіз» з додатку Microsoft Excel.

### **5.5 Контрольні питання**

1. Призначення і передумови застосування дисперсійного аналізу.
2. Яка величина використовується для характеристики сумарного розкиду значень випадкової величини при однофакторному дисперсійному аналізі.
3. Яка величина характеризує розкид усередині вибірок і між вибірками при однофакторному дисперсійному аналізі.
4. За допомогою якого критерію перевіряється гіпотеза про однорідність дисперсій.
5. Використання однофакторного дисперсійного аналізу для оцінки стабільності технологічного процесу.
6. Класифікація спостережень для двофакторного аналізу з факторами, що перетинаються.
7. Приклад двофакторної класифікації з факторами, що перетинаються.
8. Класифікація спостережень для двофакторного аналізу з угрупованням.
9. Приклад двофакторної класифікації з угрупованням.
10. Як представляється сумарний розкид значень досліджуваної випадкової величини при двофакторному аналізі з факторами, що перетинаються.
11. Як представляється сумарний розкид значень досліджуваної випадкової величини при двофакторному аналізі з угрупованням.
12. Як користуватися пакетом «STATISTICA» для проведення дисперсійного аналізу.
13. Як користуватися пакетом аналізу з додатка Microsoft Excel для проведення дисперсійного аналізу.

## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №6 «ПЛАНУВАННЯ ПОВНИХ ФАКТОРНИХ ЕКСПЕРИМЕНТІВ»

### 6.1 Мета роботи

Засвоїти теорію планування експерименту, опанувати методику складання матриць планування повного факторного експерименту (ПФЕ), навчитися будувати математичні моделі для дослідження й оптимізації технологічних процесів. Скласти програму для ЕОМ для обробки результатів повного факторного експерименту при заданому числі факторів. Навчитися користуватися пакетом «STATISTICA» для складання матриць планування експериментів, обробки й аналізу результатів експерименту, виконаного відповідно до складеної матриці планування, використовуючи рекомендовану літературу [1, 5].

### 6.2 Планування експерименту в пакеті «STATISTICA»

В пакеті «STATISTICA» є могутній модуль планування експериментів, що дозволяє здійснити планування повних і дробових факторних експериментів з варіюванням факторів на 2-х і/чи 3-х рівнях, побудувати центральні композиційні плани, латинські і греко-латинські квадрати, робастні (стійкі) плани і ряд інших планів.

Обмежимося розглядом тільки технології побудови планів ПФЕ та їхнім аналізом.

Крок 1: ввести або імпортувати (наприклад, з Excel) вихідні дані в робочу книгу (Workbook) системи «STATISTICA», виділити їх, увести назву таблиці вихідних даних і назви змінних. Або можна вибрати файл із уже існуючих, для прикладу візьмемо файл *2level.sta*, що знаходиться в папці *Examples* і поставляється разом із системою «STATISTICA».

Крок 2: клацнути по кнопці *Start menu ...*, розташованій в лівому нижньому куті вікна додатка і у меню вибрати *Statistics (Industrial Statistics & Six Sigma (Experimental Design (DOE))*. Після чого з'являється вікно *Design and Analysis of Experiments*, у якому після вибору потрібного плану (у даному прикладі вибирається план *2\*\*(K-p) standard designs (Box, Hunter & Hunter)* клацнути по кнопці ОК.

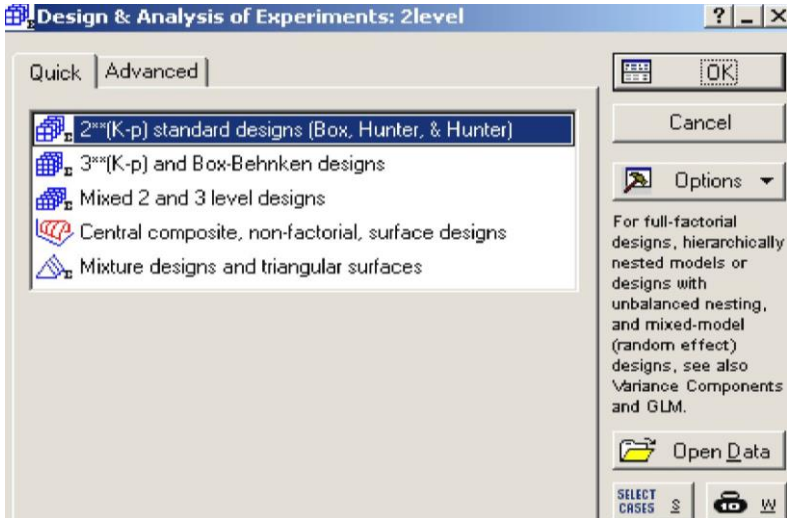


Рисунок 6.1 – STATISTICA: *Design & Analysis of Experiments*

Крок 3: у вікні *Design & Analysis of Experiments with Two-Level Factors* → *Design Experiment* задати на лічильнику *Number of factors* ( $min=2$ ,  $max=11$ ) (у даному прикладі число факторів – 2) і клацнути по кнопці OK.

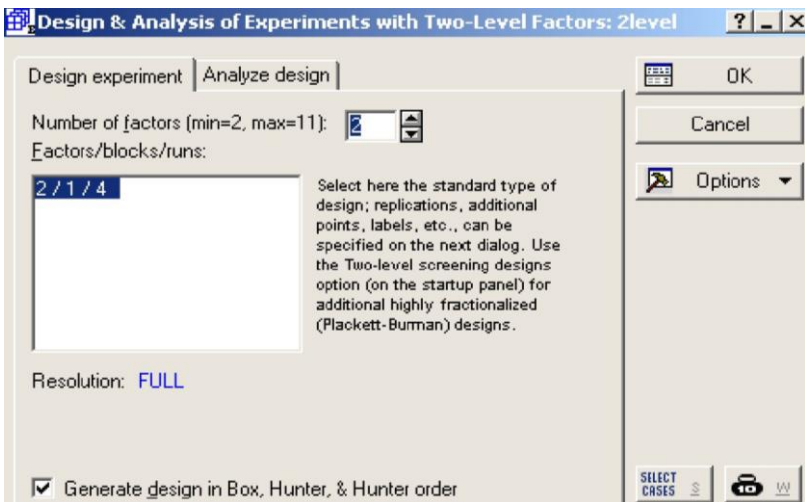


Рисунок 6.2 – STATISTICA: налаштування параметрів експерименту у вікні *Design & Analysis of Experiments (Design Experiment)*

Крок 4: у вікні *Design of an Experiment with Two-Level Factors* → *Quick* вибір кнопки *Summary: Display design* дозволяє вивести вікно з матрицею планування ПФЕ (у даному прикладі це матриця виду  $2^2$ ).

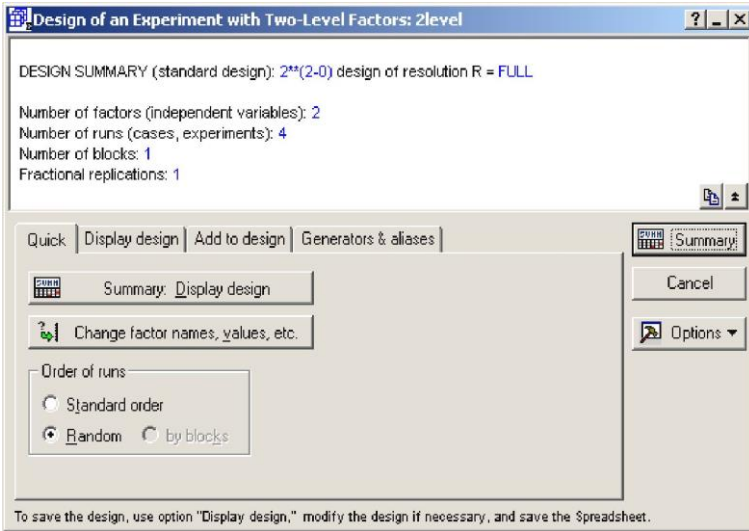


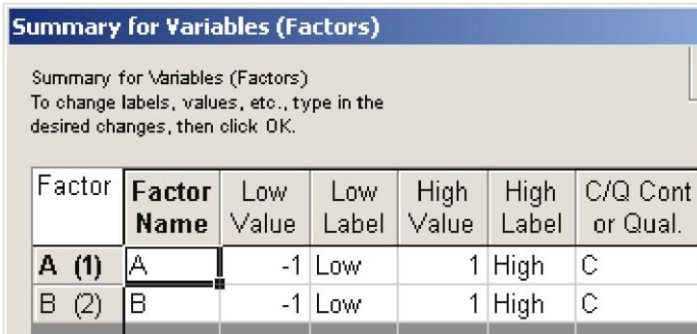
Рисунок 6.3 – STATISTICA: формування матриці планування ПФЕ

Standard Run	A	B
3	-1,00000	1,00000
4	1,00000	1,00000
1	-1,00000	-1,00000
2	1,00000	-1,00000

Design:  $2^{**}(2-0)$  design (2level)

Рисунок 6.4 – STATISTICA: матриця ПФЕ

Вибір кнопки *Change factor names, values, etc* показує кодування факторів у матриці планування.



Factor	Factor Name	Low Value	Low Label	High Value	High Label	C/Q Cont or Qual.
A (1)	A	-1	Low	1	High	C
B (2)	B	-1	Low	1	High	C

Рисунок 6.5 – STATISTICA: кодування факторів у матриці планування

Крок 5: повернутися до вікна *Design & Analysis of Experiments with Two-Level Factors*, в якому обрати вкладку – *Analyze Design Tab* і клацнути по кнопці ОК. У вікні *Design & Analysis of Experiments with Two-Level Factors* → *Analyze Design* клацнути по кнопці *Variables* і визначити залежну змінну (*dependent*), відгук і незалежні змінні (*independent (factors)*) фактори.

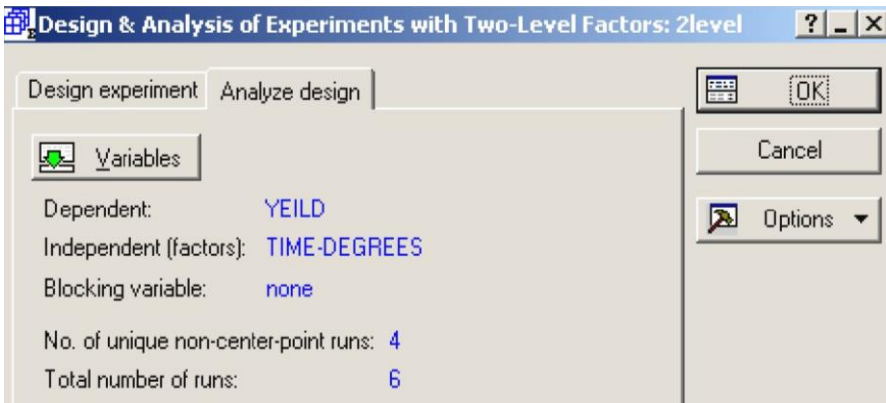


Рисунок 6.6 – STATISTICA: вікно *Design & Analysis of Experiments (Analyze Design)*

У даному прикладі визначення змінних показано в наступному вікні.

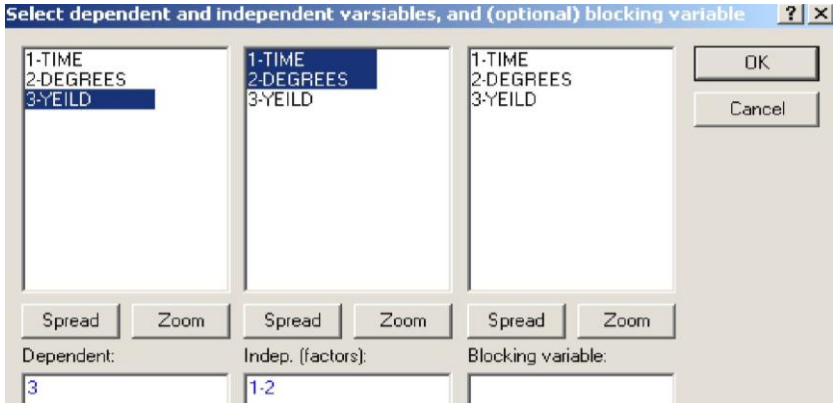


Рисунок 6.7 – STATISTICA: визначення змінних у *Design & Analysis of Experiments*

Крок 6: після натискання кнопки ОК, у вікні, що з'явилось, можна зробити всебічний аналіз результатів експерименту за досліджуваним планом. Для даного прикладу це вікно буде мати наступний вид:

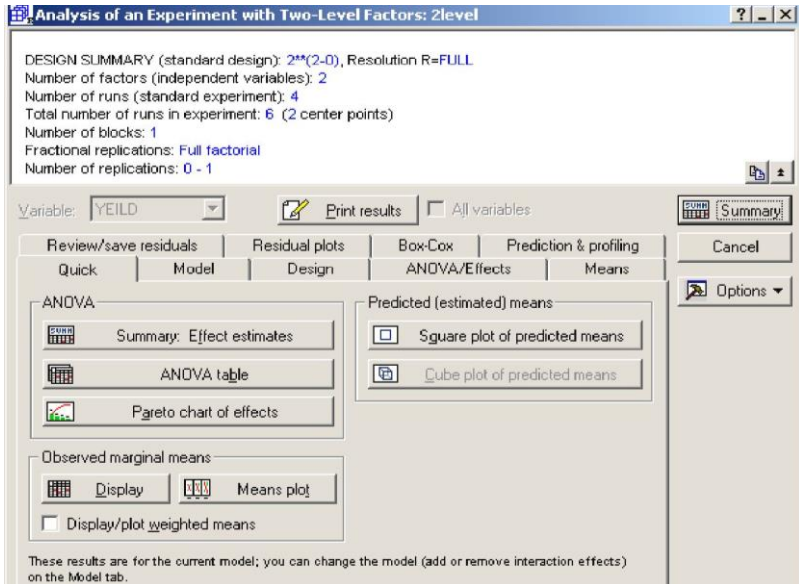


Рисунок 6.8 – STATISTICA: аналіз результатів експерименту в *Design & Analysis of Experiments*

Вибір кнопки *Summary: Effect estimates* виводить вікно з ефективними коефіцієнтами моделі.

Factor	Effect	Std. Err.	t(2)	p	-95, % Cnf. Limit	+95, % Cnf. Limit	Coeff.	Std. Err. Coeff.	-95, % Cnf. Limit	+95, % Cnf. Limit
Mean/Interc.	84,73	1,855	45,67	0,000	76,8	92,72	84,73	1,855	76,8	92,72
(1)TIME	-4,05	4,545	-0,89	0,467	-23,6	15,50	-2,02	2,272	-11,8	7,75
(2)DEGREES	2,65	4,545	0,58	0,619	-16,9	22,20	1,33	2,272	-8,5	11,10
1 by 2	-9,75	4,545	-2,15	0,165	-29,3	9,80	-4,88	2,272	-14,7	4,90

Рисунок 6.9 – STATISTICA: результати *Summary: Effect estimates*

### 6.3 Завдання до лабораторної роботи

- Одержати у викладача варіант вихідних даних для моделювання експерименту.
- Виконати наступний алгоритм розрахунків:
  - скласти матрицю планування ПФЕ для заданого числа факторів;
  - здійснити імітацію експерименту на ЕОМ скориставшись методикою, викладеної в додатку А;
  - заповнити експериментальними даними, отриманими в результаті імітаційного моделювання, матрицю планування;
  - обчислити коефіцієнти рівняння регресії;
  - зробити статистичну оцінку відтворюваності досвідів і значимості коефіцієнтів рівняння регресії;
  - перевірити адекватність рівняння регресії;
  - перейти від рівняння регресії в нормованому виді до рівняння в звичайному масштабі.
- Використовуючи отримане рівняння регресії, передбачити значення цільової функції для заданого викладачем набору значень вхідних факторів.
- За допомогою пакету «STATISTICA» скласти матрицю планування експериментів, заповнити її експериментальними даними,

отриманими в результаті імітаційного моделювання, обробити і проаналізувати результати експерименту.

5. Порівняти і проаналізувати результати, отримані за складеною програмою і за допомогою пакету «STATISTICA».

#### **6.4 Контрольні питання**

1. Для чого використовується математична теорія планування експерименту?
2. У чому полягає пасивний експеримент?
3. У чому полягає активний експеримент?
4. Назвіть вимоги, яким повинні задовольняти фактори, що підлягають включенню в рівняння регресії.
5. З яких умов вибирають параметр оптимізації?
6. Напишіть формули, за якими нормують фактори.
7. У чому полягає розходження ПФЕ і ДФЕ?
8. Причина виникнення систематичної помилки при реалізації матриці планування.
9. У чому полягає і з якою метою проводиться рандомізація порядку проведення дослідів?
10. Як здійснюють перевірку відтворюваності дослідів?
11. Напишіть формулу для розрахунку коефіцієнтів рівняння регресії при ПФЕ.
12. Як проводиться статистична оцінка значимості коефіцієнтів рівняння регресії?
13. Назвіть можливі причини незначимості коефіцієнтів рівняння регресії.
14. Назвіть можливі причини неадекватності рівняння регресії.
15. Як використовується нормоване рівняння регресії для передбачення цільової санкції при заданому наборі значень вхідних факторів?
16. Як можна перейти від нормованого рівняння регресії до рівняння регресії в звичайному масштабі?
17. Як користуватися пакетом «STATISTICA» для складання матриць планування експериментів, обробки й аналізу результатів експерименту?

## ПРАКТИЧНІ ЗАВДАННЯ

Практичне завдання 1: при вимірюванні на 100 тестових кристалів ємності МОН-структури (структури метал-окисел-напівпровідник) у режимі збагачення отримані наступні значення (у  $n\Phi$ ) наведені у табл. 6.1.

Таблиця 6.1 – Вихідні дані до ПЗ 1

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	704	663	675	672	623	648	645	686	679	684
2	679	672	658	671	694	709	665	693	670	700
3	655	679	710	702	669	662	676	643	684	705
4	700	651	713	682	692	696	663	678	707	652
5	683	672	644	692	648	673	657	643	674	676
6	711	701	662	643	691	691	629	667	693	694
7	692	661	664	657	657	654	663	669	664	647
8	659	684	636	618	634	678	661	620	680	701
9	692	661	640	641	647	701	637	690	674	724
10	677	678	708	687	661	659	708	689	670	704

На підставі моделі, що відбиває вплив на ємність МОН-структури товщини плівки окисла, отримані наступні значення математичного очікування  $\mu$  і середньоквадратичного відхилення  $s$  для генеральних сукупностей, що характеризуються розподілами ємності МОН-структури за тестовими кристалами (табл. 6.2).

Таблиця 6.2 – Значення математичного очікування  $\mu$  і середньоквадратичного відхилення  $s$  для генеральних сукупностей

$N\phi$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$\mu$	200	250	300	350	400	450	500	550	600	650
$s$	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
$N\phi$	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
$\mu$	700	720	740	760	780	785	790	795	800	805
$s$	30	32	33	34	35	36	37	38	39	40

Необхідно:

- розрахувати середнє арифметичне і середньоквадратичне відхилення для вибірки табл. 6.1;

- утворити масив зі 100 нормованих випадкових величин, отриманих на основі вибірки таблиці 6.1, прийнявши параметр зсуву рівним середньоарифметичному вибірки і параметр масштабу рівним середньоквадратичному відхиленню;

- провести початкову статистичну обробку (розрахувати статистичні характеристики і побудувати гістограму) для вибірки  $n=100$ , отриманої перетворенням нормованих значень до реальних, що відповідає генеральній сукупності з визначеним варіантом набору значень  $\mu$  і  $s$  (варіант відповідає номеру №2).

При проведенні початкової статистичної обробки використовувати:

- вмонтовані статистичні функції з пакету аналізу Microsoft Excel пакет аналізу «STATISTICA».

Практичне завдання 2: при вимірюванні коефіцієнта підсилення тестових інтегральних транзисторів у вибірці обсягом  $n=100$ , узятій з серійної партії, отримані наступні значення (табл. 6.3).

Таблиця 6.3 – Вихідні дані (вибірка 1) до ПЗ 2

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	0,946	0,947	0,956	0,953	0,950	0,942	0,954	0,946	0,948	0,942
2	0,952	0,946	0,943	0,949	0,947	0,946	0,947	0,943	0,944	0,951
3	0,957	0,951	0,947	0,959	0,945	0,944	0,948	0,953	0,950	0,948
4	0,946	0,948	0,944	0,950	0,944	0,952	0,956	0,949	0,949	0,953
5	0,950	0,942	0,953	0,950	0,949	0,956	0,947	0,955	0,951	0,951
6	0,948	0,951	0,958	0,941	0,953	0,949	0,957	0,961	0,943	0,953
7	0,955	0,950	0,952	0,949	0,956	0,952	0,948	0,951	0,950	0,950
8	0,943	0,946	0,951	0,946	0,949	0,953	0,945	0,955	0,946	0,955
9	0,952	0,944	0,954	0,959	0,954	0,953	0,951	0,957	0,943	0,952
10	0,949	0,956	0,947	0,947	0,952	0,954	0,954	0,936	0,958	0,950

Після внесення змін у технологічний процес отримали дослідну партію, результати вибірки з неї наведені в табл. 6.4.

Таблиця 6.4 – Вихідні дані (вибірка 2) до ПЗ 2

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	0,979	0,979	0,979	0,983	0,979	0,984	0,984	0,983	0,982	0,982
2	0,978	0,978	0,972	0,972	0,981	0,974	0,968	0,979	0,978	0,975
3	0,981	0,980	0,976	0,975	0,980	0,978	0,981	0,983	0,981	0,988
4	0,984	0,982	0,979	0,978	0,978	0,982	0,980	0,976	0,975	0,986
5	0,980	0,980	0,977	0,981	0,987	0,983	0,983	0,981	0,983	0,981
6	0,984	0,978	0,977	0,977	0,979	0,976	0,990	0,976	0,986	0,983
7	0,977	0,977	0,981	0,983	0,979	0,975	0,988	0,979	0,977	0,977
8	0,980	0,977	0,980	0,982	0,982	0,984	0,979	0,981	0,985	0,986
9	0,980	0,984	0,981	0,976	0,978	0,983	0,981	0,982	0,977	0,978
10	0,978	0,979	0,975	0,983	0,978	0,980	0,981	0,981	0,982	0,981

Необхідно:

- визначити закон розподілу для вибірок, узятих із серійної і дослідної партій;
- перевірити гіпотезу про рівність дисперсій для вибірок, узятих із серійної і дослідної партій;
- перевірити гіпотезу про рівність середніх для вибірок, узятих із серійної і дослідної партій;
- порівняти вибірки, узяті із серійної і дослідної партій, непараметричними методами.

При виконанні завдання використовувати пакет аналізу Microsoft Excel.

Практичне завдання 3: для дослідження впливу на товщину термічно вирощених плівок двооксиду кремнію ( $\text{SiO}_2$ ) часу і температури окислювання отримані наступні результати (табл. 6.5).

Необхідно:

- побудувати рівняння регресії, що відбивають вплив на товщину плівки  $\text{SiO}_2$  досліджуваних технологічних факторів, проаналізувати отримане рівняння;
- за допомогою статистичного пакету «STATISTICA», використавши технологію проведення регресійного аналізу, побудувати кореляційні поля для змінних.

Таблиця 6.5 – Вихідні дані до ПЗ 3

№ виміру	Товщина плівки SiO <sub>2</sub> , (ангстрем)	Час окислювання, (хв.)	Температура окислювання, (°C)
1	145	42	695
2	138	45	705
3	157	71	727
4	152	57	701
5	180	86	713
6	135	59	694
7	146	57	691
8	152	55	672
9	149	67	717
10	170	71	719
11	161	71	707
12	156	47	706
13	161	71	701
14	156	78	676
15	158	81	711
16	117	41	673
17	151	56	682
18	113	52	688
19	166	67	724
20	138	37	685
21	149	47	680
22	151	66	712
23	174	97	724
24	138	51	684
25	157	67	701

Практичне завдання 4: при виготовленні біполярних інтегральних мікросхем однією з найважливіших технологічних операцій є «дифузія фосфору». Дана операція характеризується наступними змінними:

1) вихідна змінна:

$y$  – глибина дифузії фосфору, *мкм* ;

2) вхідні змінні:

$x_1$  – час дифузії 1-ої стадії, *хв.*;

$x_2$  – час дифузії 2-ої стадії, *хв.*;

$x_3$  – поверхневий опір (*Ом/кв*) після 1-ої стадії дифузії;

$x_4$  – поверхневий опір (Ом/кв) після 2-ої стадії дифузії;

$x_5$  – температура дифузії.

Результати вимірів за даними 30 партій приведені в табл. 6.6.

Таблиця 6.6 – Вихідні дані до ПЗ 4

	$y$	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$	$x_5$
1	2,9	40	338	41,5	250,4	1044
2	3,5	34	334	44,7	244,3	1059
3	1,4	22	292	41,5	246,1	1051
4	3,7	51	352	48,5	241,8	1060
5	1,7	32	290	48,9	242,4	1044
6	2,1	34	292	39,2	237,8	1042
7	3,0	45	348	47,0	246,7	1055
8	2,9	31	324	47,8	239,7	1059
9	3,1	46	335	45,0	237,0	1053
10	2,6	44	326	45,1	247,2	1054
11	2,3	45	336	33,7	255,6	1047
12	2,7	43	304	45,8	248,4	1054
13	3,0	46	344	46,0	244,1	1064
14	1,6	20	308	40,4	231,8	1044
15	2,3	49	288	41,7	246,1	1045
16	1,4	24	315	41,8	244,0	1057
17	2,9	45	330	43,0	250,2	1046
18	2,6	42	316	46,9	250,5	1049
19	1,9	37	325	42,5	242,7	1051
20	1,9	36	319	43,0	238,6	1053
21	1,6	33	284	35,2	235,1	1037
22	1,8	33	275	36,3	248,0	1048
23	4,4	50	351	42,0	224,7	1043
24	1,6	28	289	44,9	229,4	1034
25	3,8	58	353	39,9	231,2	1044
26	2,1	37	318	33,2	229,5	1055
27	2,5	36	323	46,3	232,4	1044
28	0,4	33	260	41,1	240,0	1056
29	3,4	55	349	50,4	234,5	1059
30	3,6	43	352	42,2	229,3	1053

Необхідно:

- оцінити наявність і силу (тісноту) кореляційних зав'язків між вихідною і вхідними змінними;

- за допомогою технології кореляційного аналізу статистичного пакету «STATISTICA» побудувати кореляційні поля для змінних:

1)  $y \leftrightarrow x_1$ ;

2)  $x_2 \leftrightarrow x_5$ ;

3)  $x_3 \leftrightarrow x_5$ .

Практичне завдання 5: при виготовленні ІМС можуть виникати сховані технологічні дефекти. Для діагностики потенційно ненадійних виробів використовуються діагностичні методи контролю. Робиться припущення, що забруднення кристала можна діагностувати за допомогою перевірки струмів витікання  $I_{вит}$ . В дослідних партіях вимірювались  $I_{вит}$  на кожній мікросхемі. Потім зроблені додаткові лабораторні дослідження, що дозволили розбракувати партію на дві групи - з «чистими» і з «забрудненими» кристалами. Результати по 5 партіям приведені в табл. 6.7, «чисті» кристали закодовані - «чист», «забруднені» - «забр».

Необхідно перевірити припущення про можливість діагностування забруднення кристала за допомогою перевірки струмів витікання  $I_{вит}$  за допомогою однофакторного дисперсійного аналізу.

Таблиця 6.7 – Вихідні дані до ПЗ 5

№ п/п	1-а партія		2-а партія		3-я партія		4-а партія		5-а партія	
	«чист»	«забр»	«чист»	«забр»	«чист»	«забр»	«чист»	«забр»	«чист»	«забр»
1	1,45	1,83	1,88	2,07	1,83	2,03	1,51	2,22	1,90	2,15
2	1,63	1,92	1,39	1,85	1,60	2,14	1,56	1,86	1,41	1,84
3	1,71	1,98	1,43	1,92	1,92	2,08	1,92	1,95	1,59	2,06
4	1,54	2,03	1,45	1,93	1,66	2,22	1,64	1,95	1,72	1,92
5	1,84	2,10	1,38	1,92	1,85	1,87	1,60	1,96	1,81	1,90
6	1,75	1,91	1,87	1,62	1,48	2,22	1,56	2,08	1,80	2,02
7	1,80	1,92	1,78	2,09	1,78	2,14	1,59	1,96	1,52	1,93
8	1,78	2,07	1,85	1,86	1,35	2,12	1,75	1,95	1,92	2,13
9	1,55	1,78	1,84	1,81	1,69	1,90	1,50	2,08	1,82	1,96
10	1,44	1,97	1,50	2,04	1,78	1,84	1,75	1,99	1,70	2,03
11	1,81	2,05	1,71	2,00	1,77	1,91	1,74	2,06	1,53	1,54

Продовження таблиці 6.7.

№ п/п	1-а партія		2-а партія		3-я партія		4-а партія		5-а партія	
	«чист»	«забр»	«чист»	«забр»	«чист»	«забр»	«чист»	«забр»	«чист»	«забр»
12	1,78	1,99	1,72	2,22	1,46	1,88	1,56	2,15	1,94	1,85
13	1,76	2,07	1,74	1,87	1,48	2,06	1,81	2,09	1,93	1,91
14	1,73	1,94	1,60	2,20	1,78	1,96	1,52	2,11	1,88	2,03
15	1,80	1,96	1,56	2,14	1,67	2,07	1,53	2,19	1,60	1,96
16	1,56	1,88	1,63	1,98	2,12	2,01	1,63	2,11	1,69	2,03
17	1,85	1,92	1,36	2,08	1,81	1,88	1,65	2,05	1,65	1,78
18	1,78	1,95	1,95	1,84	1,62	1,78	1,77	2,17	1,82	1,99
19	1,69	2,09	1,87	1,99	1,64	2,30	1,56	2,06	1,92	1,83
20	1,84	2,14	1,71	1,93	1,71	1,89	2,10	2,01	1,63	2,12

Практичне завдання 6: контроль дифузійних операцій при виготовленні ІМС здійснюється за допомогою вимірювання коефіцієнта підсилення транзисторної структури  $\beta_n$ , вимірюваного на тестових комірках. В табл. 6.8 наведені результати вимірів у вибірках, взятих на протязі зміни.

Необхідно: оцінити стабільність дифузійних операцій за зміну.

Таблиця 6.8 – Вихідні дані до ПЗ 6

№ зм.	Номер вибірки							
	1	2	3	4	5	6	7	8
1	76,0	73,0	56,2	56,6	81,8	82,6	58,9	82,8
2	27,4	50,4	40,6	73,4	73,9	79,7	102,3	72,5
3	80,9	80,8	104,4	77,6	84,5	29,7	46,8	71,9
4	41,9	79,1	75,6	73,8	90,3	32,5	43,1	102,5
5	47,9	48,7	138,9	104,1	95,2	74,6	77,7	106,7
6	58,2	45,0	50,3	34,3	80,1	59,7	58,7	81,3
7	80,2	94,4	44,1	83,9	67,3	24,8	75,2	88,0
8	88,0	73,8	60,8	62,1	59,9	57,2	85,9	66,9
9	82,6	70,7	91,8	80,8	99,7	61,4	59,1	65,1
10	54,4	75,1	118,8	40,1	79,2	78,2	61,9	51,1

Практичне завдання 7: операція «травлення» істотно впливає на відсоток виходу годних при виробництві сплавних потужних транзисторів типу П210. Основними виробничо-технологічними факторами цієї операції є робітники-травильники й установки травлення (режими травлення в даному технологічному процесі

зафіксовані). Умовно назвемо ці фактори «виконавець» і «установка». Задача полягає в оцінці впливу якості праці робітників-травильників і однорідності основного технологічного устаткування, установок травлення, на відсоток виходу придатних після операції «травлення». На основі інформації супровідних листів партій результати спостережень були класифіковані відповідно до вимог проведення двофакторного дисперсійного аналізу з пересічними факторами. Для дослідження взято 2 «установки», 10 «виконавців» і проведено по 7 рівнобіжних спостережень. Результати спостережень зведені в табл. 6.9.

Таблиця 6.9 – Вихідні дані до ПЗ 7

Установка	Паралельні спостереження	Травильщик						
		1	2	3	4	5	6	7
1	1	0,968	0,989	0,989	0,989	0,984	0,984	0,995
	2	0,989	0,995	0,995	0,995	0,989	0,995	0,989
	3	0,979	0,989	0,984	0,99	0,985	0,995	0,945
	4	0,974	0,989	0,956	0,937	0,974	0,974	0,989
	5	0,974	0,948	0,959	0,933	0,99	0,947	0,964
	6	0,939	0,947	0,914	0,974	0,979	0,984	0,984
	7	0,974	0,938	0,979	0,984	0,989	0,969	0,979
	8	0,995	0,995	0,969	0,989	0,995	0,995	0,995
	9	0,995	0,984	0,984	0,979	0,969	0,984	0,979
	10	0,984	0,984	0,995	0,995	0,995	0,995	0,995
2	1	0,989	0,995	0,984	0,99	0,984	0,984	0,995
	2	0,995	0,984	0,99	0,995	0,99	0,989	0,989
	3	0,985	0,984	0,995	0,995	0,984	0,984	0,995
	4	0,995	0,989	0,989	0,989	0,995	0,99	0,989
	5	0,969	0,954	0,963	0,963	0,918	0,967	0,942
	6	0,964	0,969	0,968	0,968	0,989	0,995	0,989
	7	0,973	0,974	0,99	0,99	0,908	0,979	0,995
	8	0,984	0,995	0,973	0,973	0,984	0,968	0,989
	9	0,984	0,995	0,989	0,989	0,942	0,974	0,989
	10	0,979	0,979	0,979	0,979	0,995	0,984	0,984

Необхідно: виділити з двох факторів – «виконавець» і «установка» той, що найбільш істотно впливає на відсоток виходу придатних.

Практичне завдання 8: для побудови математичної моделі технологічної операції «дифузія бора» передбачається використовувати метод планування експерименту. Дана операція контролюється за величиною поверхневого опору  $R_s$ , що вимірюється на тестових комірках контрольних пластин. Факторами, що використовуються для керування операцією є:

$X_1$  – максимальна температура дифузії, вимірювана в  $^{\circ}\text{C}$ ;

$X_2$  – час дифузії, вимірюваний у хв.

Необхідно: на підставі результатів експерименту (табл. 6.10) побудувати матрицю планування, одержати лінійне рівняння регресії і виконати його аналіз.

Таблиця 6.10 – Вихідні дані до ПЗ 8

№ п/п	$X_1$	$X_2$	Значення $R_s$									
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	1100	15	124	121	118	119	121	123	118	126	119	120
2	900	15	93	95	90	94	93	95	91	96	87	95
3	1100	5	110	112	111	110	117	118	108	101	107	108
4	900	5	67	70	71	68	71	71	72	73	74	70

## ПЕРЕЛІК РЕКОМЕНДОВАНИХ ПОСИЛАНЬ

1. Сніжної Г.В. Моніторинг і контроль складних стохастичних систем : монографія / Г.В. Сніжної, О.В.Томашевський, С.М. Степаненко – Запоріжжя: Національний університет «Запорізька політехніка», 2022. – 124 с. ISBN 978-617-529-373-7.

2. Горват А.А., Молнар О.О., Мінкович В.В. Методи обробки експериментальних даних з використанням MS Excel: Навчальний посібник. Ужгород: Видавництво УжНУ “Говерла”, 2019. – 160 с.

3. Кузьмичов А.І. Ймовірнісне та статистичне моделювання в Excel для прийняття рішень. Навч. пос./ Бишовець Н.Г., Кузьмичов А.І., Куценко Г.В., Омечинська Н.В., Юсипів Т.В. – К.: Видавництво Ліра-К, 2019. – 200 с.

4. Томашевський О.В. Впровадження стандарту ISO 9001:2015 в систему менеджмента якості виробництва авіаційних двигунів / О.В. Томашевський, Г.В. Сніжної, А.А. Оліфір // Авіаційно-космічна техніка і технологія. – 2016. – №7(134). – С.29-32.

5. Томашевський О.В. Визначення функції надійності не відновлюваних технічних систем при неповних даних / О.В. Томашевський, Г.В. Сніжної // Авіаційно-космічна техніка і технологія. – Харків: Нац. аерокосмічний ун-т «Харк. авіац. ін-т». 2019. – № 8(160) . – С.129-132.

6. Малайчук В.П., Петренко О.М., Рожковський В.Ф. Основи теорії ймовірності і математичної статистики: Навч. посібник / Дніпропетровський національн. ун-т. – Д. : РВВ ДНУ, 2001. – 163 с.

7. Томашевський О.В., Рисіков В.П. Комп'ютерні технології статистичної обробки даних / Навчальний посібник. – Запоріжжя: Запорізький національний технічний університет, 2006. – 175 с.

8. Томашевський О.В. Дослідження впливу на надійність засобів вимірювальної техніки параметрів системи метрологічного обслуговування / О.В. Томашевський, В.У. Ігнаткін, Г.В. Сніжної // Авіаційно - космічна техніка і технологія. – Харків: Нац. аерокосмічний ун-т «Харк. авіац. ін-т». 2018. – № 8(152) . – С.118-121.

9. Василенко О. В. Менеджмент цифрового виробництва: монографія / О.В. Василенко, Г.В. Сніжної, Ю.С. Ямненко – Запоріжжя: Національний університет «Запорізька політехніка», 2022. – 120 с. ISBN 978-617-529-374-4.

## Додаток А.

### Імітаційне моделювання псевдовипадкових чисел

За допомогою функції RAND () програми EXCEL можна здійснити моделювання вибірок будь-якого об'єму з некорельованих або корельованих нормально-розподілених псевдовипадкових чисел.

Для моделювання незалежних нормально-розподіленого випадкового числа використовується формула:

$$= \$A\$1 + \$B\$1 * \text{КОРЕНЬ}(-\text{LN}(\text{СЛЧИС}())) * \text{COS}(6,28 * (\text{RAND} ()))$$

де в комірки \$A\$1 заноситься мат. очікування

\$B\$1 заноситься ср. кв. відх.

Для моделювання корельованих випадкових чисел:

1. Моделюється 1-е вип. число з будь-яким мат. очік. і великим ср. кв. відх. (напр. в комірці D4)

2. Моделюється 2-е вип. число з будь-яким мат. очік. (B \$ A \$ 2) і невеликим ср. кв. відх (\$ B \$ 2) і до нього додається перше число (занесене, напр., в комірку D4). = \$ A \$ 2 + \$ B \$ 2 \* КОРЕНЬ (-LN (СЛЧИС ())) \* COS (6,28 \* (СЛЧИС ())) + D4 3.

Необхідна кількість чисел (вбірку обсягу n) отримують автозбереження.

## Додаток Б. Варіанти вихідних даних

Таблиця Б.1 – Варіанти вихідних даних до лабораторних робіт

Варіант	Математичне очікування для вибірки №				
	1	2	3	4	5
1	1	5	10	10	20
2	2	7	12	12	25
3	3	9	14	14	30
4	4	11	16	16	35
5	5	13	18	18	40
6	6	15	20	20	45
7	7	17	22	22	50
8	8	19	24	24	55
9	9	21	26	26	60
10	10	23	28	28	65
11	11	25	30	30	70
12	12	27	32	32	75
13	13	29	34	34	80
14	14	31	36	36	85
15	15	33	38	38	90

Примітка:

Значення середньоквадратичного відхилення вибірок дорівнює 10 % від її математичного очікування.

Вибірки 1, 2, 3, 4 моделювати як узяті з незалежних сукупностей.

Вибірку 5 моделювати як корельовану з кожною з вибірок 1, 2, 3, 4.

Для лабораторних робіт № 1, 2 моделювати вибірку 1.

Для лабораторної роботи № 3 моделювати вибірки 2, 3, 4.

Для лабораторної роботи № 4 моделювати як вихідний параметр вибірку 5, а імітують вплив вхідних факторів вибірки 1, 2, 3, 4.

**Додаток В.****Вимоги до оформлення звіту з лабораторної роботи**

Кожний звіт з лабораторної роботи повинен містити наступні пункти:

1. Мета роботи.
2. Завдання до лабораторної роботи.
3. Короткі теоретичні відомості.
4. Схему алгоритму для виконання завдання.
5. Практичні результати.
6. Аналіз отриманих результатів і висновки.