

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
Національний університет «Запорізька політехніка»

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ**  
до лабораторних робіт з дисципліни  
**«СТАТИСТИЧНІ МЕТОДИ УПРАВЛІННЯ ЯКІСТЮ  
ПРОДУКЦІЇ»**  
для студентів спеціальностей  
175 «Інформаційно-вимірювальні технології»,  
176 «Мікро- та наносистемна техніка»  
денної та заочної форм навчання

2023

Методичні вказівки до лабораторних робіт з дисципліни «Статистичні методи управління якістю продукції» для студентів спеціальностей 175 «Інформаційно-вимірювальні технології», 176 «Мікро- та наносистемна техніка» денної та заочної форм навчання / Укл.: О.В.Томашевський, Г.В. Сніжної – Запоріжжя: НУ «Запорізька політехніка», 2023 – 37 с.

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

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

ПІДСИСТЕМА ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЯКОСТІ ПРОДУКЦІЇ В ЗАГАЛЬНІЙ СИСТЕМІ УПРАВЛІННЯ ПРОМИСЛОВИМ ПІДПРИЄМСТВОМ.....	5
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №1 «СТАТИСТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ВИБІРКОВИХ СУКУПНОСТЕЙ».....	8
1.1 Мета роботи .....	8
1.2 Стислі теоретичні відомості .....	8
1.3 Завдання до лабораторної роботи .....	9
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №2 «ДІАГРАМА РОЗКИДУ».....	10
2.1 Мета роботи .....	10
2.2 Стислі теоретичні відомості .....	10
2.3 Завдання до лабораторної роботи .....	12
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №3 «ДІАГРАМА ПАРЕТО».....	13
3.1 Мета роботи .....	13
3.2 Стислі теоретичні відомості .....	13
3.3 Етапи побудови діаграми Парето.....	14
3.4 Приклад побудови і аналізу діаграми Парето.....	15
3.5 Завдання до лабораторної роботи .....	18
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №4 «ДІАГРАМА ІСІКАВИ (ПРИЧИННО-НАСЛІДКОВА ДІАГРАМА)».....	19
4.1 Мета роботи .....	19
4.2 Стислі теоретичні відомості .....	19
4.3 Завдання до лабораторної роботи .....	21
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №5 «КОНТРОЛЬНА КАРТА».....	23
5.1 Мета роботи .....	23
5.2 Стислі теоретичні відомості .....	23

5.3 Найбільш часто використовувані типи контрольних карт .....	24
5.4 Завдання до лабораторної роботи .....	31
<b>ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №6 «СТАТИСТИЧНИЙ ПРИЙМАЛЬНИЙ КОНТРОЛЬ» .....</b>	<b>32</b>
6.1 Мета роботи .....	32
6.2 Стислі теоретичні відомості .....	32
6.3 Завдання до лабораторної роботи .....	34
<b>ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ .....</b>	<b>35</b>
Додаток А. Імітаційне моделювання псевдовипадкових чисел .....	36
Додаток Б. Зміст звіту .....	37

## **ПІДСИСТЕМА ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЯКОСТІ ПРОДУКЦІЇ В ЗАГАЛЬНІЙ СИСТЕМІ УПРАВЛІННЯ ПРОМИСЛОВИМ ПІДПРИЄМСТВОМ**

В господарській практиці виробничих промислових підприємств типовими видами діяльності, що визначають функціональну ознаку класифікації підсистем загальної системи управління промисловим підприємством є: виробнича, маркетингова, фінансова, забезпечення якості продукції та кадрова.

*Основними типовими задачами, що вирішуються у підсистемі забезпечення якості продукції:*

- визначення рівня якості вхідних матеріалів;
- моніторинг стану технологічного обладнання;
- визначення "розлагодження" технологічних процесів;
- визначення причин "розлагодження" технологічного процесу;
- оцінка рівня якості продукції, що випускається;
- визначення причин зниження якості продукції;
- випробовування виробів, визначення рівня їх якості;
- аналіз вартості витрат на забезпечення якості;
- оптимізація вартості якості;
- розробка системи інформації про якість продукції.

Підсистема забезпечення якості продукції повинна надавати легкий доступ до даних про якість товарів за допомогою спеціального сховища даних на рівні підприємства. і дозволяти легко визначати причини зниження якості, виконувати узгоджений аналіз і починати коригувальні дії. Доцільно реалізувати і автоматизацію коригувальних дій, таких як керування устаткуванням, повідомлення персоналу і припинення технологічних операцій.

При проектуванні підсистеми забезпечення якості продукції бажано враховувати наступні фактори:

- необхідна структура, ієрархія й основні частини системи (за підрозділами підприємства);
- основні напрямки й інтенсивність інформаційних потоків;
- вимоги до технічних і програмних засобів комп'ютерних систем, що використовуються у підсистемі забезпечення якості продукції;
- необхідність підключення до глобальних мереж чи до інших

локальних комп'ютерних систем.

Сучасні підходи до управління якістю припускають упровадження системи контролю показників якості продукту на всіх етапах його життєвого циклу, починаючи від проектування, і закінчуючи після продажним обслуговуванням.

Основна задача контролю якості — не допустити появи браку. Тому в ході контролю проводять постійний аналіз заданих відхилень параметрів продукції від встановлених вимог. В тому випадку, якщо параметри продукції не відповідають заданим показникам якості, система контролю якості допоможе Вам оперативно виявити найвірогідніші причини невідповідності і усунути їх.

Суцільний контроль, як правило, є досить трудомістким і дорогим, тому в великосерійному і масовому виробництві звичайно застосовують так званий вибірковий контроль, піддаючи перевірці лише частину партії продукції (вибірку). Якщо якість продукції в вибірці відповідає встановленим вимогам, то вся партія вважається якісною, якщо немає — вся партія бракується. Проте при такому методі контролю зберігається вірогідність помилкового бракування (ризик Постачальника) або, навпаки, визнання партії виробів годної (ризик Замовника).

Багато хто з сучасних методів математичної статистики досить складний для сприйняття, а тим більше для широкого застосування всіма учасниками процесу управління якістю. Тому японські учені відібрали з всієї множини сім методів, які найбільш застосовні в процесах контролю якості. Заслуга японців полягає в тому, що вони забезпечили простоту, наочність, візуалізацію цих методів, перетворивши їх в інструменти контролю якості, які можна зрозуміти і ефективно використати без спеціальної математичної підготовки. В той же час, при всій своїй простоті ці методи дозволяють зберегти зв'язок з статистикою і дають можливість професіоналам при необхідності удосконалювати їх.

Отже, до семи основних інструментів контролю якості відносяться наступні методи:

- контрольний листок;
- гістограма;
- діаграма розкиду;
- діаграма Парето;

- стратифікація (розшарування);
- діаграма Ісікави (причинно-наслідкова діаграма);
- контрольна карта.

Кажучи про сім простих методів контролю якості, слід підкреслити, що основне їх призначення – контроль протікаючого процесу і надання учаснику процесу фактів для коректування і поліпшення процесу.

Ефективним засобом підвищення якості промислової продукції є статистичні методи аналізу, регулювання та контролю якості продукції. Вони засновані на методах математичної статистики і дозволяють обґрунтовано приймати рішення питань управління якістю по обмеженому числу спостережень.

Статистичні методи управління якістю підрозділяють на статистичний аналіз точності технологічного процесу, статистичне регулювання технологічного процесу, статистичний приймальний контроль якості.

Статистичний аналіз точності технологічного процесу – визначення статистичними методами точнісних характеристик закономірностей протікання з часом технологічного процесу.

Статистичне регулювання технологічного процесу – коректування параметрів технологічного процесу в ході виробництва за допомогою вибіркового контролю продукції, що виготовляється, для технологічного забезпечення необхідної якості і попередження браку.

Статистичний приймальний контроль якості – вибіркового контролю якості продукції, при якому використовуються статистичні методи для обґрунтування плану чи контролю коректування цього плану за накопиченою інформацією.

Застосування статистичних методів управління якістю базується на вибіркових сукупностях (вибірках).

## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №1 «СТАТИСТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ВИБІРКОВИХ СУКУПНОСТЕЙ»

### 1.1 Мета роботи

Освоїти початкові поняття математичної статистики щодо генеральної і вибіркової сукупності. Вивчити основні прийоми статистичного моделювання випадкової величини. Навчитися моделювати вибіркові сукупності, що взяті з генеральної сукупності, яка описується нормальним законом розподілу з відомими параметрами.

### 1.2 Стислі теоретичні відомості

Метод статистичного моделювання (статистичних випробувань або метод, або метод Монте-Карло) є найбільш поширеним на практиці методом дослідження динамічних стохастичних систем, до яких відносяться промислові підприємства. Суть методу статистичного моделювання полягає в наступному. На першому етапі створюється моделюючий алгоритм, що імітує дію випадкових і детермінованих чинників на процес функціонування і визначає характеристики динамічних систем, що цікавлять. Далі багато разів повторюються реалізації алгоритму (другий етап). Потім обробляється отримана вибірка реалізацій методами математичної статистики і знаходяться шукані імовірнісні характеристики виходу динамічної системи (третій етап).

Проведення дослідження промислового підприємства, направлене на оцінку рівня і підвищення якості продукції, що випускається, здійснюється на основі вибіркового контролю вхідних матеріалів, що комплектують і моніторингу показників якості продукції в процесі виготовлення. Тому основою статистичного моделювання є моделювання вибірових сукупностей (вибірок). Найбільш поширеним законом розподілу показників якості продукції є нормальний закон. В цьому випадку для моделювання вибіркової сукупності необхідно задати математичне очікування і середньоквадратичне відхилення. Відзначимо, що показники якості відносяться до випадкових чисел і вибірка визначається сукупністю випадкових чисел  $x_1, x_2, \dots, x_n$ , де  $n$  – об'єм вибірки.

Для отримання вибірки випадкових чисел, що підкоряються нормальному розподілу, використовуються датчики випадкових (вірніше, псевдовипадкових) чисел. Датчик псевдовипадкових чисел видає рівномірно розподілене число в інтервалі від 0 до 1. Для перетворення до нормального розподілу можна скористатися методом зворотних функцій випадкової величини [5]. При моделюванні доцільно спочатку виконати моделювання нормованої нормально розподіленої величини  $X_N$  і потім здійснити перетворення у випадкову величину з потрібними математичним очікуванням  $\mu$  і середньоквадратичне відхиленням  $s$  за допомогою співвідношення:

$$X = \sigma X_N + \mu.$$

Процедура отримання нормально розподіленої випадкової величини за допомогою датчика рівномірно розподілених випадкових величин приведена в додатку А.

Рекомендована література [1, 3, 4, 5, 6, 7].

### **1.3 Завдання до лабораторної роботи**

1. Визначити згідно додатка А варіант початкових даних, а саме математичне очікування і середньоквадратичне відхилення, для статистичного моделювання вибірки випадкових величин.

2. Здійснити статистичне моделювання (імітацію) значень вибірки за допомогою програми Microsoft Excel і методики, викладеної в додатку А

3. Визначити значення статистичних характеристик і побудувати гістограму за допомогою пакету “STATISTICA” і додатка Microsoft Excel.

4. Порівняти і проаналізувати результати, отримані за допомогою пакету “STATISTICA” і додатка Microsoft Excel.

5. Підготувати звіт, що відповідає вимогам додатку Б

## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №2 «ДІАГРАМА РОЗКИДУ»

### 2.1 Мета роботи

Освоїти основні поняття кореляційного аналізу і їх застосування для виявлення впливу різних чинників на якість продукції. Вивчити основні прийоми побудування діаграми розкид.

### 2.2 Стислі теоретичні відомості

Діаграма розкиду – інструмент, що дозволяє визначити вигляд і тісноту зв'язку між парами відповідних змінних.

Ці дві змінні можуть відноситися до:

- характеристиці якості і впливаючому на неї чиннику;
- двом різним характеристикам якості;
- двом чинникам, що впливають на одну характеристику якості.

Для виявлення зв'язку між ними і служить діаграма розкиду, яку також називають полем кореляції.

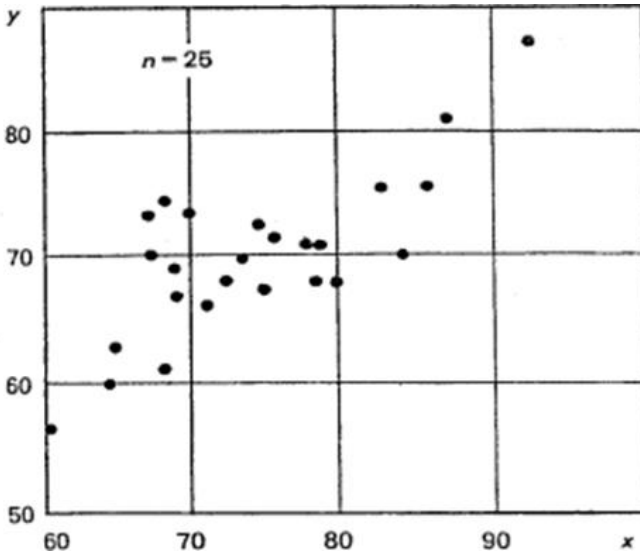


Рисунок 2.1 – Приклад діаграми розкиду

Використання діаграми розкиду в процесі контролю якості не обмежується тільки виявленням вигляду і тісноти зв'язку між парами

змінних. Діаграму розкиду використовують також для виявлення причинно-наслідкових зв'язків показників якості і впливаючих чинників.

Діаграма розкиду дозволяє наочно показати характер зміни параметра якості в часі. Для цього проведемо з початку координат бісектрису. Якщо всі крапки ляжуть на бісектрису, то це означає, що значення даного параметра не змінилися в процесі експерименту. Отже, чинник (або чинники), що розглядається, не впливає на параметр якості. Якщо основна маса крапок лежить під бісектрисою, то це значить, що значення параметрів якості за минулий час зменшилося. Якщо ж крапки лягають вище за бісектрису, то значення параметра за час, що розглядається, зросли. Провівши проміння з початку координат, відповідні зменшенню збільшенню параметра на 10, 20, 30, 50 %, можна шляхом підрахунку крапок між прямими з'ясувати частоту значень параметра в інтервалах 0.: %, 10.20 % і т.д.

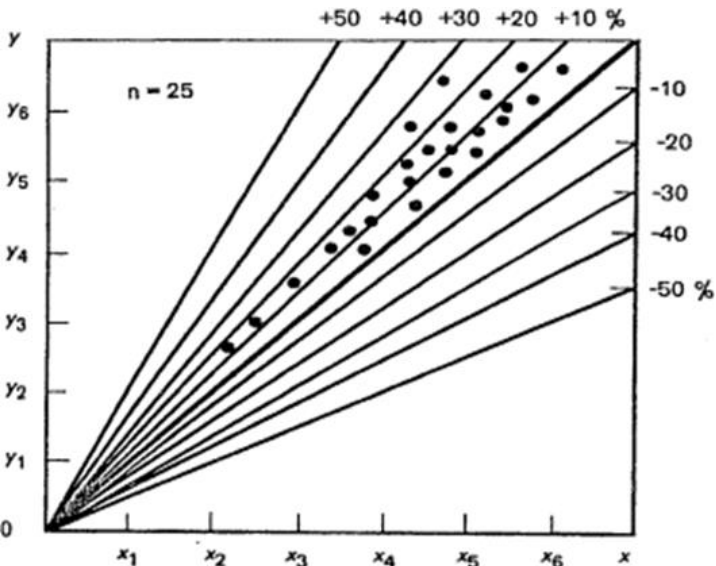


Рисунок 2.2 – Приклад аналізу діаграми розкиду

Рекомендована література [1, 4, 6, 7].

### **2.3 Завдання до лабораторної роботи**

1. Визначити згідно додатка А варіант початкових даних, а саме математичне очікування і середньоквадратичне відхилення, для статистичного моделювання двох вибірок випадкових величин, значення яких корельовані.

2. Здійснити статистичне моделювання (імітацію) значень вибірок за допомогою програми Microsoft Excel і методики, викладеної в додатку А.

3. Побудувати діаграму розкиду. за допомогою пакету “STATISTICA” і додатка Microsoft Excel.

4. Порівняти і проаналізувати отримані результати.

5. Підготувати звіт, що відповідає вимогам додатку Б

## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №3 «ДІАГРАМА ПАРЕТО»

### 3.1 Мета роботи

Засвоїти призначення і принципи будування діаграми Парето. Навчитися встановлювати основні чинники, що впливають на рівень якості продукції з допомогою діаграми Парето.

### 3.2 Стислі теоретичні відомості

В 1897 р. італійський економіст В. Парето запропонував формулу, що показує, що суспільні блага розподіляються нерівномірно. Ця ж теорія була проілюстрована на діаграмі американським економістом М. Лоренцом. Обидва учених показали, що в більшості випадків найбільша частка доходів або благ (80%) належить невеликому числу людей (20%).

Доктор Д. Джуран застосував діаграму М. Лоренца у сфері контролю якості для класифікації проблем якості на нечисленні, але істотно важливі і численні, але неістотні і назвав цей метод аналізом Парето. Він вказав, що в більшості випадків переважне число дефектів і пов'язаних з ними втрат виникають через відносно невелике число причин. При цьому він ілюстрував свої висновки за допомогою діаграми, яка отримала назву діаграми Парето.

*Діаграма Парето* — інструмент, що дозволяє розподілити зусилля для дозволу виникаючих проблем і виявити основні причини, з яких потрібно починати діяти.

В повсякденній діяльності по контролю і управлінню якістю в серійному виробництві ІМС постійно виникають всілякі проблеми, зв'язані, наприклад, з появою браку, неполадками устаткування, збільшенням часу від випуску партії виробів до її збуту, наявністю на складі нереалізованої продукції, надходженням рекламаций. Діаграма Парето дозволяє розподілити зусилля для дозволу виникаючих проблем і встановити основні чинники, з яких потрібно починати діяти з метою подолання виникаючих проблем.

*Розрізняють два види діаграм Парето:*

1) діаграма Парето за наслідками діяльності. Ця діаграма призначена для виявлення головної проблеми і відображає наступні небажані результати діяльності:

- якість: дефекти, поломки, помилки, відмови, рекламації, ремонти, повернення продукції
- собівартість: об'єм втрат, витрати
- терміни поставок: брак запасів, помилки в складанні рахунків, зрив термінів поставок
- безпека: нещасні випадки, трагічні помилки, аварії;

2) діаграма Парето із причин. Ця діаграма відображає причини проблем, що виникають в ході виробництва, і використовується для виявлення головної з них:

- виконавець роботи: зміна, бригада, вік, досвід роботи, кваліфікація, індивідуальні характеристики;
- устаткування: верстати, агрегати, інструменти, оснащення, організація використання, моделі, штампи;
- сировина: виробник, вид сировини, завод-постачальник, партія;
- метод роботи: умови виробництва, замовлення-наряди, прийоми роботи, послідовність операцій;
- вимірювання: точність (вказівок, читання, приладова), вірність і повторюваність (уміння дати однакову вказівку в подальших вимірюваннях одного і того ж значення), стабільність (повторюваність протягом тривалого періоду), сумісна точність, тобто разом з приладовою точністю і таруванням приладу, тип вимірювального приладу (аналоговий або цифровий).

### **3.3 Етапи побудови діаграми Парето**

*Етап 1.* Вирішується, які проблеми належить досліджувати і як збирати дані.

1. Якого типу проблеми досліджуються Наприклад, дефектні вироби, втрати в грошах, нещасні випадки.

2. Які дані треба зібрати і як їх класифікувати? Наприклад, по видах дефектів, по місцю їх появи, по процесах, по верстатах, по робітниках, із технологічних причин, по устаткуванню, по методах вимірювання і вживаним вимірювальним засобам.

3. Встановлюється метод і період збору даних.

*Етап 2.* Розробляється контрольний листок для реєстрації даних з переліком видів збираної інформації. В ньому треба передбачити місце для графічної реєстрації даних перевірок.

*Етап 3.* Заповнюється листок реєстрації даних і підраховуються підсумки.

*Етап 4.* Для побудови діаграми Парето розробляється бланк таблиці для перевірок даних, передбачивши в ньому графи для підсумків по кожній ознаці, що перевіряється, окремо, накопиченої суми числа дефектів, відсотків до загального підсумку і накопичених відсотків.

*Етап 5.* Розташовуються дані, отримані по кожній ознаці, що перевіряється, у порядку значущості і заповните таблицю.

*Етап 6.* Кресляться одна горизонтальна і дві вертикальні осі.

1. Вертикальні осі. Наноситься на ліву вісь шкалу з інтервалами від 0 до числа, відповідного загальному підсумку. На праву вісь наноситься шкала з інтервалами від 0 до 100%.

2. Горизонтальна вісь. Розділяється ця вісь на інтервали відповідно до числа контрольованих ознак.

*Етап 7.* Будується стовпчикова діаграма.

*Етап 8.* Креслиться крива Парето. Для цього на вертикалях, відповідних правим кінцям кожного інтервалу на горизонтальній осі, наносяться точки накопичених сум (результатів або відсотків) і з'єднуються між собою відрізками прямих.

*Етап 9.* Наносяться на діаграму всі позначення і написи.

Написи, діаграми, що стосуються (назва, розмітка числових значень на осях, найменування контрольованого виробу, ім'я укладача діаграми).

Написи, що стосуються даних (період збору інформації, об'єкт дослідження і місце його проведення, загальне число об'єктів контролю).

При використуванні діаграми Парето найпоширенішим методом аналізу є так званий АВС-аналіз.

### **3.4 Приклад побудови і аналізу діаграми Парето.**

Припустимо, на складі Вашого підприємства скопилася велика кількість готової продукції різних типів. При цьому вся продукція, незалежно від її вигляду і вартості, піддається суцільному вихідному контролю. Через довгий час контролю реалізація продукції затримується, а Ваше підприємство зазнає збитки у зв'язку з затримкою поставок.

Розділимо всю готову продукцію, що зберігається на складі, по групах залежно від вартості кожного продукту.

Таблиця 3.1 – Готова продукція на складі

Вартість продукту, USD	Число зразків, тис. шт.
90 – 100	0,2
80 – 90	0,3
70 – 80	0,5
60 – 70	0,5
50 – 60	0,8
40 – 50	1,2
30 – 40	1,5
20 – 30	2,5
10 – 20	5,0
До 10	12,5
Разом	25

Для побудови діаграми Парето і проведення АВС-аналізу побудуємо таблицю з накопиченням до 100%.

Таблиця 3.2 – Таблиця продуктів з накопиченням до 100%

Вартість продукту, USD	Число зразків, тис. шт.	Вартість продукції, що зберігається на складі		Число зразків, що зберігаються на складі	
		Накопич. вартість, тис. USD	Відносна вартість, %	Накопич. число продукту, тис. шт	Відносна частота продукту $n_i/N, \%$
1	2	3	4	5	6
95	0,2	19,0	4,1	0,2	0,8
85	0,3	44,5	9,6	0,5	2,0
75	0,5	82,0	17,6	1,0	4,0
65	0,5	114,5	24,5	1,5	6,0
55	0,8	158,5	34,0	2,3	9,2
45	1,2	212,5	45,5	3,5	14,0
35	1,5	265,0	56,7	5,0	20,0
25	2,5	327,5	70,2	7,5	30,0
15	5,0	402,5	86,7	12,5	50,0
5	12,5	465,0	100,0	25,0	100,0

Побудова таблиці накопичених частот здійснюється таким чином.

Спочатку знаходять загальну вартість виробів як суму творів для значень центрів класів і числа зразків, перемножуючи значення стовпців 1 і 2.

Потім складають дані стовпця 3.

Потім знаходять значення стовпця 4, який показує, скільки відсотків від загальної вартості складають дані кожного рядка.

Дані стовпця 6 утворюються таким чином. Значення 0,8 з першого рядка є числом відсотків, що доводяться на накопичений запас продукції (200) від всієї кількості зразків (25000). Значення 2,0 з другого рядка є числом відсотків, що доводяться на накопичений запас продукції (200 + 300), від всієї її кількості.

Після проведення цієї підготовчої роботи нескладно побудувати діаграму Парето. В прямокутній системі координат по осі абсцис відкладемо відносну частоту продукту  $n_i/N, \%$  (дані стовпця 6), а по осі ординат — відносну вартість цієї продукції  $C_{Ti}/C_T \%$  (дані стовпця 4). З'єднавши отримані крапки прямими, отримаємо криву Парето (або діаграму Парето), як це показано на малюнку.

Крива Парето вийшла порівняно плавній в результаті великого числа класів. При зменшенні числа класів вона стає більш ламаною.

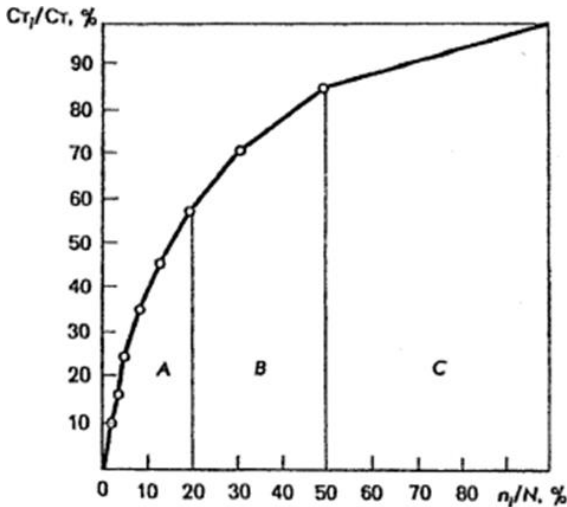


Рисунок 3.1 – Приклад діаграми Парето

З аналізу діаграми Парето видно, що на частку найдорожчої продукції (перші 7 рядків таблиці), яка складає 20% від загального числа на складі зразків, що зберігаються, доводиться більше 50% загальної вартості всієї готової продукції, а на частку найдешевшої продукції, розташованої в останньому рядку таблиці і становлячій 50% від загальної кількості продукції на складі, доводиться всього 13,3% від загальної вартості.

Назвемо групу «дорогої» продукції групою А, групу дешевої продукції (до 10 долл.) – групою З, і проміжну групу – групою В. Побудуємо таблицю АВС – аналізу отриманих результатів.

Група	Відносна частота кількості зразків в групі, %	Відносна вартість зразків в групі, %
А	20	56,7
В	30	30
З	50	13,3

Тепер ясно, що контроль продукції на складі ефективно в тому випадку, якщо контроль зразків групи А буде найжорсткішим (суцільним), а контроль зразків групи З — вибірковим.

### 3.5 Завдання до лабораторної роботи

1. Одержати завдання від викладача щодо типу проблеми, яка досліджується.

2. Визначити згідно додатка А варіант початкових даних, а саме математичне очікування і середньоквадратичне відхилення, для статистичного моделювання вибірок випадкових величин, що відповідають типу проблеми.

3. Здійснити статистичне моделювання (імітацію) значень вибірок за допомогою програми Microsoft Excel і методики, викладеної в додатку А.

4. Побудувати діаграму Парето за допомогою додатка Microsoft Excel.

5. Порівняти і проаналізувати отримані результати.

6. Підготувати звіт, що відповідає вимогам додатку Б.

## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №4 «ДІАГРАМА ІСІКАВИ (ПРИЧИННО-НАСЛІДКОВА ДІАГРАМА)»

### 4.1 Мета роботи

Засвоїти призначення і прийоми будування діаграми Ісікави і з її допомогою навчитися встановлювати потенційні чинники, що впливають на рівень якості продукції.

### 4.2 Стислі теоретичні відомості

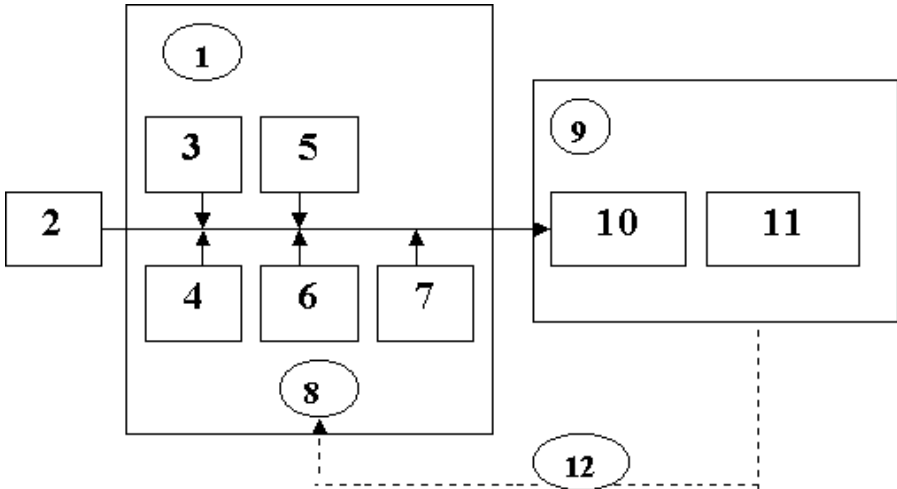
У 1953 році професор Токійського університету Каору Ісікава, обговорюючи проблему якості на одному заводі, підсумовував думку інженерів у формі діаграми причин і результатів (слідства). Коли ж діаграму почали застосовувати на практиці, вона виявилася вельми корисною і скоро стала широко використовуватися в багатьох компаніях Японії і отримала назву діаграми Ісікави, яка частіше звучить як діаграма «риб'ячі кістки» або діаграма «причини і наслідку».

Результат процесу залежить від численних чинників, між якими існують відносини типу причина – слідство (результат). Діаграма причин і слідств - засіб, що дозволяє виразити ці відносини в простій і доступній формі. Діаграма Ісікави була включена в японський промисловий стандарт (JIS) на термінологію в області контролю якості і визначається в ньому таким чином: діаграма причин і результатів – діаграма, яка показує відношення між показником якості і впливаючими на нього чинниками.

Причинно-наслідкова діаграма – інструмент, що дозволяє виявити найістотніші чинники (причини), що впливають на кінцевий результат (слідство).

Якщо в результаті процесу якість виробу виявилася незадовільною, значить, в системі причин, тобто в якійсь точці процесу, відбулося відхилення від заданих умов. Якщо ця причина може бути знайдений і є усунений, то проводитимуться вироби тільки високої якості. Більш того, якщо постійно підтримувати задані умови процесу, то можна забезпечити формування високої якості виробів, що випускаються.

Схема причинно-наслідкової діаграми приведена на рисунку 4.1.



1 - Система причинних чинників; 2 - Основні чинники виробництва; 3 – Матеріали; 4 – Оператори; 5 – Устаткування; 6 - Методи операцій; 7 - Вимірювання; 8 – Процес; 9 – Наслідок; 10 - Параметри якості; 11 - Показники якості; 12 - Контроль процесу по чиннику якості

Рисунок 4.1 – Схема причинно-наслідкової діаграми

Інформація про показники якості для побудови діаграми збирається з всіх доступних джерел; використовуються журнал реєстрації операцій, журнал реєстрації даних поточного контролю, повідомлення робітників виробничої ділянки і т.д. При побудові діаграми вибираються найважливіші з технічної точки зору чинники. Для цієї цілі широко використовується експертна оцінка. Дуже важливо прослідити кореляційну залежність між причинними чинниками (параметрами процесу) і показниками якості. В цьому випадку параметри легко піддаються кореляції. Для цього при аналізі дефектів виробів їх слід розділити на випадкові і систематичні, звернувши особливу увагу на можливість виявлення і подальшого усунення в першу чергу причини систематичних дефектів.

Важливо пам'ятати, що показники якості, що є слідством процесу, обов'язково випробовують розкид. Пошук чинників, що роблять особливо великий вплив на розкид показників якості виробу (тобто на результат), називають дослідженням причин.

Схема є графічним впорядкуванням чинників, що впливають на об'єкт аналізу. Головним достоїнством схеми Ісікави є те, що вона дає

наочне уявлення не тільки про ті чинники, які впливають на об'єкт, що вивчається, але і про причинно-наслідкові зв'язки цих чинників.

При складанні причинно-наслідкової діаграми Ісікави найбільш значущі параметри і чинники мають в своєму розпорядженні ближче до голови «риб'ячого скелета». Побудову починають з того, що до центральної горизонтальної стрілки, що зображає об'єкт аналізу, підводять великі первинні стрілки, що позначають головні чинники (групи чинників), що впливають на об'єкт аналізу. Далі до кожної первинної стрілки підводять стрілки другого порядку, до яких у свою чергу підводять стрілки третього порядку і т.д. до тих пір, поки на діаграму не будуть нанесені всі стрілки, що позначають чинники, що роблять помітний вплив на об'єкт аналізу в конкретній ситуації. Кожна із стрілок, нанесених на схему, є, залежно від її положення, або причиною, або слідство: попередня стрілка по відношенню до подальшої завжди виступає як причина, а подальша – як наслідок. Нахил і розмір не мають принципового значення. Головне при побудові схеми полягає в тому, щоб забезпечити правильну соподчиненність і взаємозалежність чинників, а також чітко оформити схему, щоб вона добре виглядала і легко читалася. Тому, незалежно від нахилу стрілки кожного чинника, його найменування завжди розташовують в горизонтальному положенні, паралельно центральній осі.

На рис. 4.2 наведено діаграму Ісікави, стосовно аналізу можливих причин, що впливають на рівень якості продукції.

### **4.3 Завдання до лабораторної роботи**

1. Одержати завдання від викладача щодо показників якості продукції, для яких необхідно побудувати діаграму Ісікави. При необхідності вказується технологічний процес або операції, що аналізуються по впливу даний показник.

2. Побудувати діаграму Ісікави.

3. Зробити детальний аналіз отриманих результатів.

4. Підготувати звіт, що відповідає вимогам додатку Б.

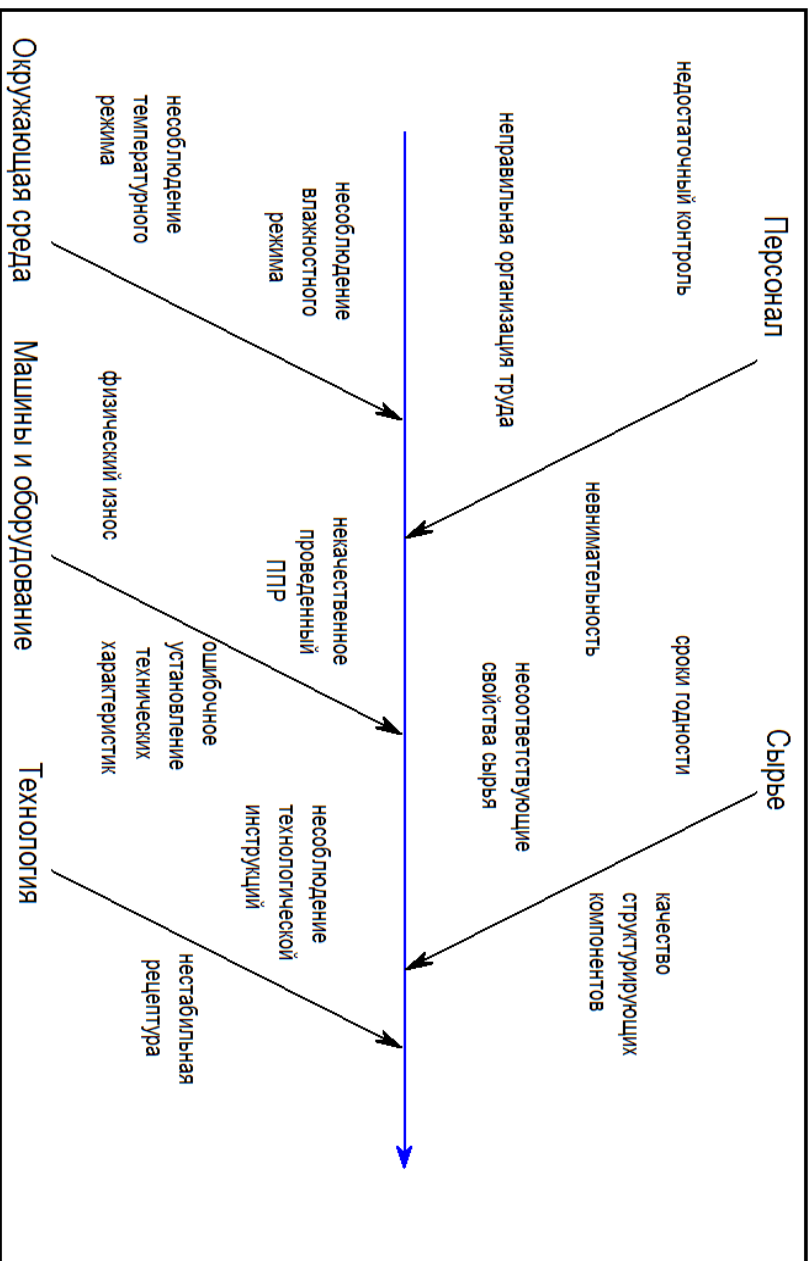


Рисунок 4.2 – Причинно-наслідкова діаграма потенційних причин що впливають на рівень якості продукції

## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №5 «КОНТРОЛЬНА КАРТА»

### 5.1 Мета роботи

Засвоїти призначення і методи статистичного регулювання технологічного процесу з допомогою контрольних карт. Вивчити основні типи контрольних карт і комп'ютерну технологію з програмного пакету STATISTICA їх побудови.

### 5.2 Стислі теоретичні відомості

Ефективним засобом підвищення якості промислової продукції є статистичне регулювання технологічних процесів.

Технологічний процес забезпечує власна технологічна система, яка структурно є частиною технологічної системи виробничого процесу. Технологічна система (ТС), як і будь-яка інша, має свою структуру і володіє певними властивостями. Основним завданням ТС є забезпечення випуску продукції із заданими показниками якості і ритму при збереженні необхідних умов виробництва.

Статистичне регулювання технологічного процесу – коректування параметрів технологічного процесу в ході виробництва за допомогою вибіркового контролю продукції, що виготовляється, для технологічного забезпечення необхідної якості і попередження браку. Методи статистичного регулювання якості продукції дозволяють різко скоротити брак в процесі виробництва. Ці методи відрізняються простотою і наочністю, їх застосування супроводжується веденням контрольних карт, на яких графічно відображають результати контролю.

Контрольна карта служить для графічного відображення рівня настройки і точності процесу. У ній фіксують значення статистичних характеристик чергових вибірок або проб і технологічні режими.

На контрольну карту заздалегідь наносять середню лінію і межі регулювання. Межами регулювання називають лінії на контрольній карті, що обмежують допустимі відхилення регульованої статистичної характеристики у вибірках або пробах.

Вихід регульованої статистичної характеристики за межу регулювання на контрольній карті є сигналом про розладнання технологічного процесу і необхідності його підналадки.

### 5.3 Найбільш часто використовувані типи контрольних карт

Класифікація типів контрольних карт часто здійснюється згідно типам величин, які вибрані для відстежування характеристик якості. Так, розрізняють контрольні карти для безперервних змінних і контрольні карти за альтернативною ознакою.

Зокрема, для контролю за безперервною ознакою зазвичай будуються наступні контрольні карти:

- *X-карта*. На цю контрольну карту наносяться значення вибірових середніх для того, щоб контролювати відхилення від середнього значення безперервної змінної (наприклад, діаметрів поршневих кілець, міцності матеріалу і т.д.);

- *R-карта*. Для контролю за ступенем мінливості безперервної величини в контрольній карті цього типу будуються значення розмахів вибірок;

- *S-карта*. Для контролю за ступенем мінливості безперервної змінної в контрольній карті даного типу розглядаються значення вибірових стандартних відхилень;

- *S<sup>2</sup>-карта*. У контрольній карті даного типу для контролю мінливості будується графік вибірових дисперсій.

- *CUSUM-карта*. Контрольна карта кумулятивних (накопичених) сум, для контролю за ступенем мінливості безперервної змінної на підставі значень кумулятивних сум.

Для контролю якості продукції за альтернативною ознакою зазвичай застосовуються наступні типи контрольних карт:

- *C-карта*. У таких контрольних картах будується графік числа дефектів (у партії, в день, на один верстат, з розрахунку на 100 футів труби і т.п.). При використанні карти цього типу робиться припущення, що дефекти контрольованої характеристики продукції зустрічаються порівняно рідко, при цьому контрольні межі для даного типу карт розраховуються на основі властивостей розподілу Пуассона (розподіли рідкісних подій);

- *U-карта*. У карті даного типу будується графік відносної частоти дефектів, тобто відносини числа виявлених дефектів до  $n$  - числу перевірених одиниць продукції (тут  $n$  позначає, наприклад, число футів довжини труби, об'єм партії виробів). На відміну від *C*-карти, для побудови карти даного типу не потрібна постійність числа одиниць виробів, що перевіряються, тому її можна використовувати

при аналізі партій різного об'єму;

- *Np-карта*. У контрольних картах цього типу будується графік для числа дефектів (у партії, в день, на верстат), як і у разі *C*-карти. Проте, контрольні межі цієї карти розраховуються на основі біноміального розподілу, а не розподілу рідкісних подій Пуассона. Тому даний тип карт повинен використовуватися у тому випадку, коли виявлення дефекту не є рідкісною подією (наприклад, коли виявлення дефекту відбувається більш ніж у 5% перевірених одиниць продукції). Цією картою можна скористатися, наприклад, при контролі числа одиниць продукції, що мають невеликий брак;

- *P-карта*. У картах даного типу будується графік відсотка виявлених дефектних виробів (з розрахунку на партію, в день, на верстат і т.д.). Графік будується так само, як і у разі *U*-карти. Проте контрольні межі для даної карти знаходяться на основі біноміального розподілу (для доль), а не розподілу рідкісних подій. Тому *P*-карта найчастіше використовується, коли появу дефекту не можна вважати рідкісною подією (якщо, наприклад, очікується, що дефекти будуть присутні в більш ніж 5% загального числа проведених одиниць продукції).

Для побудови контрольних карт, доцільно використовувати модуль Інтерактивний контроль якості, з програмного пакету STATISTICA [2]. Розглянемо приклад побудування контрольної карти з допомогою цього модуля.

Припустимо, що ви здійснюєте контроль на потоковому виробництві. Кожні 15 хвилин проводиться вимірювання, і дані з датчиків заносяться в таблицю в режимі реального часу.

Дані представлені в табл. 5.1.

Таблиця 5.1 – Початкові дані

№	fat	№	fat	№	fat	№	fat	№	fat
1	2.89	13	3.23	25	3.20	37	3.49	49	3.20
2	3.19	14	3.20	26	3.22	38	3.23	50	3.00
3	3.20	15	3.19	27	3.15	39	3.04	51	3.36
4	3.22	16	3.45	28	3.29	40	3.05	52	3.16
5	3.22	17	3.10	29	3.08	41	3.33	53	3.20
6	3.20	18	3.00	30	3.19	42	3.24	54	3.51
7	3.18	19	3.22	31	3.20	43	3.26	55	3.16
8	2.98	20	3.31	32	3.20	44	3.21	56	3.01
9	3.20	21	3.14	33	3.20	45	3.19	57	2.88
10	3.23	22	3.19	34	3.22	46	2.91	58	3.20
11	3.18	23	2.97	35	3.21	47	3.22	59	3.20
12	3.27	24	3.36	36	3.21	48	3.20	60	3.29

Вважається, що процес виходить з-під контролю, якщо значення fat виходить за контрольні межі.

Здійснимо контроль якості цього процесу.

*Крок 1.* Ввести початкові дані у файл *milk* системи STATISTICA.

Даные: milk.sta 2п \* 100н

ЧИСЛО	1	2
ЗНАЧ	NUM	FAT
1	1	2.89
2	2	3.19
3	3	3.20
4	4	3.22
5	5	3.22
6	6	3.20
7	7	3.18
8	8	2.98
9	9	3.20
10	10	3.23
11	11	3.18

Рисунок 5.1 – Таблиця з початковими даними

*Крок 2.* Запустіть модуль *Інтерактивний контроль якості*.

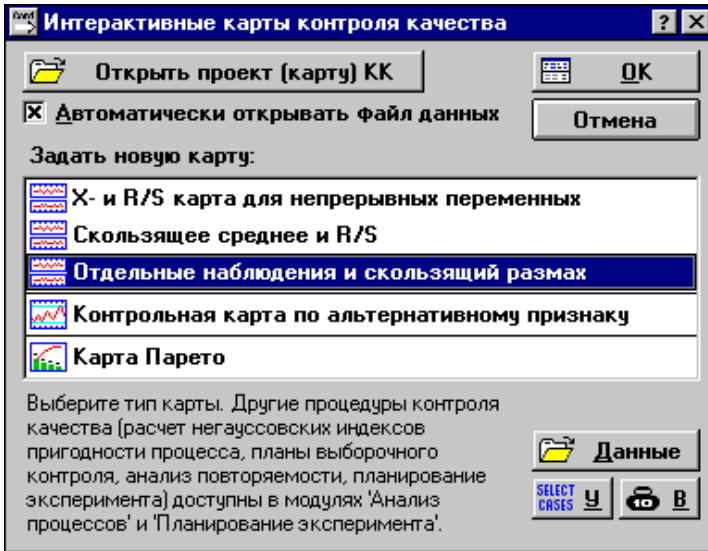


Рисунок 5.2 – Стартова панель модуля Інтерактивний контроль якості

*Крок 3.* Оскільки процес виробництва протікає в реальному часі, то при контролі якості розглядаються окремі спостереження, а не їх групи.

На стартовій панелі виберіть опцію *Окремі спостереження і ковзаючий розмах* і натисніть кнопку ОК.

У діалоговому вікні, що з'явилося, виберіть *fat* як змінній з вимірюваннями і натисніть кнопку ОК.

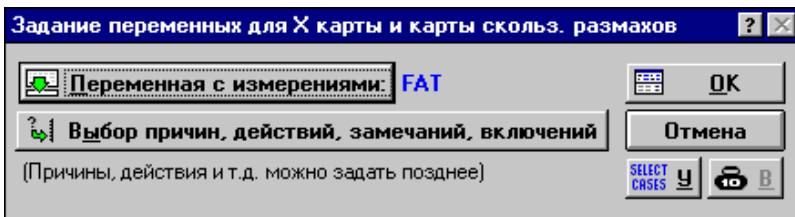


Рисунок 5.3 – Вікно вибору змінних - вибір змінної *concent*

*Крок 4.* З'явиться графік з необхідними контрольними картами: X-картою і контрольна картою ковзаючих розмахів для послідовності спостережень.

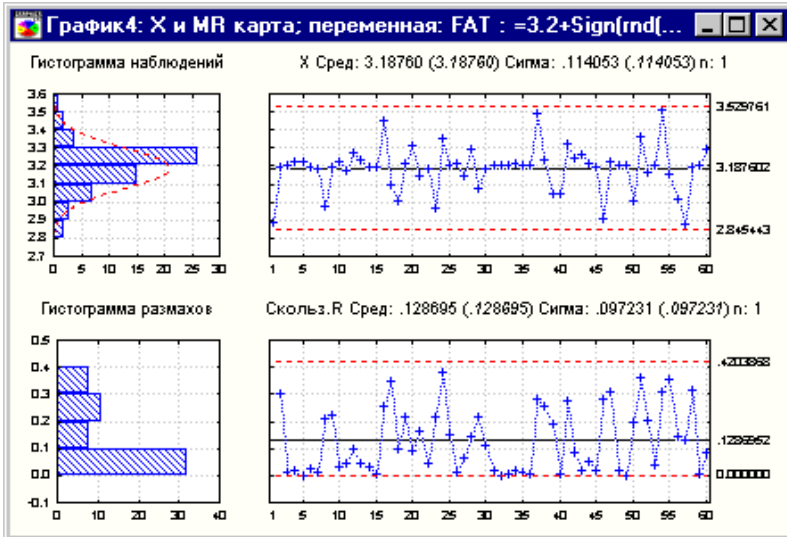


Рисунок 5.4 – X- і MR карти для змінної concent

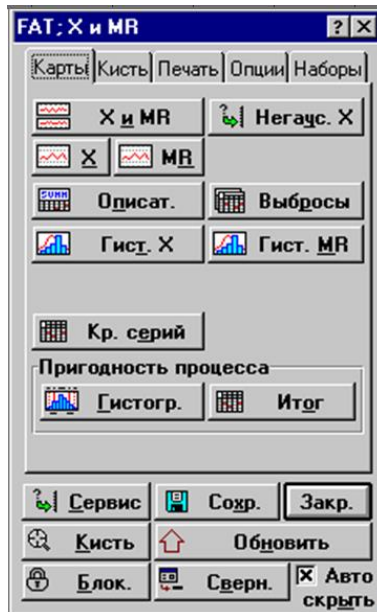


Рисунок 5.5 – Опції управління X- і MR картами в STATISTICA

*Крок 5.* Аналіз карти.

На X-карті всі крапки потрапляють в область усередині контрольних меж.

На контрольній карті ковзаючих розмахів (MR карті) видно, що всі крапки знаходяться нижчим за контрольну межу.

Це дозволяє сказати, що процес налагоджений.

*Продовження аналізу.*

Слід мати на увазі, що карти для окремих спостережень не здатні відбивати малі зміни середнього рівня, які, проте, можуть грати істотну роль в процесі.

Тому для аналізу цих даних потрібно далі використовувати контрольні карти накопичених сум.

Виявлення малих змін середніх значень.

*Крок 1.* Запустимо модуль Карти контролю якості.

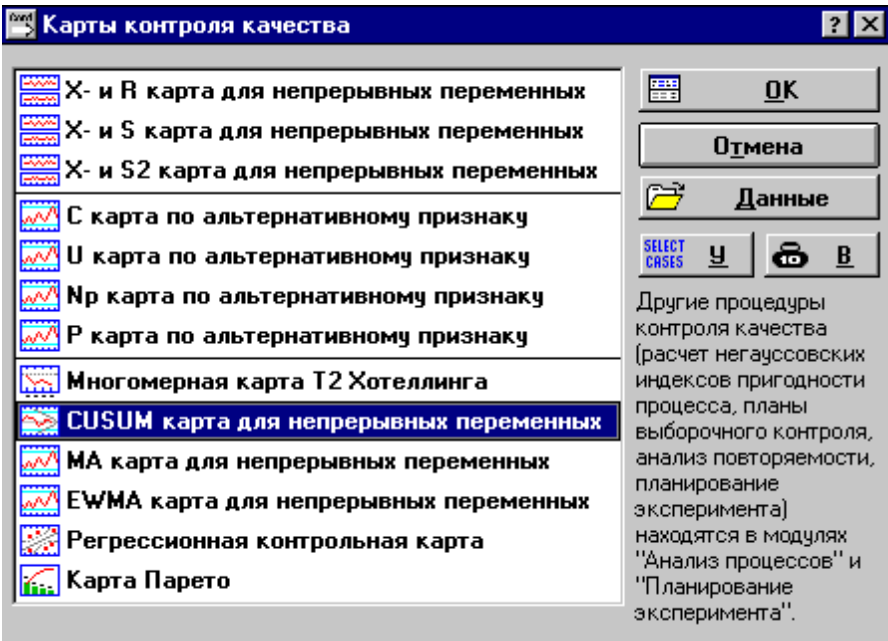


Рисунок 5.6 – Стартова панель показує доступні контрольні карти

*Крок 2.* На стартовій панелі виберіть CUSUM карта для безперервних змінних і натисніть кнопку ОК. Це карти накопичених або кумулятивних сум.

*Крок 3.* У діалоговому вікні, що з'явилося, виберіть fat як змінній з вимірюваннями.

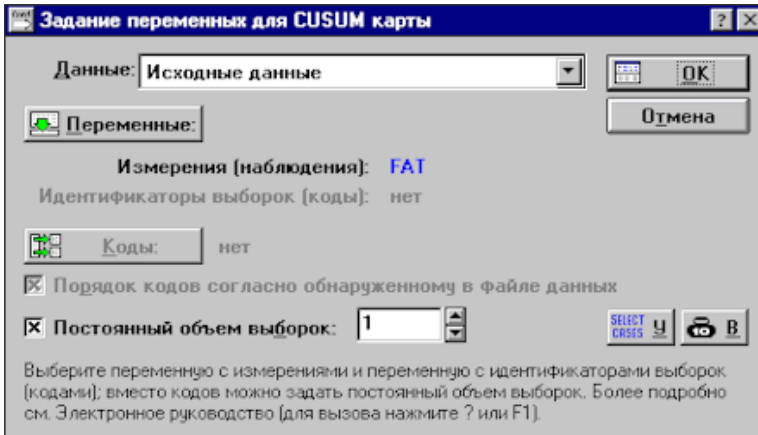


Рисунок 5.7 – Завдання змінних для CUSUM карт

Натисніть кнопку ОК. На екрані з'явиться CUSUM карта.

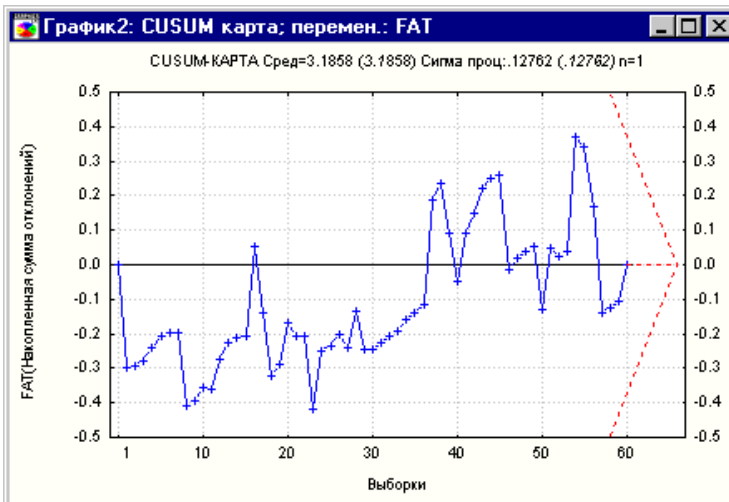


Рисунок 5.8 – Карта накопиченої суми для змінної concenat

З приведеного графіка виходить, що всі точки даних потрапляють всередину контрольного інтервалу.

На карті зображена також так звана V-маска, що має наступний сенс.

Якщо в спостережуваному процесі є значущий зсув середнього значення, то крапки виходять за межі V-маски.

У нашому випадку крапки не виходять за межі маски, тому можна зробити остаточний висновок про те, що досліджений процес задовольняє вимогам статистичного контролю.

Рекомендована література [1, 5].

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

1. Одержати завдання від викладача щодо типа контрольної карти, яку необхідно побудувати.

2. Здійснити статистичне моделювання вибіркової послідовності показників якості продукції налагодженого технологічного процесу на підставі визначених згідно додатка А варіанта початкових даних, а саме математичне очікування і середньоквадратичне відхилення. Статистичне моделювання здійснити з допомогою програми Microsoft Excel і методики, викладеної в додатку А.

3. На підставі цієї вибіркової послідовності визначити статистичні характеристики відповідні типу контрольної карти.

4. Повторити п.2,3 для моделювання вибіркової послідовності показників якості продукції розладженого технологічного процесу. Для імітації «розладки» технологічного процесу взяти довільно початкові характеристики моделювання статистичні характеристики, приблизно на 10-60% більше.

5. Побудувати контрольну карту, яка відобразила виникнення «розладку» технологічного процесу за допомогою пакету «STATISTICA».

6. Підготувати звіт, що відповідає вимогам додатку Б.

## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №6 «СТАТИСТИЧНИЙ ПРИЙМАЛЬНИЙ КОНТРОЛЬ»

### 6.1 Мета роботи

Засвоїти призначення, основні поняття і методи статистичного приймального контролю. Навчитися застосовувати одноступінчатий, двоступінчатий, багатоступінчатий та послідовний види контролю.

### 6.2 Стислі теоретичні відомості

Визначені плани і процедури вибіркового контролю, які рекомендується використовувати для оцінки відповідності рівня якості партії продукції, що перевіряється, заявленому значенню. Заявлений рівень якості (DQL - declared quality levels) визначається % невідповідних одиниць продукції, тобто при випробуваннях, DQL - це кількість виробів, що відмовили. Виходячи із значення DQL, визначають: L - граничне число невідповідних одиниць продукції у вибірці і n - обсяг вибірки. Для різних LQR запропоновано три рівні планів контролю, відповідні різним рівням LQR, що позначаються I, II і III. За відсутності спеціальних вказівок застосовується рівень контролю II. Рівень контролю I застосовується для менш ретельного контролю, рівень III – для ретельнішого. Рівень контролю визначається для груп виробів, що перевіряються, зацікавленими сторонами (постачальником і споживачем). Врахування інтересів постачальника і споживача забезпечується завданням ризику постачальника і споживача. Ризик постачальника визначається вірогідністю помилки, при якій придатну партію виробів можуть в результаті коливань вибіркової оцінки визнати не відповідною технічним вимогам. Ризик споживача визначається вірогідністю помилки, при якій непридатну партію виробів в результаті коливань вибіркової оцінки можуть помилково визнати придатною.

При проведенні контролю знайшли використання чотири основні види контролю: одноступінчатий, двоступінчатий, багатоступінчатий та послідовний.

При одноступінчатому контролі рішення щодо приймання партії ухвалюють за наслідками контролю тільки однієї вибірки. Його застосовують, коли вартість контролю невелика, тривалість

випробувань велика, а партія не може бути затримана до закінчення контролю. У проступінчатих планах реалізується правило: якщо серед  $n$  випадково відібраних виробів число дефектних  $m$  виявиться не більше приймального числа  $c$  ( $m \leq c$ ), то партія приймається; в іншому разі партія бракується.

Двоступінчатий контроль характеризується тим, що рішення про приймання партії продукції проводиться за наслідками контролю не більше двох вибірок, причому необхідність другої визначається за наслідками контролю першої вибірки. Ці плани застосовують, коли проступінчатий контроль не використовується із-за великого обсягу вибірки. У двоступінчатих планах - якщо серед  $n_1$  випадково відібраних виробів число дефектних  $m_1$  виявиться не більше приймального числа  $c_1$  ( $m_1 \leq c_1$ ), то партія приймається; якщо  $m_1 \geq d_1$ , де  $d_1$  - число бракування, то партія бракується. Якщо ж  $c_1 < m_1 < d_1$ , то ухвалюється рішення про узяття другої вибірки обсягом  $n_2$ . Тоді якщо сумарне число дефектних виробів в двох вибірках  $(m_1 + m_2) \leq c_2$ , то партія приймається, в іншому разі партія бракується за даними двох вибірок.

При багатоступінчатому контролі рішення ухвалюють за наслідками контролю декількох наперед встановлених вибірок, причому необхідність відбору кожної подальшої приймається за наслідками контролю попередньої. Цей план контролю застосовують при великій вартості випробувань і невеликому часі на відбір вибірок.

Багатоступінчаті плани є логічним продовженням двоступінчатих планів. Спочатку береться вибірка обсягом  $n_1$  і визначається число дефектних виробів  $m_1$ . Якщо  $m_1 \leq c_1$ , то партія приймається. Якщо  $m_1 \geq d_1$  ( $d_1 > c_1 + 1$ ), то партія бракується. Якщо ж  $c_1 < m_1 < d_1$ , то ухвалюється рішення про узяття другої вибірки об'ємом  $n_2$ . Хай серед  $n_1 + n_2$  виробів є  $m_2$  дефектних. Тоді якщо  $m_2 \leq c_2$ , де  $c_2$  - друге приймальне число, то партія приймається; якщо  $m_2 \geq d_2$  ( $d_2 > c_2 + 1$ ), то партія бракується. При  $c_2 < m_2 < d_2$  приймається рішення про узяття третьої вибірки. Надалі контроль проводиться за аналогічною схемою за винятком останнього  $k$ -го кроку, при якому якщо  $m_k \leq c_k$ , то партія приймається, якщо ж  $m_k > c_k$ , то партія бракується.

Послідовний контроль відрізняється від багатоступінчатого лише тим, що максимальну кількість вибірок наперед не

встановлюють. Його застосовують, коли обсяг вибірки невеликий, а вартість відбору вибірки мала.

Розглянуті плани контролю дозволяють на основі обмеженого числа випробувань частини виробів (вибірки) з необхідною точністю прийняти рішення про рівень якості всієї партії виробів і їх доцільно використовувати при сертифікаційних випробуваннях ІМС.

### **6.3 Завдання до лабораторної роботи**

1. Одержати завдання від викладача щодо виду контролю.

2. Здійснити статистичне моделювання вибірки, що взята з партії продукції (генеральній сукупності), яка відповідає заявленому значенню показників якості на підставі визначених згідно додатка А варіанта початкових даних, а саме математичне очікування і середньоквадратичне відхилення. Статистичне моделювання здійснити з допомогою програми Microsoft Excel і методики, викладеної в додатку А.

3. На підставі цієї вибіркової послідовності визначити заявлений рівень якості виробів.

4. Повторити п.2,3 для моделювання виборок, в яких імітується збільшення числа дефектних виробів у партії.

5. Побудувати запропоновані плани контролю і зробити висновки щодо прийняття чи забракування партії. Проаналізувати ефективність різних планів контролю.

6. Підготувати звіт, що відповідає вимогам додатку Б

## ПЕРЕЛІК 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., Мінькович 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., Омецинська 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

*Вибір варіанту для індивідуального розрахунку.* Математичне очікування  $\mu$  узяти соответствующим 3-ему числу номери залікової книжки. Середньоквадратичне відхилення  $\sigma$  узяти рівним приблизно  $0,3*\mu$ .

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

Для моделювання незалежних (некорельованих) нормально-розподілених випадкових чисел необхідно здійснити моделювання одного числа в довільному елементі таблиці EXCEL, для чого використовується формула:

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

де в комірки

$\$A\$1$  заноситься математичне очікування  $\mu$ ,

$\$B\$1$  заноситься середньоквадратичне відхилення  $\sigma$ .

Для отримання вибірки довільного об'єму  $n$  використовується автозаповнення осередків для масиву вибірки за допомогою перетягування маркера заповнення<sup>1</sup>.

Для моделювання корельованих випадкових чисел може бути використаний прийом, запропонований в [7].

---

<sup>1</sup> Маркер заповнення: невеликий чорний квадрат в правому нижньому кутку виділеного блоку. При наведенні на маркер заповнення покажчик приймає вид чорного хреста.

**Додаток Б.**  
**Зміст звіту**

1. Мета роботи.
2. Завдання до лабораторної роботи.
3. Теоретичні основи.
4. Опис послідовності дій при виконанні роботи.
5. Практичні результати.
6. Аналіз отриманих результатів і висновки.