

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського
«Харківський авіаційний інститут»

СТАТИСТИЧНІ МЕТОДИ УПРАВЛІННЯ ЯКІСТЮ

Навчальний посібник

Харків «ХАІ» 2018

УДК 658.562; 519.22 (075.8)
С 78

Колектив авторів :
Т. В. Чебикіна, Г. Г. Бондаренко, Н. В. Чернобай, В. П. Сіроклин

Рецензенти: д-р філос. наук, доц. А. М. Цимбал,
Р. О. Сухіна

Статистичні методи управління якістю [Текст] : навч. посіб. /
С78 Т. В. Чебикіна, Г. Г. Бондаренко, Н. В. Чернобай, В. П. Сіроклин. –
Харків. : Нац. аерокосм. ун-т ім. М. Є. Жуковського «Харків. авіац.
ін-т», 2018. – 92 с.

ISBN 978-966-662-641-0

Розглянуто основні вимоги міжнародних стандартів до процесу отримання і оброблення статистичних даних та відомі методи для забезпечення статистичного контролю якості на всіх рівнях організації.

Для студентів і магістрів, аспірантів, викладачів закладів вищої освіти, наукових співробітників і фахівців у сфері метрологічного забезпечення, управління якістю, стандартизації і сертифікації.

Іл. 37. Табл. 17. Бібліогр. : 6 назв

УДК 658.562; 519.22 (075.8)

ISBN 978-966-662-641-0

© Колектив авторів, 2018
© Національний аерокосмічний
університет ім. М. Є. Жуковського
«Харківський авіаційний інститут», 2018

ВСТУП

Якість продукції є основоположним підґрунтям конкурентоспроможності продукції на світовому ринку, тому з кожним роком вимоги до контролю якості продукції будь-якого призначення зростають. Контроль якості на сучасному виробництві базується на методах математичної статистики, тому ці методи називають статистичними методами контролю якості. Сутність статистичних методів полягає в накопичуванні (зібранні), розподіленні за таблицями, аналізі та інтерпретації даних.

Накопичення даних здійснюється, в основному, за результатами вимірювань або є статистичною оцінкою результатів вимірювань, якщо дані – кількісні, або, коли вони подані розподіленням частотей (підраховують кількість випадків за певною ознакою), якщо дані – якісні. Власне, контроль якості полягає в тому, що під час перевірки певним статистичним методом накопичених даних можна виявити відхилення параметрів від запланованих (заданих, очікуваних) значень, знайти причину появи цих відхилень, виправити їх (скорегувати процес) і потім звірити значення одержаних параметрів із запланованими. Такі процедури виконують доти, доки контрольні дані не будуть відповідати встановленим нормам. Цей процес ще називають циклом Демінга, або циклом контролю PDCA, де P (Plan) – складання плану роботи (планування експерименту, основу якого становить процес вимірювання), D (Do) – виконання експерименту відповідно до плану, C (Check) – аналіз даних і перевірка відповідності отриманого результату запланованому, A (Action) – розроблення й прийняття необхідних заходів у випадку невідповідності одержаних результатів запланованим. Після завершення першого циклу складають новий план з урахуванням попередньої невідповідності й повторюють цей цикл до моменту збігу отриманих даних з очікуваними [1].

Статистичні методи базуються на понятті розкиду. Оцінювання розкиду даних дає можливість зрозуміти характер процесу: якщо розподіл даних малий, можна послабити контроль; якщо більший – потрібно застосувати заходи для регулювання процесу і підвищення його стабільності. Дані можуть бути наведені в графічному вигляді й використовуватися для корекції процесів не тільки в момент їх отримання і аналізу, а також для оцінювання проблем в майбутньому як частини статистичних даних, отриманих за довготривалий час.

У міжнародній практиці впроваджено стандарт ISO 10017, який пояснює статистичні методи, потребу в яких зумовлює мінливість, яку можна спостерігати в поведінці та результатах процесів систем управління якістю. Статистичні методи дають змогу краще використовувати доступні дані для сприяння прийняттю рішень, і, таким чином, допомагають постійно поліпшувати якість продукції та процесів для досягнення задоволеності замовників [2].

1 УСТАНОВЛЕННЯ ПОТЕНЦІЙНОЇ ПОТРЕБИ В СТАТИСТИЧНИХ МЕТОДАХ

Потребу в кількісних даних, пов'язаних з упровадженням вимог розділів та підрозділів ДСТУ ISO 9001, встановлено ДСТУ ISO 10017 «Настанови щодо застосування статистичних методів згідно з ISO 9001». До кожної встановленої потреби в кількісних даних зазначено один або декілька статистичних методів, що можуть бути потенційно корисними для організації в разі їх належного застосування при обробленні таких даних.

Стандарт ДСТУ ISO 10017 містить настанови щодо вибору належних статистичних методів, які можуть бути корисними для організації, щоб розробляти, запроваджувати, підтримувати та постійно поліпшувати систему управління якістю відповідно до ДСТУ ISO 9001. Їх розроблено на основі розгляду тих вимог ДСТУ ISO 9001, що передбачають використання кількісних даних з подальшим визначенням та описуванням статистичних методів, які можна використовувати, застосовуючи ці дані [2].

Перелік статистичних методів, наведений у цьому стандарті, не є повним та вичерпним, можливе використання будь-яких інших методів (статистичних чи інших), які організація вважає корисними. Цей стандарт не зазначає, які статистичні методи треба використовувати, і не дає порад, як ці методи треба впроваджувати.

Стандарт ДСТУ ISO 10017 не призначено для контрактних, регуляторних або сертифікаційних/реєстраційних цілей. Його не призначено для використання як обов'язковий перелік контрольних питань щодо відповідності вимогам ДСТУ ISO 9001. Обґрунтуванням щодо використання статистичних методів є те, що їх застосування допоможе поліпшити результативність системи управління якістю.

Статистичні методи можна успішно застосовувати для опрацювання якісних даних, якщо такі дані можна перетворити на кількісні.

У ДСТУ ISO 10017 не визначено статистичних методів для тих розділів або підрозділів ISO 9001, які не мають потреби в кількісних даних.

Статистичні методи, наведені в наступному розділі, обмежено тільки добре відомими та відносно простими у використанні.

Кожний зазначений нижче статистичний метод описано з метою допомогти студентам оцінити доречність і цінність вибраних ними статистичних методів та посприяти визначенню необхідності їх використання у конкретних випадках.

2 ОПИС УСТАНОВЛЕНИХ СТАТИСТИЧНИХ МЕТОДІВ

2.1 Загальні положення

У даному розділі наведено такі статистичні методи або сукупності методів, що можуть допомогти організації задовольняти її потреби:

- описову статистику;
- планування експерименту;
- перевіряння гіпотез;
- аналіз вимірювання;
- аналіз можливості процесу;
- регресійний аналіз;
- аналіз надійності;
- вибіркові методи;
- імітаційне моделювання;
- карти статистичного контролю процесу (SPC-карти);
- побудову довірчих меж;
- аналіз часових рядів.

Серед перелічених статистичних методів описова статистика (яка охоплює графічні методи) є важливим аспектом багатьох з цих методів.

Критерії, використані під час вибору наведених вище методів, полягають у тому, що ці методи є добре відомими, їх широко використовують, і їхнє застосування доцільне для користувачів. Вибір методу та спосіб його застосування залежатиме від обставин та цілей завдання, які вирізнятимуться в кожному конкретному випадку.

Стислий опис кожного статистичного методу чи сукупності методів наведено в підрозд. 2.2 – 2.13. Описи мають допомогти непрофесійному користувачеві оцінити потенційну застосовність і переваги від використання статистичних методів під час впровадження вимог системи управління якістю.

Фактичне застосування наведених статистичних методів потребує використання докладніших настанов і здобуття глибших знань, ніж ті, що подано у цьому розділі. Існує великий обсяг загальнодоступної інформації щодо статистичних методів – це посібники, журнали, звіти, галузеві довідники та інші джерела інформації, які можуть допомогти організації в ефективному використанні статистичних методів. Однак посилання на ці джерела не передбачено ДСТУ ISO 10017, і користувачі можуть самостійно шукати таку інформацію та використовувати її для використання при роботі зі зазначеними статистичними методами аналізу.

2.2 Описова статистика

2.2.1 Загальна характеристика

Термін «описова статистика» стосується процедур зведення та подання кількісних даних таким чином, щоб показати характеристики розподілу даних.

До характеристик даних, які зазвичай становлять інтерес, належать центральне значення (найчастіше описують середнім значенням) і розкид або дисперсія (зазвичай вимірюють діапазоном чи середнім квадратичним

відхилом). Іншою досліджуваною характеристикою є розподіл даних, для якого є кількісні міри, що описують форму розподілу (наприклад, ступінь «асиметрії», що описує симетрію).

Забезпечувану описовою статистикою інформацію можна легко та результативно відобразити різними графічними методами, до яких належать відносно прості зображення даних, наприклад:

- карта тенденцій (також називають «біжуча діаграма»), яка є графіком досліджуваної характеристики за певний період для спостереження за її поведінкою в часі;

- діаграма розсіювання, яка допомагає оцінювати зв'язок між двома змінними відкладанням одної змінної по осі x , а відповідного значення іншої – по осі y ;

- гістограма, яка відображає розподіл значень досліджуваної характеристики.

Існує широкий масив графічних методів, що можуть допомагати тлумачити та аналізувати дані: від відносно простих засобів, описаних вище (та інших, наприклад, стовпцевої діаграми й секторної діаграми), до складніших методів, охоплюючи ті, що передбачають спеціалізоване масштабування (наприклад, графік розподілу ймовірностей), та графіки, що описують багатовимірні дані та змінні.

Графічні методи корисні тим, що за їх допомогою можна показати незвичайні особливості даних, які складно виявити під час кількісного аналізу. Їх дуже часто використовують для аналізу даних під час досліджування або перевіряння зв'язків між змінними і для обчислювання параметрів, які описують такі зв'язки. Їх застосування також важливе для результативного зведення та подання комплексних даних або зв'язків між даними, особливо для необізнаної аудиторії.

Описова статистика (зокрема графічні методи) неявно є в багатьох статистичних методах, наведених у стандарті ДСТУ ISO 10017, і її треба вважати основоположним складником статистичного аналізу.

2.2.2 Сфера застосування

Описову статистику використовують для зведення (підсумовування) та характеристики даних. Зазвичай вона є початковим кроком при аналізі кількісних даних і часто при використанні інших статистичних процедур.

Характеристики даних вибірки можуть бути основою для отримання логічних висновків стосовно характеристик сукупностей, з яких було взято вибірки, із заданими межею похибки та довірчою ймовірністю.

2.2.3 Переваги

Описова статистика забезпечує ефективний і відносно простий спосіб зведення та характеристики даних, а також зручний спосіб подання такої інформації. Зокрема, графічні методи є дуже результативним способом подання даних та обміну інформацією.

Описова статистика є потенційно застосовною у всіх ситуаціях, що передбачають використання даних. Вона може сприяти аналізу й тлумаченню даних і бути корисною допомогою у прийнятті рішень.

2.2.4 Обмеження і застереження

Описова статистика забезпечує кількісні міри характеристик (зокрема середнє значення та середній квадратичний відхил) даних вибірки. Однак ці міри залежать від обмежень, пов'язаних з обсягом вибірки та вибірковим методом, який використовують. Крім того, якщо не виконано основні статистичні припущення, ці кількісні міри не можна сприймати як дійсні оцінки характеристик сукупності, з якої було взято вибірку.

2.2.5 Приклади застосування

Описову статистику корисно застосовувати майже в усіх сферах, де отримують кількісні дані. Вона може забезпечувати інформацією щодо продукції, процесу чи деяких інших аспектів системи управління якістю, її можна використовувати при проведенні аналізу з боку керівництва. Деякі приклади застосувань описової статистики:

- зведення ключових мір характеристик продукції (зокрема центрального значення та розкиду);
- опис поведінки певного параметра процесу, наприклад, температури в печі;
- характеристика часу доставки або швидкості реагування у сфері послуг;
- зведення даних опитування замовників, зокрема задоволеності чи незадоволеності замовника;
- подання наочних даних вимірювання, таких як дані калібрування обладнання;
- відображення розподілу характеристик процесу у формі гістограми з урахуванням допустимих меж цієї характеристики;
- подання експлуатаційних характеристик продукції за певний період з використанням карти тенденцій;
- оцінювання можливого зв'язку між змінною процесу (наприклад, температурою) та його результатом з використанням графіку розкиду.

2.3 Планування експериментів

2.3.1 Загальна характеристика

Під плануванням експериментів розуміють дослідження, які проводять у запланований спосіб і які ґрунтуються на статистичному оцінюванні результатів для отримання висновків із встановленою довірчою ймовірністю.

Планування експериментів зазвичай передбачає внесення змін(и) до досліджуваної системи і статистичне дослідження впливу такої зміни на

систему. Його призначеністю може бути підтвердження деякої характеристики системи або дослідження впливу одного чи кількох чинників на деяку(-і) характеристику(-и) системи.

Основою планування експерименту є організація та порядок його проведення. Таке планування залежить від мети та умов, за яких експеримент має бути проведено.

Для аналізування даних експерименту можна використати декілька методів – як аналітичних, таких, як «дисперсійний аналіз», так і графічних, таких, як «графіки розподілу ймовірності».

2.3.2 Сфера застосування

Планування експериментів може бути використано для оцінювання деяких характеристик продукції, процесу або системи для підтвердження відповідності встановленому стандарту або для порівняльного оцінювання декількох систем.

Планування експериментів є особливо корисним для дослідження складних систем, на вихід яких може впливати потенційно велика кількість чинників. Мета експерименту – досягти максимального або оптимального значення досліджуваної характеристики або зменшити її мінливість. Планування експериментів можна використати, щоб визначити найвпливовіші чинники у системі, значення їх впливу, а також зв'язки (тобто взаємодії), якщо такі існують, між чинниками. Отримані дані може бути застосовано для полегшення проектування та розроблення продукції або процесу або для керування наявною системою або її поліпшення.

Інформацію від спланованого експерименту можна використати, щоб створити математичну модель, що описує досліджувану(-і) характеристику(-и) системи як функцію(-ї) від впливних чинників, і за певних обмежень (стисло зазначених у пп. 2.3.4) таку модель можна застосовувати для прогнозування.

2.3.3 Переваги

Під час оцінювання або підтверджування досліджуваної характеристики потрібно забезпечити, щоб отримані результати не було зумовлено випадковою варіацією. Це стосується оцінювань, які провадять відповідно до заданого стандарту й здебільшого під час порівняння двох або більше систем. Планування експериментів уможлиблює проведення таких оцінювань із заданою довірчою ймовірністю.

Основною перевагою планування експериментів є його відносна ефективність та економність під час досліджування впливів численних чинників у процесі порівняно з досліджуванням кожного чинника окремо. Крім того його спроможність визначати взаємодії певних чинників може сприяти глибшому розумінню процесу. Такі переваги стають особливо

очевидними під час розгляду складних процесів (тобто процесів, які містять велику кількість потенційно впливних чинників).

Під час досліджування системи є ризик неправильного припущення причинності в усіх випадках, коли між двома чи більше змінними може бути лише випадкова кореляція. Ризик такої помилки можна зменшити використанням раціональних принципів планування експерименту.

2.3.4 Обмеження і застереження

Деякий рівень варіації, яку часто називають «шумом», є в усіх системах, і це може інколи спотворювати результати досліджень та призводити до неправильних висновків. Іншими потенційними джерелами похибки є ефект змішування невідомих (або просто нерозпізнаних) чинників, які можуть бути наявними, або ефект змішування залежностей між різними чинниками в системі. Ризик, зумовлений такими похибками, можна зменшити завдяки належно спланованим експериментам, наприклад, через знаходження обсягу вибірки або розгляд інших чинників під час планування експерименту. Ці ризики неможливо усунути і тому їх треба враховувати під час формування висновків.

Крім того, дані експерименту будуть вірогідними тільки для чинників і діапазону значень, розглянутих в експерименті. Тому треба діяти обережно, виконуючи екстраполяцію (або інтерполяцію) далеко за межами діапазону значень, розглянутого в експерименті.

Теорія планування експериментів уможливорює певні фундаментальні припущення (такі, як існування канонічного зв'язку між математичною моделлю та досліджуваною фізичною реальністю), вірогідність або адекватність яких є предметом дискусії.

2.3.5 Приклади застосування

Добре відомим є застосування планування експериментів в оцінюванні продукції або процесів, наприклад, у підтвердженні ефекту лікування або визначенні відносної результативності декількох видів лікування. Прикладом такого застосування в промисловості є перевірка відповідності продукції технічним вимогам певних стандартів.

Планування експериментів широко використовують для ідентифікації впливних чинників у складних процесах і, таким чином, для контролювання або поліпшування їх середнього значення, або зменшення мінливості деяких досліджуваних характеристик (таких, як результат процесу, міцність і довговічність продукції, рівень шуму). Такі експерименти часто застосовують у виробництві, наприклад, електронних складових, автомобілів і хімікатів. Їх також широко використовують у таких сферах, як сільське господарство та медицина, в інших сферах їх застосування теж залишається досить широким.

2.4 Перевіряння гіпотез

2.4.1 Загальна характеристика

Перевіряння гіпотез – це статистична процедура для визначення із заданим рівнем ймовірності ризику сумісності набору даних (зазвичай з вибірки) із запропонованою гіпотезою. Гіпотеза може стосуватися припущення щодо конкретного статистичного розподілу, моделі або значення деякого параметра розподілу (наприклад, його середнього значення).

Процедура перевіряння гіпотез передбачає оцінювання доказу (як даних), щоб вирішити, відхилити чи ні запропоновану гіпотезу стосовно статистичної моделі або параметра. Перевіряння гіпотез явно чи неявно потрібно при використанні багатьох статистичних методів, наведених у цьому навчальному посібнику, таких, як вибіркові методи, SPC-карти, планування експериментів, регресійний аналіз та аналіз вимірювання.

2.4.2 Сфера застосування

Перевіряння гіпотез часто використовують для того, щоб із установленною довірчою ймовірністю мати змогу зробити висновок щодо вірогідності гіпотези стосовно параметра генеральної сукупності (оціненого з вибірки). Таку процедуру можна застосовувати для перевіряння відповідності параметра сукупності конкретному стандарту або перевіряння на наявність відмінностей у двох та більше сукупностях. Таким чином, це є корисним для вирішення багатьох проблем.

Метод перевіряння гіпотез також використовують для визначення модельних припущень, наприклад, чи є розподіл генеральних сукупностей нормальним або чи є дані вибірки випадковими. Процедуру перевіряння гіпотез можна також використовувати для визначення діапазону значень (так званих «довірчих меж»), який містить із установленною довірчою ймовірністю істинні значення досліджуваного параметра.

2.4.3 Переваги

Перевіряння гіпотез дає змогу висловити із відомою довірчою ймовірністю твердження стосовно деякого параметра генеральної сукупності, яке може допомогти у вирішенні проблеми, що залежить від цього параметра, а також твердження щодо характеру розподілу генеральної сукупності і властивостей самих даних вибірки.

2.4.4 Обмеження і застереження

Для забезпечення вірогідності висновків, зроблених на основі перевіряння гіпотез, важливо, щоб основні статистичні припущення були належним чином задоволені, особливо, щоб вибірки було відібрано незалежно й випадково. Крім того, довірча ймовірність, за якою можна зробити висновок, залежить від обсягу вибірки.

На теоретичному рівні дискутують питання стосовно того, як перевірку гіпотез можна використати для отримання вірогідних висновків.

2.4.5 Приклади застосування

Перевіряння гіпотез застосовують тоді, коли має бути висловлено твердження стосовно параметра або розподілу одної чи декількох генеральних сукупностей (оцінених з вибірки) або під час оцінювання самих даних вибірки. Наприклад, процедуру можна використати для того, щоб перевірити таке:

- чи відповідає середнє значення (або середній квадратичний відхил) генеральної сукупності заданому значенню, наприклад, цільовому показнику або нормативу;
- чи відрізняються середні значення двох (або більше) генеральних сукупностей під час порівняння різних партій складників;
- чи не перевищує частка генеральної сукупності з дефектами задане значення;
- чи є відмінності між частками дефектних одиниць на виходах двох процесів;
- чи були дані вибірки взято випадково з одної генеральної сукупності;
- чи є розподіл сукупності нормальним;
- чи є результат спостереження у вибірці «викидом», тобто крайнім значенням сумнівної вірогідності;
- чи відбулося поліпшування деякої характеристики продукції або процесу;
- чи є потрібний обсяг вибірки достатнім для прийняття або відхилення гіпотези зі встановленою довірчою ймовірністю;
- чи можна дані вибірки використати для визначення довірчих меж, всередині яких знаходиться істинне середнє значення генеральної сукупності.

2.5 Аналіз вимірювання

2.5.1 Загальна характеристика

Аналіз вимірювання (також називають «аналіз невизначеності вимірювання» або «аналіз системи вимірювання») – це сукупність процедур для оцінювання невизначеності систем вимірювання в діапазоні умов, в яких система функціонує. Похибки вимірювання можна аналізувати, використовуючи ті ж самі методи, що й для аналізування характеристик продукції.

2.5.2 Сфера застосування

Кожного разу під час збирання даних треба враховувати невизначеність вимірювання. Аналіз вимірювання використовують для оцінювання із заданою довірчою ймовірністю придатності системи

вимірювання для використання за призначенням. Його застосовують для кількісного визначення варіації різного походження, наприклад, варіації, спричинюваної оцінювачем (тобто особою, яка виконує вимірювання) або варіації, спричинюваної процесом вимірювання чи самим засобом вимірювання. Його також використовують для описування варіації, спричинюваної системою вимірювання, як частки сукупної варіації процесу або сукупної допустимої варіації.

2.5.3 Переваги

Аналіз вимірювання забезпечує кількісний та економний спосіб вибирання засобу вимірювання або вирішення, чи придатний цей засіб для оцінювання досліджуваного параметра продукції або процесу. Такий аналіз забезпечує основу для порівняння та узгодження відмінностей у процесі вимірювання при кількісному визначенні варіацій різного походження в самих системах вимірювання.

2.5.4 Обмеження і застереження

У всіх випадках, крім найпростіших, потрібно, щоб аналіз вимірювання провадили підготовлені спеціалісти. За недбайливого та некваліфікованого застосування аналізу вимірювання його результати можуть призвести до хибного та надмірного оптимізму, що дорого коштуватиме як стосовно результатів вимірювання, так і стосовно прийнятності продукції. І навпаки, надмірний песимізм може призвести до непотрібної заміни адекватних систем вимірювання.

2.5.5 Приклади застосування

2.5.5.1 Установлення невизначеності вимірювання

Кількісне подання невизначеності вимірювання може бути корисним для підтримання організацією впевненості замовників (внутрішніх або зовнішніх) у тому, що її процеси вимірювання здатні належним чином визначити рівень якості продукції, який має бути досягнуто. Аналіз невизначеності вимірювання може допомогти виявити мінливість у сферах, критичних для якості продукції, і тому стимулювати в організації виділення ресурсів для поліпшування або підтримування якості.

2.5.5.2 Вибирання нових засобів вимірювання

Аналіз вимірювання може допомогти у виборі нового засобу вимірювання через дослідження частки варіації, пов'язаної із засобом вимірювання.

2.5.5.3 Визначення характеристик окремого методу (вірогідність, точність, повторюваність, відтворюваність тощо)

Це дає змогу вибрати найприйнятніший(-і) метод(и) вимірювання, використання якого має сприяти забезпеченню якості продукції. Це також може дати змогу організації збалансувати вартість й ефективність різних методів вимірювання залежно від їх впливу на якість продукції.

2.5.5.4 Перевіряння на якість проведення вимірювання

Систему вимірювання, яку використовують в організації, можна оцінити та кількісно подати, порівнюючи її результати вимірювання з результатами, отриманими при застосуванні інших систем вимірювання. Поряд із забезпеченням впевненості замовників це також може допомогти організації у поліпшенні її методів або підготовці персоналу для проведення аналізу вимірювання.

2.6 Аналіз можливості процесу

2.6.1 Загальна характеристика

Аналіз можливості процесу – це дослідження притаманної мінливості та розподілу процесу для оцінювання його спроможності приводити до результату, який відповідає діапазону змін, дозволеному технічними умовами.

Якщо дані є вимірними змінними (продукції чи процесу), притаманну мінливість процесу подають як «розкид» процесу, коли останній перебуває в стані статистичного контролю (див. пп. 2.11), і зазвичай вимірюють як шість середніх квадратичних відхилів (6σ – «шість сигма») розподілу процесу. Якщо дані процесу є нормально розподіленою («дзвоноподібною» за формою) змінною, цей розкид охоплюватиме (теоретично) 99,73 % сукупності.

Можливість процесу можна подати як індекс, який пов'язує фактичну мінливість процесу з допуском, дозволеним технічними умовами. Широко використовуваним індексом можливості для змінних даних є C_p (коефіцієнт сукупного допуску, поділений на 6σ), що є мірою теоретичної можливості процесу, який повністю зцентровано між допустимими межами. Ще одним широко використовуваним індексом є C_{pk} , що описує фактичну можливість процесу, який може або не може бути зцентровано; C_{pk} застосовується у ситуаціях, пов'язаних з односторонніми допусками. Існують й інші індекси можливості, що розроблені для кращого врахування коротко- та довгострокової мінливості, а також коливань навколо передбаченого цільового значення досліджуваної характеристики процесу.

Якщо дані процесу містять «якісні ознаки» (наприклад, відсоток невідповідності або кількість невідповідностей), можливість процесу подають як середню частку невідповідних одиниць або як середній показник невідповідностей.

2.6.2 Сфера застосування

Аналіз можливості процесу використовують для оцінювання можливості процесу приводити до результатів, які відповідають технічним умовам, та до розрахування кількості невідповідної продукції, яку можна очікувати.

Цю концепцію можна застосовувати для оцінювання можливості будь-якої складової процесу, наприклад, конкретної машини. Аналіз «можливості машини» можна використовувати, наприклад, для оцінювання конкретного устаткування або його внеску до загальної можливості процесу.

2.6.3 Переваги

Аналіз можливості процесу забезпечує оцінювання притаманної мінливості процесу та розрахування очікуваного відсотка невідповідних виробів. Це дає змогу організації оцінити витрати, пов'язані з невідповідністю, і допомогти обґрунтувати рішення щодо поліпшення процесу.

Установлення мінімальних нормативних показників щодо можливості процесу може стимулювати організацію вибирати процеси та устаткування, які б забезпечували виробництво прийнятної продукції.

2.6.4 Обмеження і застереження

Поняття можливості процесу застосовують тільки до процесу в стані статистичного контролю. Тому аналіз можливості процесу треба виконувати в безпосередньому зв'язку з методами контролю, щоб забезпечувати постійне перевіряння заходів контролю.

Оцінювання відсотка невідповідної продукції є основою для висування припущень стосовно прийнятності закону розподілу. Якщо на практиці це не реалізовано, то до таких оцінювань треба ставитися обережно, особливо в разі процесів з високими коефіцієнтами можливості.

Індекси можливості можуть бути оманливими, якщо розподіл процесу значною мірою не є нормальним. Оцінювання відсотка невідповідних одиниць треба базувати на методах аналізу, розроблених для відповідних розподілів у разі таких даних. Так само у разі процесів, для яких характерні систематичні невідповідності причини варіації, наприклад, зношення інструментів, треба використовувати спеціалізовані підходи для розрахування й тлумачення можливості.

2.6.5 Приклади застосування

Можливість процесу використовують для встановлення раціональних інженерних вимог до виготовлюваної продукції, забезпечуючи, щоб коливання характеристик складових узгоджувалися з дозволеним нарощуванням допусків складної продукції. І навпаки, якщо необхідні жорсткі допуски, від складових потребують досягнення встановлених рівнів можливості процесу, щоб забезпечувати високий вихід продукції з мінімальними відходами.

Високі рівні можливості процесу (наприклад, $C_p \geq 2$) інколи використовують на складниковому та підсистемному рівнях для

досягнення бажаної сукупної якості та надійності складних систем.

Аналіз можливості машини використовують для оцінювання спроможності машини виробляти продукцію або функціювати відповідно до встановлених вимог. Це корисно під час вирішення питань щодо закупівлі або ремонту.

Виробники автомобілів, авіаційно-космічної техніки, електронної апаратури, харчових продуктів, фармацевтичної продукції та медичних приладів зазвичай використовують можливість процесу як основний критерій для оцінювання постачальників і продукції. Це дає змогу виробникові звести до мінімуму безпосереднє перевіряння закуповуваних продукції та матеріалів.

Деякі промислові підприємства та підприємства сфери послуг відслідковують індекси можливості процесу, щоб визначати потребу в поліпшенні процесу або перевіряти результативність такого поліпшення.

2.7 Регресійний аналіз

2.7.1 Загальна характеристика

Регресійний аналіз виявляє залежність досліджуваної характеристики (зазвичай називають «змінна відгуку») від потенційно причинних чинників (які зазвичай називають «пояснювальні змінні»). Такий зв'язок установлюють моделлю, джерелом походження якої можуть бути наука, економіка, техніка тощо, або його можна отримати емпірично. Призначеність його – допомогти зрозуміти потенційну причину варіації у відгуку та пояснити, наскільки вагомим є внесок кожного чинника до цієї варіації. Цього досягають статистичним пов'язуванням варіації у змінній відгуку з варіацією в пояснювальних змінних та отриманням найкращої узгодженості через мінімізування розходження між очікуваним і фактичним відгуком.

2.7.2 Сфера застосування

Регресійний аналіз дає змогу користувачеві виконувати такі дії:

- перевіряти гіпотези стосовно впливу потенційних пояснювальних змінних на відгук та використовувати цю інформацію, щоб описати зміну, що оцінюється у відгуку на задану зміну, в пояснювальній змінній;
- прогнозувати значення змінної відгуку на конкретні значення пояснювальних змінних;
- прогнозувати (зі встановленою довірчою ймовірністю) діапазон значень, у межах якого очікують відгук, за наявності конкретних значень для пояснювальних змінних;
- оцінити напрям і ступінь зв'язку між змінною відгуку та пояснювальною змінною (хоча такий зв'язок не припускає причинності). Таку інформацію можна використати для визначення впливу змінювання

окремого чинника, наприклад, температури, на результат процесу, тоді як інші чинники залишаються сталими.

2.7.3 Переваги

Регресійний аналіз дає можливість зрозуміти зв'язок між різними чинниками та досліджуваним відгуком, і таке розуміння може допомогти вирішити питання, пов'язані із досліджуваним процесом і, зрештою, поліпшити процес.

Регресійний аналіз забезпечує краще розуміння проблем завдяки його здатності стисло описувати типи даних відгуку, порівнювати різні, але пов'язані між собою підмножини даних, та аналізувати потенційні причинно-наслідкові зв'язки. Якщо зв'язки змодельовано добре, регресійний аналіз може забезпечити оцінювання відносних величин впливу пояснювальних змінних, а також відносної сили цих змінних. Ця інформація потенційно корисна для контролювання результатів процесу або їх поліпшування.

Регресійний аналіз може також забезпечити оцінювання величини та джерел впливів на відгук, зумовлених чинниками, які або не виміряні, або не розглянуті під час аналізування. Цю інформацію можна використати для поліпшування системи вимірювання або процесу.

Регресійний аналіз можна використовувати для того, щоб передбачити значення змінної відгуку щодо заданих значень одної або декількох пояснювальних змінних; так само його можна використовувати для прогнозування впливу змін у пояснювальних змінних на наявний або передбачуваний відгук. Проведення такого аналізу може бути корисним перед інвестуванням часу або коштів при вирішенні проблеми, якщо результативність дії невідома.

2.7.4 Обмеження і застереження

Моделюючи процес, потрібно вміти визначати придатну модель регресії (наприклад, лінійну, експоненційну чи багатомірну) і використовувати діагностику для поліпшування моделі. Наявність неврахованих змінних, похибки(-ок) вимірювання та інших джерел непоясненої варіації у відгуку можуть ускладнити моделювання. Припущення, що лежать в основі регресійної моделі, про яку йдеться мова, та характеристики доступних даних визначають метод оцінювання, придатний для вирішення проблеми регресійного аналізу.

Інколи під час розроблення регресійної моделі виникає проблема наявності даних, вірогідність яких є сумнівною. Вірогідність таких даних треба, по можливості, досліджувати, оскільки внесення даних до аналізу чи випущення даних з аналізу може впливати на оцінення параметрів моделі і, у зв'язку з цим, на відгук.

Під час моделювання важливо спрощувати модель, мінімізуючи кількість пояснювальних змінних. Внесення зайвих змінних може

спотворювати вплив пояснювальних змінних і знижувати точність прогнозів на основі моделі. Проте неврахування важливої пояснювальної змінної може суттєво обмежувати модель і корисність результатів.

2.7.5 Приклади застосування

Регресійний аналіз використовують для моделювання виробничих характеристик, таких, як вихід продукції, продуктивність, якість виконання, тривалість циклу, ймовірність невдалого випробування або перевірки, різні типи невідповідностей у процесах. Регресійний аналіз використовують для визначення найважливіших чинників у цих процесах і величини та характеру їх внеску у варіацію досліджуваної характеристики.

Регресійний аналіз застосовують для прогнозування результатів експерименту або керованого перспективного або ретроспективного дослідження змін у матеріалах або в умовах виробництва, а також для перевірки заміни одного методу вимірювання іншим, наприклад, руйнівного або тривалого методу на неруйнівний або прискорений.

Прикладами застосування нелінійної регресії є: моделювання концентрації ліків як функції, що залежить від віку та ваги обстежуваної особи; моделювання хімічних реакцій як функції, що залежить від часу, температури та тиску.

2.8 Аналіз надійності

2.8.1 Загальна характеристика

Аналіз надійності – це застосування технічних і аналітичних методів для оцінювання, прогнозування та забезпечування безвідмовного у часі функціонування досліджуваної продукції або системи .

Методи, використовувані при аналізі надійності, часто потребують застосування статистичних методів для опрацювання невизначеностей, випадкових характеристик або ймовірностей виникнення (відмов тощо) у часі. Такий аналіз зазвичай передбачає використання відповідних статистичних моделей для характеризувати досліджуваних змінних, зокрема напрацювання до відмови або напрацювання між відмовами. Параметри цих статистичних моделей розраховують з емпіричних даних, отриманих під час лабораторного, заводського або польового випробовування.

Аналіз надійності охоплює й інші методи (зокрема аналіз типу та наслідків відмов), що зосереджені на фізичній сутності та причинах відмови і на попередженні чи зменшенні відмов.

2.8.2 Сфера застосування

Аналіз надійності використовують, щоб виконати такі дії:

- перевірити дотримання встановлених мір надійності на основі даних обмеженого за часом випробування та охоплення встановленої кількості випробовуваних одиниць;

- спрогнозувати ймовірність безвідмовного функціонування або інших мір надійності, таких, як інтенсивність відмов або середнє напрацювання відмов складників або систем;
- змодельовати розподіли відмов і робочих сценаріїв функціонування продукції або надання послуги;
- забезпечити статистичними даними про проектні параметри, наприклад, напруженість і міцність, що корисні для ймовірнісного проектування;
- визначити критичні складові або складові підвищеного ризику та ймовірних видів і механізмів відмов для сприяння пошуку причин і запобіжних заходів.

Статистичні методи, використовувані в аналізі надійності, дають змогу додавати статистичні довірчі рівні до розрахунків параметрів розроблюваних моделей надійності, а також до прогнозів на основі цих моделей.

2.8.3 Переваги

Аналіз надійності забезпечує кількісну міру функціонування продукції (надання послуги) до відмови (переривання послуги). Дії в цій сфері тісно пов'язані зі зменшенням ризику під час роботи системи. Надійність є також чинником, який впливає на сприйняття якості продукції чи послуги, а також на задоволеність замовника.

Переваги використання статистичних методів при аналізі надійності є такі:

- здатність прогнозувати та кількісно подавати ймовірність відмов та інші міри надійності у встановлених довірчих межах;
- розуміння сутності, що сприяє вирішенню питань стосовно різних альтернатив проектування при використанні різних стратегій резервування й послаблення;
- розроблення об'єктивних критеріїв приймання або бракування під час випробовування на відповідність для підтвердження виконання вимог до надійності;
- змога планувати оптимальні графіки профілактичного технічного обслуговування та заміни устаткування на основі аналізу надійності із залученням даних про функціонування продукції, обслуговування та зношення;
- можливість поліпшувати проектування для економного досягнення заданого рівня надійності.

2.8.4 Обмеження і застереження

Основне припущення при аналізі надійності полягає в тому, що функціонування досліджуваної системи можна коректно охарактеризувати статистичним розподілом. Тому точність розрахування надійності залежатиме від вірогідності цього припущення.

Складність аналізу надійності зростає у випадку наявності значної кількості видів відмов, які можуть відповідати або не відповідати тому самому статистичному розподілу. Крім того, якщо кількість відмов під час випробовування на надійність є малою, то це може значно вплинути на статистичну вірогідність і точність, що пов'язані з розрахуванням надійності.

Умови, за яких виконують випробування на надійність, є критично важливими, особливо, якщо випробування передбачає певну форму «прискореної напруженості» (тобто напруженості, що є значно більшою за напруженість, яку зазнає продукція за нормальних умов використання). Іноді важко визначати зв'язок між відмовами під час випробовування і показниками функціонування продукції за нормальних робочих умов, що може збільшувати невизначеність у прогнозуваннях надійності.

2.8.5 Приклади застосування

Типовими прикладами застосування аналізу надійності є:

- перевіряння того, що складові продукції або продукція в цілому можуть задовольняти встановлені вимоги до надійності;
- прогнозування витрат упродовж життєвого циклу продукції на основі аналізу її надійності, використовуючи дані випробувань нової продукції перед її освоєнням;
- настанови щодо вирішення питань про виготовлення продукції або закупівлю готової продукції на основі аналізу її надійності й оціненого впливу на плани постачання та вторинні витрати, пов'язані з прогнозованими відмовами;
- прогнозування технологічної готовності програмних продуктів на основі результатів випробувань, поліпшення якості та підвищення надійності, а також розроблення планів випуску програмного забезпечення відповідно до вимог ринку;
- визначання переважних характеристик зношеності продукції для сприяння поліпшуванню проектування продукції або розробленню відповідного графіка технічного обслуговування та планування необхідних ресурсів.

2.9 Вибіркові методи

2.9.1 Загальна характеристика

Вибірковий метод – це систематична статистична методика отримання інформації про певну характеристику генеральної сукупності через дослідження репрезентативної частки (тобто вибірки) цієї сукупності. Існують різні методи відбирання, які можна застосовувати (наприклад, просте випадкове відбирання, розшароване, систематичне, послідовне або відбирання з пропуском партій). Вибір методу залежить від мети та умов, за яких його має бути проведено.

2.9.2 Сфера застосування

Вибіркові методи можна умовно поділити на дві сфери, які не заперечують одна одну: «приймальний вибірковий контроль» і «спостережний вибірковий контроль».

Приймальний вибірковий контроль стосується прийняття рішення щодо приймання або не приймання «партії» (тобто згрупованих одиниць) на основі результатів вибірки, взятої з цієї партії. Існує великий обсяг планів приймального вибіркового контролю щодо конкретних вимог і застосувань.

Спостережний вибірковий контроль використовують під час перелічувальних або аналітичних досліджень для розрахування значень одної чи декількох характеристик у генеральній сукупності або для оцінювання того, як ці характеристики розподілено за сукупністю. Спостережний вибірковий контроль часто поєднують з опитуванням, під час якого збирають інформацію про думку людей щодо об'єкта спостереження, наприклад, опитування замовників. Його можна однаково застосовувати до збирання даних для інших цілей, наприклад, аудитів.

Спеціалізованою формою спостережного вибіркового контролю є дослідницький вибірковий контроль, який використовують у дослідженнях для отримання інформації про характеристику(-и) генеральної сукупності або підмножини цієї сукупності. Таким є виробничий вибірковий контроль, який можна здійснювати, наприклад, для аналізу можливості процесу.

Іншим застосуванням є об'ємне вибіркове обстеження матеріалів (наприклад, мінералів, рідин і газів), для якого розроблено плани вибіркового контролю.

2.9.3 Переваги

Належним чином побудований план вибіркового контролю забезпечує економію часу, коштів і трудових ресурсів порівнянно зі збиранням даних про всю сукупність або із суцільним контролем партії. Якщо контроль продукції передбачає проведення руйнівного випробовування, то вибірковий контроль стає єдиним практичним способом отримання суттєвої інформації.

Вибіркові методи забезпечують економний і оперативний спосіб отримання попередньої інформації стосовно значення або розподілу досліджуваної характеристики в сукупності.

2.9.4 Обмеження і застереження

Складаючи план вибіркового контролю, особливу увагу треба приділяти питанням щодо обсягу вибірки, частоти відбирання, відбирання проб, основи розподілення на підгрупи і різних інших аспектів методики вибіркового контролювання.

Вибіркові методи потребують, щоб вибірку отримували неупереджено (тобто, щоб вибірка була репрезентативною щодо генеральної сукупності, з якої її беруть). Невиконання цієї вимоги призведе до неправильного оцінювання характеристик генеральної сукупності. У разі приймального вибіркового контролю нерепрезентативні вибірки можуть призвести до неспричиненого необхідністю бракування партій продукції прийнятної якості або до небажаного приймання партій продукції неприйнятної якості.

Навіть, якщо вибірки неупереджені, інформація, отримана з вибірок, має певний ступінь похибки. Величину цієї похибки можна зменшити, використовуючи більший обсяг вибірки, але уникнути її неможливо. Залежно від конкретного випадку і умов проведення вибіркового контролю обсяг вибірки, потрібної для досягнення бажаної довірчої ймовірності та точності, може бути надто великим, щоб мати практичну цінність.

2.9.5 Приклади застосування

Спостережний вибірковий контроль часто застосовують у дослідженнях ринку для розрахування частки населення, яка може купити конкретну продукцію. Його також застосовують під час проведення аудитів матеріально-виробничих запасів для розрахування відсотка виробів, які задовольняють установлені критерії.

Вибіркові методи використовують для проведення технологічних перевірок операторів, машин або продукції для моніторингу варіації та визначення коригувальних і запобіжних дій.

Вибіркові методи широко застосовують у промисловості для забезпечення певного рівня гарантування того, що вхідні матеріали відповідають заданим вимогам.

За допомогою об'ємного вибіркового обстеження можна провадити розрахункове оцінювання кількості або властивостей складників матеріалів (наприклад, мінералів, рідин і газів).

2.10 Імітаційне моделювання

2.10.1 Загальна характеристика

Імітаційне моделювання – це збірний термін стосовно процедур, за допомогою яких комп'ютерною програмою у математичному вигляді (теоретичному або емпіричному) подають систему для розв'язання певної задачі. Якщо подання містить поняття теорії ймовірності, зокрема випадкових змінних, моделювання може бути названо методом Монте-Карло.

2.10.2 Сфера застосування

У контексті теоретичної науки імітаційне моделювання використовують тоді, коли вичерпна теорія для розв'язання задачі

невідома (або відома, але задачу неможливо або важко розв'язати) і коли розв'язок можна отримати за допомогою комп'ютера. В емпіричному контексті моделювання використовують, якщо систему можна адекватно описати комп'ютерною програмою. Моделювання також є корисним інструментом для викладання статистики.

Завдяки розвитку відносно недорогої обчислювальної техніки застосування моделювання поширюється на ті задачі, які раніше не розглядали.

2.10.3 Переваги

У межах теоретичних наук імітаційне моделювання (зокрема метод Монте-Карло) використовують, якщо явне розрахункове розв'язання задач є неможливим або занадто громіздким для безпосереднього виконання (наприклад, n -мірне інтегрування). Аналогічно в емпіричному контексті моделювання використовують, якщо емпіричні дослідження є неможливими або занадто дорогими. Перевага моделювання полягає у тому, що воно уможливорює розв'язання задач з економією часу та коштів або отримання розв'язку взагалі.

Використання моделювання у викладанні статистики обумовлено його можливістю ефективно ілюструвати випадкову варіацію.

2.10.4 Обмеження і застереження

У межах теоретичної науки докази, основані на концептуальному міркуванні, мають переважати над моделюванням, оскільки моделювання часто не забезпечує розуміння причин результату.

Обмеженість комп'ютерного моделювання емпіричних моделей полягає в тому, що модель може не бути адекватною (тобто не може достатньо відображати задачу). Тому його не можна вважати заміною реально виконуваних емпіричних досліджень та експериментів.

2.10.5 Приклади застосування

У масштабних проектах (зокрема космічній програмі) зазвичай використовують метод Монте-Карло. Застосування не обмежено будь-якими конкретними галузями промисловості. Типовими сферами застосування є: побудова довірчих меж, моделювання процесу, оптимізація системи, теорія надійності й прогнозування. Наведемо деякі конкретні види застосування:

- імітаційне моделювання варіації в механічних складених вузлах;
- імітаційне моделювання профілів вібрації в складених вузлах;
- визначення оптимальних графіків профілактичного технічного обслуговування;
- проведення вартісного та іншого аналізування процесів проектування й виробництва для оптимізації розподілення ресурсів.

2.11 Карти статистичного контролю процесу (SPC-карти)

2.11.1 Загальна характеристика

SPC-карта, або контрольна карта – це графік даних, отриманих з періодично відібраних з процесу вибірок і послідовно нанесених на карту. На SPC-карту також наносять «контрольні межі», що описують притаманну мінливість процесу, коли він є стабільним. Функція контрольної карти полягає в сприянні оцінюванню стабільності процесу. Це роблять перевірками нанесених на карту даних стосовно контрольних меж.

На карту може бути нанесено будь-яку змінну (дані вимірювання) або якісну ознаку (дані підраховування), що відображає досліджувану характеристику продукції або процесу. У разі кількісних даних одну контрольну карту зазвичай використовують для моніторингу змін, які виникають всередині процесу, і окрему контрольну карту – для моніторингу мінливості процесу.

У разі якісних даних контрольні карти зазвичай упорядковують стосовно кількості невідповідних одиниць або їх частки, або кількості невідповідностей, виявлених у вибірках, визначених у процесі.

Стандартну форму контрольної карти для кількісних даних називають «картою Шухарта». Існують інші форми контрольних карт, кожна з яких придатна для застосування за конкретних обставин. Прикладами є «контрольні карти кумулятивних сум», які уможливають підвищену чутливість до незначних зміщень у процесі, «контрольні карти ковзального середнього» (рівномірні або зважені), що призначені згладжувати короткострокові варіації для виявлення сталих трендів.

2.11.2 Сфера застосування

SPC-карти використовують для виявлення змін у процесі. Нанесені на карту дані, які можуть бути окремим показом або певною статистикою, наприклад, вибіркоvim середнім, порівнюють з контрольними межами. У найпростішому вигляді нанесена на карту точка, яка потрапляє поза контрольні межі, сигналізує про можливу зміну в процесі, можливо, через певну «невипадкову причину». Це ідентифікує потребу в дослідженні причини «неконтрольованого» показу і за необхідності в налагодженні процесу. Це допомагає підтримати стабільність процесу і, зрештою, поліпшити його.

Використання контрольних карт можна вдосконалити для уможливлення швидшого показу змін процесу або підвищення чутливості до незначних змін завдяки використанню додаткових критеріїв у тлумаченні трендів і структури графічних даних.

2.11.3 Переваги

Крім можливості подавати користувачеві дані наочно, контрольні карти полегшують відповідний відгук на зміну процесу, допомагаючи

користувачеві розрізняти випадкову варіацію, притаманну стабільному процесу, від варіації, яку може зумовити «невипадкова причина» (тобто, якій можна приписати конкретну причину). Своєчасне виявлення та коригування такої причини може допомогти поліпшити процес. Нижче наведено приклади ролі та значення контрольних карт у процесі, пов'язаному з певними роботами:

- контроль процесу: контрольні карти кількісних ознак використовують для виявлення змін у центрі процесу або мінливості процесу та ініціювання коригувальних дій і, таким чином, для підтримання або відновлення стабільності процесу;

- аналіз можливості процесу: якщо процес знаходиться у стабільному стані, дані з контрольної карти можна використовувати надалі для розрахункового оцінювання можливості процесу;

- аналіз системи вимірювання: завдяки введенню контрольних меж, що відображають притаманну мінливість системи вимірювання, контрольна карта може показувати спроможність системи вимірювання виявляти мінливість досліджуваного процесу або продукції. Контрольні карти можна також використовувати для моніторингу самого процесу вимірювання;

- причинно-наслідковий аналіз: кореляція між подіями процесу і видами контрольних карт може допомагати робити висновок про основні невідповідні причини й планувати результативні дії;

- постійне поліпшування: контрольні карти використовують для моніторингу варіації процесу, вони допомагають ідентифікувати й усувати причину(-и) варіації. Визнано, що вони особливо ефективні, коли їх використовують як частину системної програми постійного поліпшування в межах організації.

2.11.4 Обмеження і застереження

Важливо, щоб вибірки процесу використовували як спосіб, найкращий для виявлення досліджуваної варіації. Такі вибірки називають «раціональною підгрупою». Це має першочергове значення для ефективного використання й тлумачення SPC-карт, а також для розуміння джерел варіацій процесу.

Особливі труднощі являють собою короткострокові процеси, оскільки для встановлення належних контрольних меж зазвичай буває недостатньо даних.

Під час тлумачення контрольних карт існує ризик «хибних тривог» (тобто ризик зробити висновок про те, що зміна виникла, хоча в дійсності цього не сталося). Також є ризик не виявити зміну, яка відбулася. Ці ризики можна зменшити, але неможливо усунути.

2.11.5 Приклади застосування

На підприємствах автомобільної, електронної, оборонної та інших

галузей часто використовують контрольні карти (для критичних характеристик), щоб досягати й демонструвати постійну стабільність і можливості процесу. Якщо виявлено невідповідну продукцію, карти застосовують, щоб допомогти встановити ризик та визначити сферу коригувальних дій.

Контрольні карти використовують для вирішення проблем на робочому місці, їх застосовують на всіх рівнях організації, щоб сприяти усвідомленню проблеми та аналізуванню кореневої причини.

Контрольні карти використовують у машинобудівній промисловості для зменшення необумовленого необхідністю втручання в процес (надмірного налагодження), даючи змогу працівникам розрізняти варіацію, притаманну процесу, і варіацію, яку можна вважати «невипадковою причиною».

Контрольні карти характеристик вибірки, наприклад, середній час відгуку, частоту виникнення похибок і частоту рекламацій, використовують для вимірювання, діагностування та поліпшування роботи у сфері послуг.

2.12 Побудова довірчих меж

2.12.1 Загальна характеристика

Побудова довірчих меж – це основана на певних статистичних принципах процедура, яку використовують для встановлення допусків. Вона передбачає використання статистичних розподілів відповідних розмірів складників для визначення загального допуску для складеної одиниці.

2.12.2 Сфера застосування

У разі введення багатьох окремих складових в один модуль критичним чинником або вимогою з погляду складання й взаємозамінності таких модулів часто є не розміри окремих складників, а сукупний розмір, якого досягають унаслідок поєднання.

Екстремальні значення сукупного розміру (тобто, дуже великі або дуже малі значення) виникають тільки в тому разі, якщо розміри всіх окремих складових є або на верхній, або на нижній межі відповідних індивідуальних полів допусків. У межах послідовного ряду допусків, коли індивідуальні допуски додають для отримання допуску на сукупний розмір, тоді допуск на сукупний розмір розглядають як арифметичний загальний допуск.

Для статистичного визначення загальних допусків припускають, що в складених виробах, поєднаних з великою кількістю окремих складових, розміри з однієї межі поля індивідуальних допусків збалансуюватимуть з розмірами іншої межі поля допусків. Наприклад, окремий розмір, що лежить на нижній межі поля допусків, може збігатися з іншим розміром (або комбінацією розмірів), що лежить на верхній межі поля допусків. З

погляду статистики сукупний розмір матиме за певних обставин приблизно нормальний розподіл. Цей факт є достатньо не залежним від розподілу окремих розмірів і тому його можна використовувати для розрахункового оцінювання поля допусків сукупного розміру складеного модуля. І навпаки, загальний допуск на розмір можна використовувати для визначення допустимого поля допусків окремих складових.

2.12.3 Переваги

За наявності набору індивідуальних допусків (які не обов'язково мають бути ті самі) результатом обчислення статистичного загального допуску стає загальний допуск на розмір, який буде значно меншим від загального допуску на розмір, обчисленого арифметично.

Це означає, що за наявності загального допуску на розмір побудова довірчих меж даватиме змогу використовувати більші допуски на окремі розміри, ніж ті, що обчислили арифметично. Це може становити значну перевагу, оскільки більші допуски пов'язано з простішими та більш рентабельними методами виробництва.

2.12.4 Обмеження і застереження

Побудова довірчих меж потребує спочатку встановити частку складених модулів, яка була б розташована поза полем допусків на сукупний розмір. Потім треба виконати наведені нижче передумови щодо забезпечення реальності побудови довірчих меж (не вимагаючи застосування передових методів):

- окремі фактичні розміри можна розглядати як некорельовані випадкові змінні;
- розмірний ряд є лінійним;
- розмірний ряд має щонайменше чотири складових;
- окремі допуски є величинами того самого порядку;
- розподіли окремих розмірів розмірного ряду є відомими.

Очевидно, що деякі з цих вимог може бути задоволено тільки за можливості контролю та постійного моніторингу виробництва окремих складників продукції, яких це стосується. У разі, якщо продукція знаходиться ще на стадії розроблення, то під час побудови довірчих меж треба керуватися досвідом та інженерними знаннями.

2.12.5 Приклади застосування

Теорію побудови довірчих меж зазвичай застосовують під час складання деталей, що передбачає адитивні відношення, або у випадках, пов'язаних з простим відніманням (наприклад, вал і отвір). До промислових галузей, в яких використовують побудову довірчих меж, належать машинобудівна, електронна та хімічна. Теорію також застосовують у комп'ютерному моделюванні для визначення оптимальних допусків.

2.13 Аналіз часових рядів

2.13.1 Загальна характеристика

Аналіз часових рядів – це застосування широкого набору методів дослідження добірки спостережень, послідовно виконаних протягом певного часу. Аналіз часових рядів використовують тут у прив'язці до аналітичних методів у таких сферах застосування:

- пошук моделей «із запізненням» через статистичний огляд того, як кожне спостереження скорельовано зі спостереженням, що безпосередньо передує йому, і повторення цього для кожного наступного періоду запізнення;
- пошук циклічних або сезонних моделей для того, щоб зрозуміти, як причинні чинники в минулому можуть повторно впливати в майбутньому;
- використання статистичних засобів для того, щоб спрогнозувати майбутні спостереження або зрозуміти, які причинні чинники найбільше сприяли варіаціям у часових рядах.

Хоча при застосовуванні методів в аналізі часових рядів можна передбачати використання простих «карт тенденцій», у стандарті ДСТУ ISO 10017 такі елементарні діаграми віднесено до простих графічних методів. Їх наведено в «Описовій статистиці» (пп. 2.2.1).

2.13.2 Сфера застосування

Аналіз часових рядів використовують з тим, щоб описати моделі даних часових рядів для ідентифікації «викидів» (тобто екстремальних значень, вірогідність яких має бути досліджено), щоб або сприяти розумінню моделей, або провести налагодження, а також виявити поворотні точки у тренді. При іншому використанні маємо на меті пояснення моделей в одному часовому ряді, використовуючи моделі іншого часового ряду з усіма завданнями, притаманними регресійному аналізу.

Аналіз часових рядів використовують для того, щоб передбачити майбутнє значення часових рядів, як правило, з певними верхньою і нижньою межами, відомими як проміжок прогнозування. Метод має широке застосування у сфері контролю, при використанні в автоматизованих процесах. У такому разі підбирають імовірнісну модель до минулого часового ряду, прогнозують наступні значення, а потім налагоджують конкретні параметри процесу з тим, щоб процес залишався цілеспрямованим за наявності якнайменшої варіації.

2.13.3 Переваги

Методи аналізу часових рядів використовують при плануванні, організації технічного керування, ідентифікації змін в процесі,

формулюванні прогнозів та вимірюванні наслідків деяких зовнішніх втручань або дій.

Аналіз часових рядів також застосовують для порівняння запланованих показників процесу з прогнозованими значеннями в часових рядах, якщо має бути введено конкретну зміну. Методи часових рядів можуть забезпечувати розуміння сутності можливих причинно-наслідкових моделей. Існують методи для відокремлення систематичних (або не випадкових) причин від випадкових і для поділення моделей у часовому ряді на циклічні, сезонні складники та складники трендів.

Аналіз часових рядів часто застосовують для того, щоб зрозуміти поведінку процесу за встановлених умов і те, які налагодження (якщо їх робитимуть) можуть впливати на досягнення певного заданого параметра або які налагодження можуть зменшити мінливість процесу.

2.13.4 Обмеження і застереження

Обмеження і застереження, наведені для виконання регресійного аналізу, також застосовують до аналізу часових рядів. Якщо моделювання процесу здійснюють для визначення причин і наслідків, тоді потрібен значний рівень кваліфікації співробітника, щоб вибрати найпридатнішу модель і застосувати діагностичні засоби для її поліпшення.

Одне спостереження або невелика низка спостережень, що долучені або пропущені під час аналізування, можуть мати значний вплив на модель. Тому впливові спостереження треба розуміти та відрізняти від «викидів» у даних.

Різні методи аналізування часових рядів можна застосовувати із змінним успіхом залежно від моделей у часових рядах і кількості періодів, для яких прогнозування відбувається, відповідно до кількості періодів часу, для яких існують дані часових рядів. Під час вибирання моделі треба розглянути мету аналізу, природу даних, відносну вартість реалізації, а також аналітичні та очікувані властивості різноманітних моделей.

2.13.5 Приклади застосування

Аналіз часових рядів використовують для вивчення протягом певного часу моделей дій, які пов'язано, наприклад, з вимірюваннями процесів, рекламаціями замовників, невідповідностями, продуктивністю та результатами випробувань.

Застосування з метою прогнозування охоплює передбачення необхідної кількості запасних частин, невиходів на роботу, замовлень клієнтів, потребу в матеріалах, споживання електроенергії.

Причинний аналіз часових рядів використовують для розроблення моделей прогнозування попиту. Наприклад, у контексті надійності його застосовують для передбачення кількості подій у межах заданого періоду часу та розподілу проміжків часу між подіями, наприклад, простоями устаткування.

3 МЕТОДИ СТАТИСТИЧНОГО КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ

Найбільш поширеними методами статистичного контролю якості є такі: розшарування (стратифікація), графіки, діаграма Парето, причинно-наслідкова діаграма, гістограма, діаграма розподілу, діаграма розкиду, контрольні карти, контрольний листок [3,4].

Будь-яку виробничу проблему вирішують за такою схемою:

1 Оцінювання відхилень параметрів від встановленої норми. Вихідні дані для цього аналізу отримують із журналів реєстрації і відображають у графічному вигляді в таких випадках: при виготовленні виробів з дефектами; появі рекламаций; затримці руху вихідної сировини, матеріалів, готової продукції; збільшенні строків зберігання готової продукції на складах; появі дефіциту продукції; затримці процедур діловодства; затримці поставок; зменшенні виручки від продажів; зменшенні прибутку; несправності устаткування; зменшенні продуктивності обладнання та ін. За допомогою контрольних карт оцінюють характер відхилень параметрів процесу від норми, а потім за допомогою гістограм – ступінь нестабільності процесу.

2 Вибір найважливіших чинників з числа багатьох виявлених, які впливають на вирішення проблеми або корегування процесу, проводять методами розшарування, аналізу ABC та за допомогою діаграм Парето.

3 Оцінювання чинників, які є причинами виникнення проблем у виробництві, виконують за допомогою «мозкового штурму», в якому беруть участь всі зацікавлені працівники, які аналізують причинно-наслідкову діаграму із внесеними всіма припустимо впливовими чинниками. При цьому проводять розшарування залежностей між типами браку і впливовими чинниками або між чинниками різних порядків та за допомогою діаграми викиду досліджують можливість кореляції.

4 Оцінювання найважливіших (найвпливовіших) чинників, що призводять до виникнення браку, здійснюється за допомогою аналізу ABC і діаграм Парето.

5 Вдосконалення операцій (процесів). Якщо після систематизації і аналізу впливових чинників розроблені корегуючі заходи мають успіх, методи виробництва вдосконалюють, що може привести навіть до створення нових стандартів виробництва.

6 Підтвердження результатів. Після поліпшення процесу знову проводять дослідження за допомогою контрольних карт і гістограм з метою оцінювання його стабільності після проведених корегуючих дій. Ступінь поліпшення стану процесу визначають порівнянням діаграм Парето, складених до та після проведення корегуючих заходів. Поліпшення стану процесу може привести не тільки до підвищення якості продукції, а й до зниження її собівартості.

Отже, правильне оброблення і аналіз даних – важливий етап управління якістю.

3.1 Розшарування (стратифікація)

3.1.1 Загальна характеристика

Розшарування є одним з найпростіших статистичних методів, відповідно до якого групують дані залежно від умов їх отримання і обробляють кожну групу окремо. Чинниками розшарування можуть бути будь-які відмінності або ознаки, які є характеристиками одного й того ж параметра або об'єкта дослідження. Розшарування допомагає виявити причини появи дефектів, якщо з'ясовано різницю між даними «шарів» або «страт».

Відомо, що виробничий процес складається з «чотирьох М»: material (матеріал) – machine (машина, обладнання) – man (оператор) – method (метод). Розшарування можна проводити за кожною з цих складових. Наприклад, розшарування виконано за чинником «оператор», то при значній різниці між даними можна оцінити вплив кожного оператора, залученого до конкретного процесу, на якість виробу. Аналогічно розшарування, що проведене за чинником «обладнання», свідчить про наявність впливу кожної одиниці устаткування на якість виробу.

Для більш глибокого аналізу розшарування слід проводити за всіма чинниками, які можна виявити, і даними, за якими можна визначити, що поліпшить більш точне обґрунтування висновку. Більш того, так можна виявити чинники другого порядку, які впливають на викид показників якості, що залежать від чинників першого порядку, і тому потрібно здійснювати розшарування за чинниками другого порядку, а іноді й третього.

Метод розшарування застосовують у випадках, коли виробництво типової продукції, на перший погляд, в ідентичних умовах, приводить до певних відмінностей в характеристиках виробів і, якщо ці відмінності зменшують якість виробів, слід визначити причини їх виникнення і усунути. Наприклад, цей метод використовують при розрахунку вартості виробів, що є складними за конструкцією, технологією, при виборі постачальників, підрядників, оцінюванні прибутку від продажу, а також оцінюванні умов зберігання як окремо виробів, так і їх партій та ін.

3.2 Графіки

3.2.1 Загальна характеристика

Графічне подання даних широко застосовується в практичній і виробничій діяльності з метою наочності їх відображення, полегшення сприйняття і аналізу. Графік дає можливість визначити стан процесу на момент оцінювання, а також спрогнозувати розвиток процесу (тенденцію змін) і розробити заходи запобігання погіршенню процесу або посилення позитивного результату.

3.2.2 Графік, побудований ламаною лінією

Графік використовується для зображення змін, які відбуваються в часі, а також змін обсягів поставок за певний період, обсягів виробництва, розміру заробітної плати, кількості рекламацій та ін. Отже, за допомогою графіка можна відобразити і дослідити кожну складову процесу.

По осі абсцис відкладають проміжки або період часу, по осі ординат – значення відповідної величини точками, які з'єднують прямими відрізками. Ефективність отриманої інформації зростає, якщо при аналізі дані розкласти за різними чинниками.

Розглянемо приклад.

Побудувати графік залежності обсягів продажів виробів машинобудування за останні п'ять років (рисунок 1).

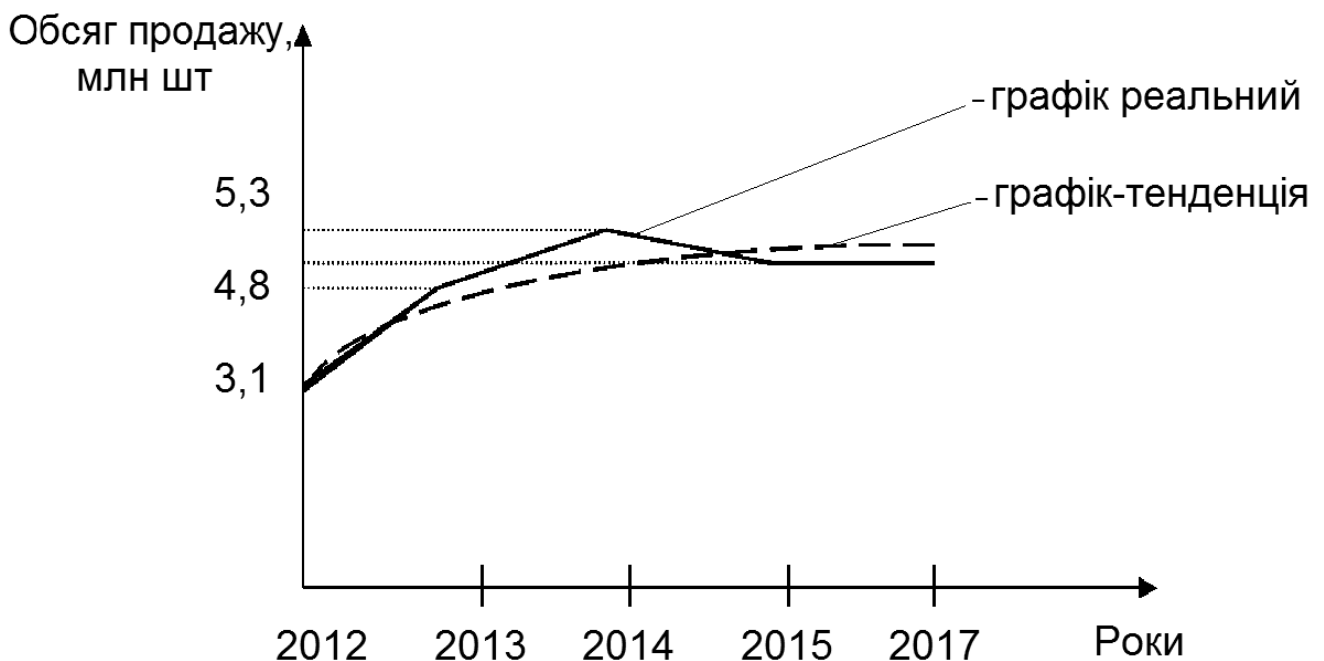


Рисунок 1 – Графік залежності обсягів продажів

За виглядом графіка можна спрогнозувати, що обсяги продажів можна очікувати сталими, приблизно на рівні 4,9 – 5,2 млн виробів, але, якщо розраховувати реальну криву методом найменших квадратів, то можна отримувати більш реальні цифри.

3.2.3 Стовпчастий графік

Призначенням стовпчастого графіка є візуалізація частоти проявів чинників при кількісному аналізі впливу кожного чинника на певний параметр. По осі абсцис відкладають чинники, а по осі ординат – кількість їх появ за певний час. За висотою стовпчиків видно, який чинник більше або менше впливає на параметр. Різновидами стовпчастого графіка є діаграма Парето і гістограма.

Приклад стовпчастого графіка, на якому відображено стимули споживачів до закупівлі виробів, показано на рисунку 2. Даними для побудови цього графіка були анкети, поширені серед потенційних користувачів цих виробів, в яких були зафіксовані такі пропозиції: а) якість продукції (52 пропозиції); б) низька ціна порівняно з продукцією цього типу інших виробників (34); в) безкоштовна доставка виробу по місту (11); г) наявність гарантійного терміну обслуговування (25); д) дизайн, зовнішній вигляд, ергономічність (18); е) інші пропозиції (21).

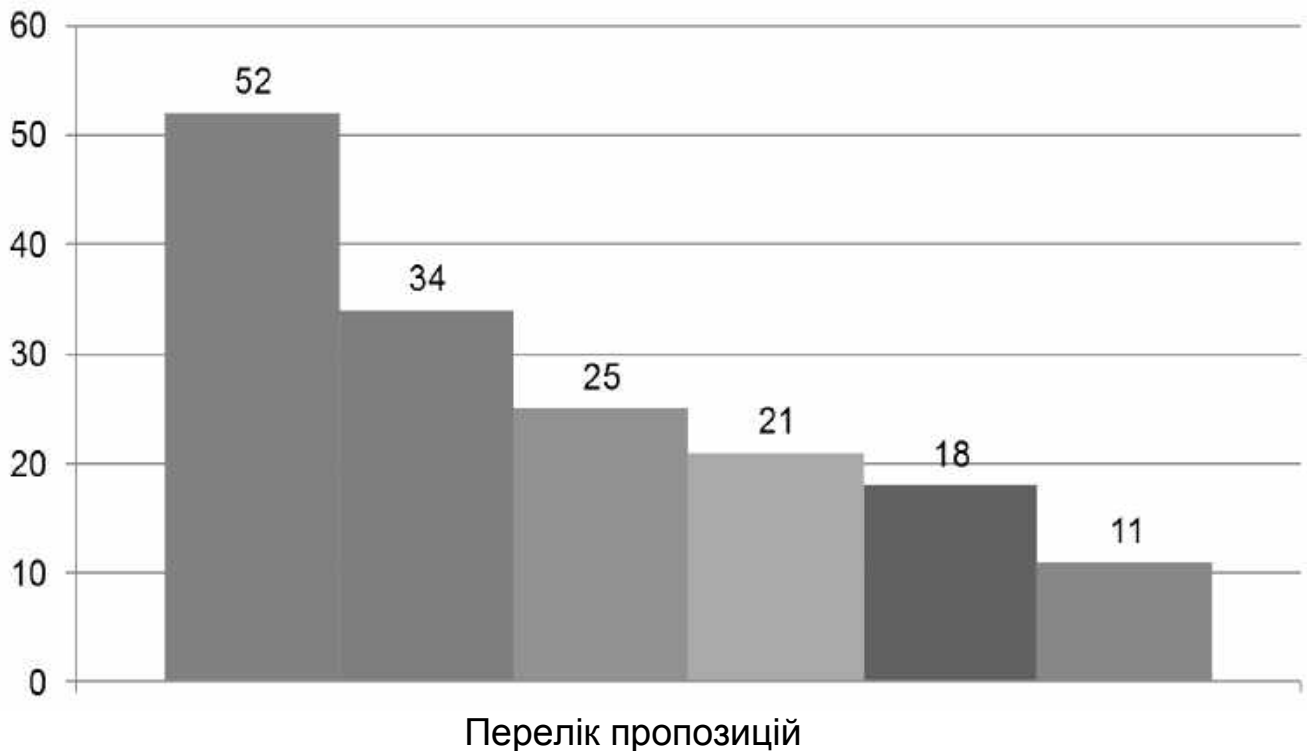


Рисунок 2 – Стовпчастий графік причин стимулювання користувачів

Стовпчики на графіку, які відображують чинники (стимули), розташовано в ранжованому порядку їх частоти. Якщо побудувати кумулятивну суму, отримаємо діаграму Парето.

3.2.4 Круговий графік

Цей графік застосовується для відображення відсоткового співвідношення даних. За допомогою кругового графіка наводять співвідношення складових частин якогось параметра і всього параметра в цілому у відсотках. Ціле приймають за 100 % і відображають повним колом, а складові – у вигляді секторів і розташовують по колу у напрямку руху часової стрілки, починаючи з чинника, що має найбільший відсоток від цілого, і закінчуючи чинником з найменшим відсотковим внеском. На круговому графіку можна бачити одразу всі складові та їх співвідношення (рисунок 3).

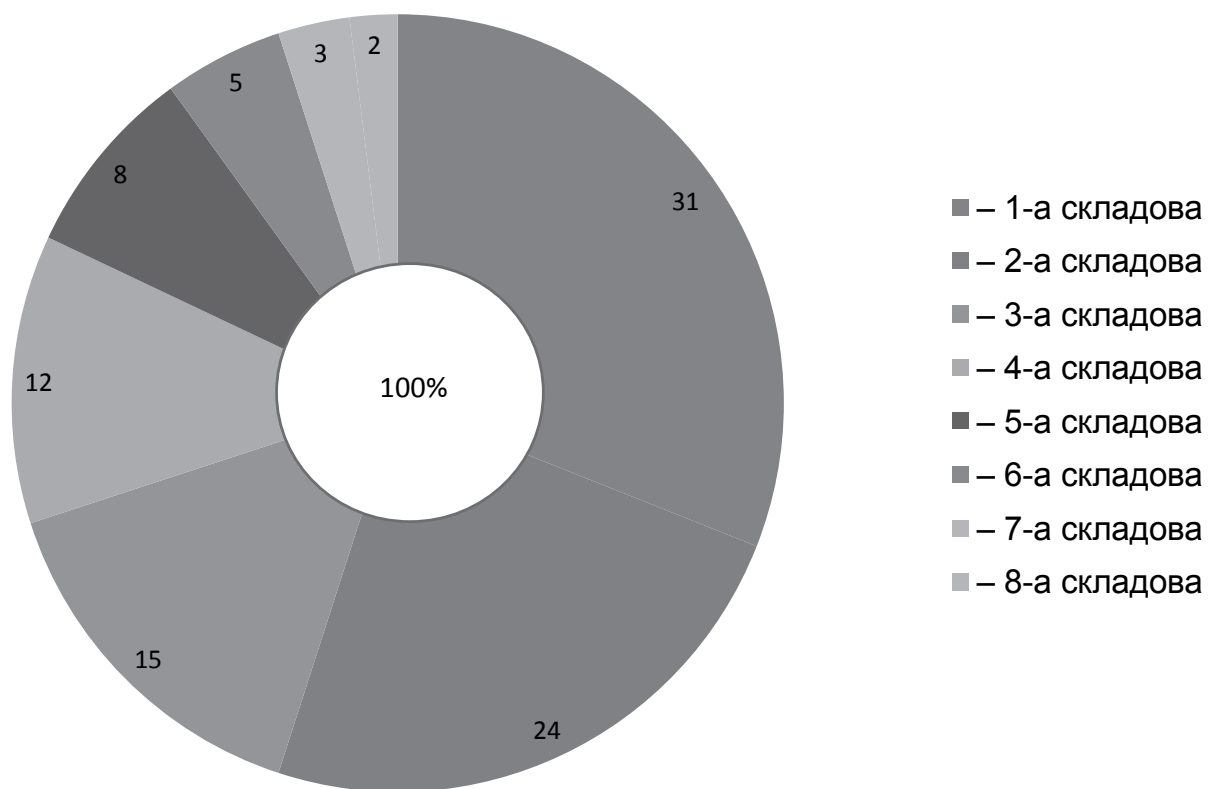


Рисунок 3 – Круговий графік

3.2.5 Стрічковий графік

Стрічковий графік застосовують для наочного подання співвідношення складових певного параметра і одночасно для відображення змінення цих складових протягом часу. Стрічковий графік зображують як прямокутник, поділений на зони, пропорційні складовим, або відповідно до кількісних значень величини або показника. На стрічці розмічають ділянки, пропорційні кожній складовій. Потім стрічковий графік систематизують таким чином, щоб окремі стрічки були розташовані в послідовному часовому порядку і було можливо оцінити зміни складових у часі.

Розглянемо приклад.

Побудувати стрічковий графік виторгу від продажів виробів різних видів (№ 1 – 6), виготовлених на одному підприємстві, в порядку зменшення їх внеску в загальний прибуток за роками.

Аналіз графіка показує, що долі виторгу від продажів виробів № 2 і № 5 у цілому зростають з року в рік, долі виробів № 1, № 3, № 6 поступово зменшуються, а продаж виробу № 4 можна вважати сталим (співвідношення відсотків сум продажів видно з графіків). Висновок: необхідно розробляти нові види виробів.

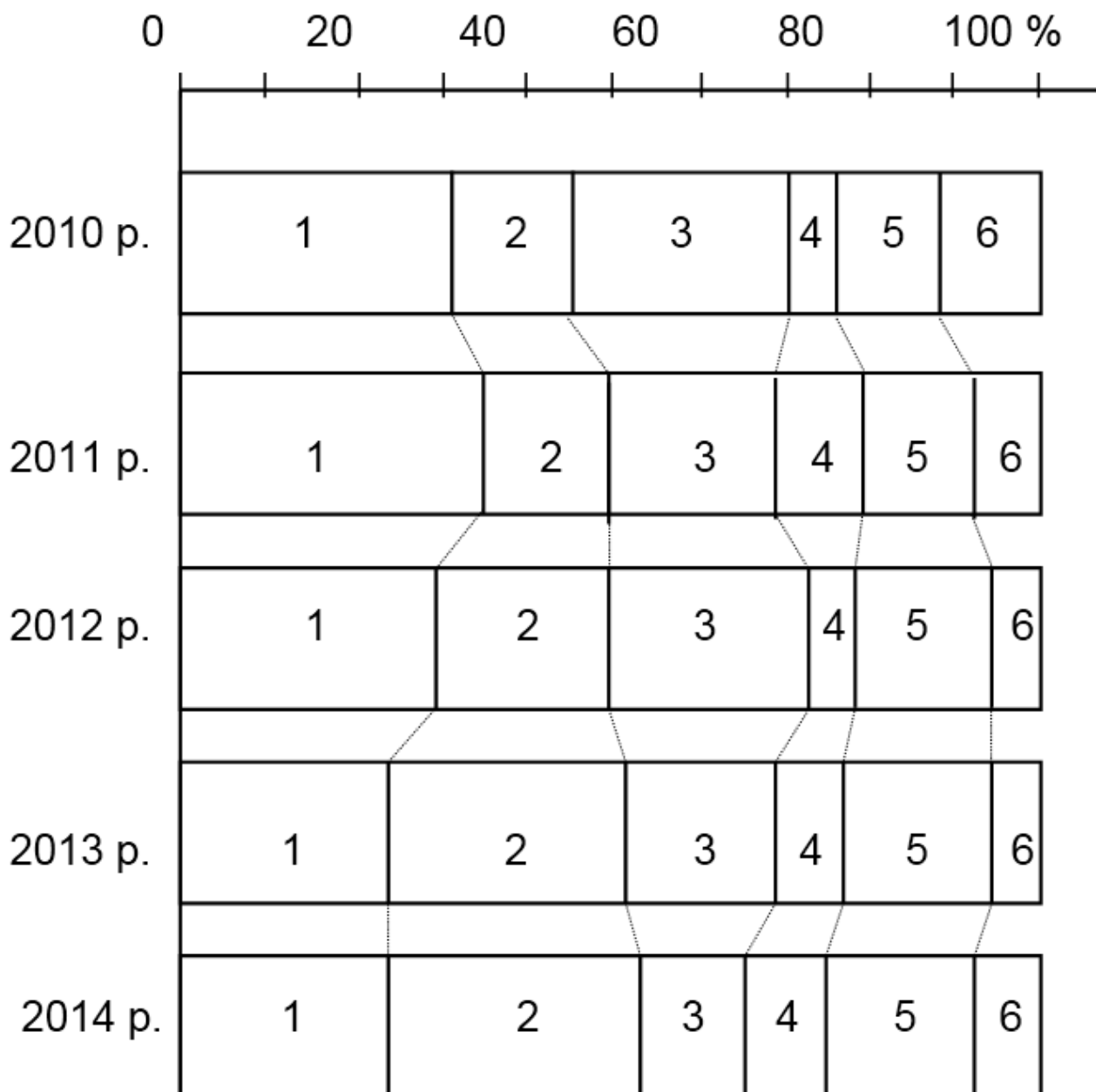


Рисунок 4 – Стрічковий графік

3.2.6 Z-подібний графік

Z-подібний графік використовують для ілюстрації умов досягнення заданих значень параметрів та оцінювання загальної тенденції фактичних даних, зібраних за місяцями. Графік будують таким чином:

1) уздовж осі абсцис відкладають параметри часу (тижні, квартали, місяці, роки); вздовж осі ординат – значення параметрів (наприклад, прибутки з продажу продукції за кожен місяць року), які з'єднують відрізками прямої; отже, отримуємо графік ламаної лінії (рисунок 5, перша крива);

2) вираховують кумулятивну суму за кожний відрізок часу и будують відповідний графік в тих же координатах (рисунок 5, друга крива);

3) обчислюють загальні значення підсумкових змін відносно попереднього звітного періоду та відображають їх ламаною лінією. Відповідне значення розраховують як значення попереднього звітного періоду мінус результат, отриманий за поточний період (рисунок 5, третя крива). Загальний графік, що складається з трьох графіків, має вигляд букви Z (рисунок 5).

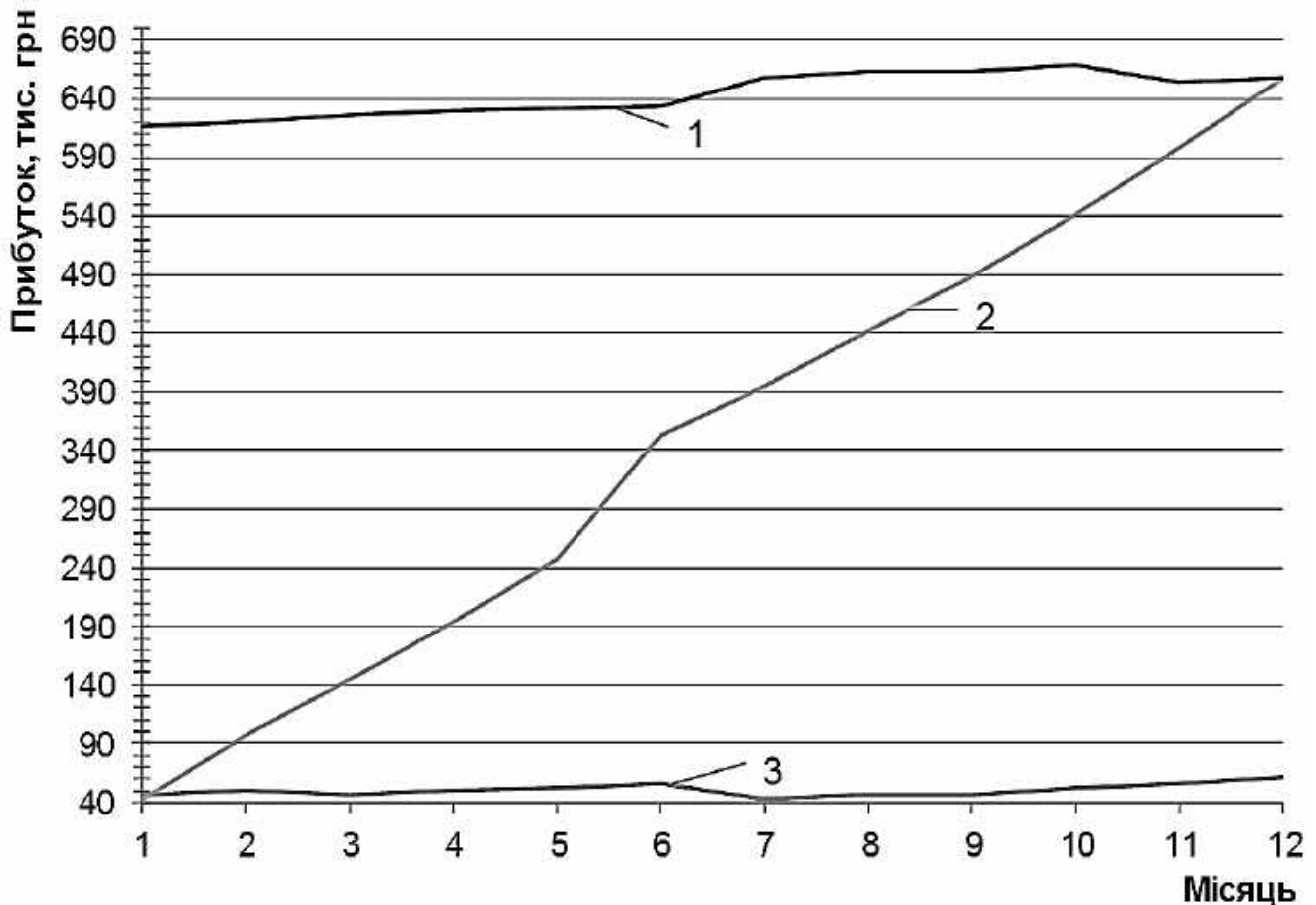


Рисунок 5 – Z-подібний графік прибутків помісячно

Z-подібний графік застосовують для контролю обсягів збуту і обсягів виробництва, зменшення числа виробів із дефектами та сумарної кількості дефектів, зниження собівартості виробів, зменшення прогулів та ін. Здійснюючи аналіз підсумкових змін, можна визначати тенденцію змін за довготривалий час, також замість підсумкових змін можна наносити на графік заплановані значення і перевіряти умови їх досягнення.

3.2.7 «Радіальна» (пелюсткова) діаграма

«Радіальна» діаграма (її загальний вигляд нагадує промені при радіоактивному розпаді) є комбінацією кругового і лінійного графіків і застосовується для відбиття співвідношення (або балансу – для економічних чинників) між декількома чинниками.

Побудова діаграми здійснюється таким чином:

- 1) із точки, яка є центром кола, проводять радіуси, кількість яких дорівнює кількості чинників;
- 2) радіуси градуюють (кожен чинник має індивідуальний масштаб) і відкладають значення чинників;
- 3) значення чинників з'єднують між собою прямими лініями (рисунок 6).

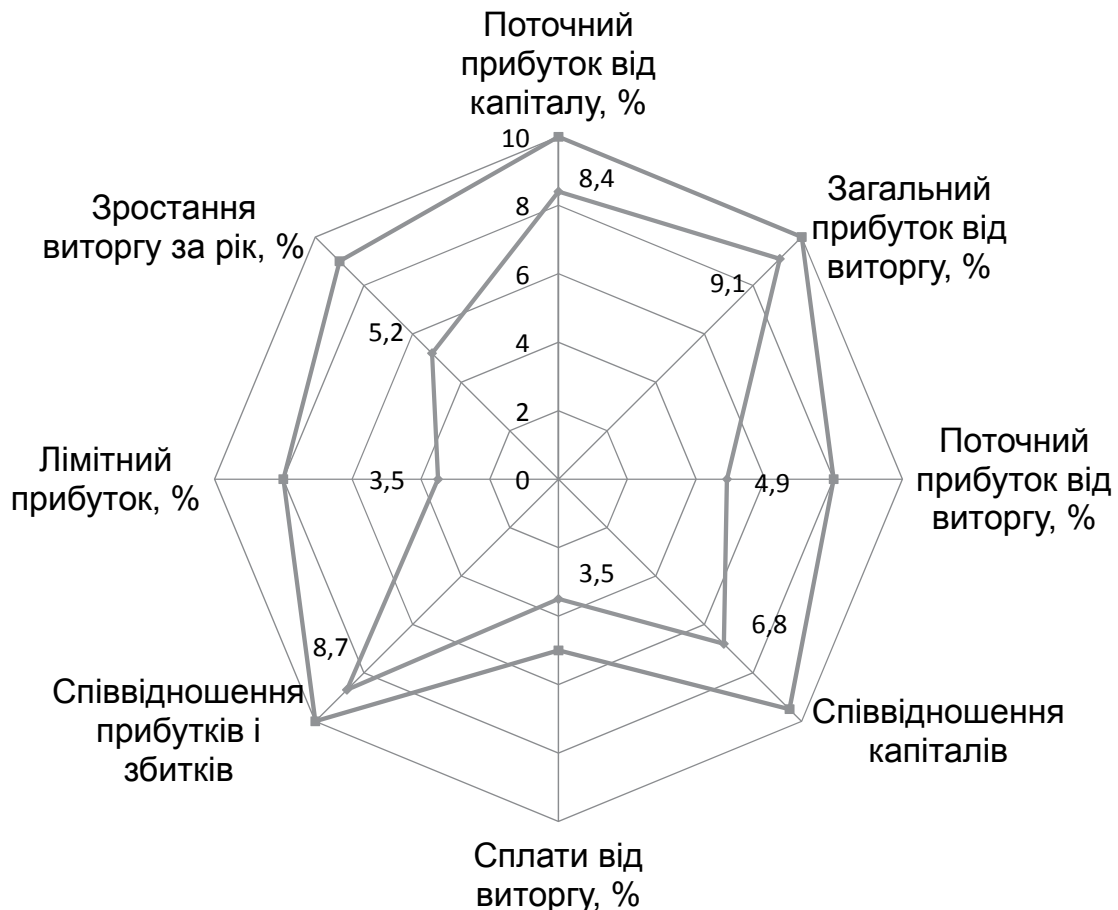


Рисунок 6 – «Радіальна» діаграма

Цей графік вирізняється наочністю і простотою, тому його часто застосовують при аналізі управління виробництвом як в цілому, так і окремими процесами у відділах, службах тощо. Якщо на радіуси діаграми нанести ще значення показників норми або прогнозні значення, то можна побачити резерви, недоробки і проблеми щодо кожного чинника або напряму роботи.

3.2.8 Завдання для практичних занять на тему «Графіки»

Задача № 1. Побудувати графік ламаною лінією, який відображає кількість забракованих типових виробів за роками: 2005 р. – 1050 шт.,

2006 р. – 986 шт., 2007 р. – 850 шт., 2008 р. – 844 шт., 2009 р. – 912 шт., 2010 р. – 831 шт., 2011 р. – 799 шт., 2012 р. – 745 шт., 2013 р. – 802 шт., 2014 р. – 1200 шт. Застосовувавши метод найменших квадратів, отримати інтерполяційну криву за 2005 – 2014 роки і екстраполяційну (прогнозну) криву на 2015 – 2020 роки, якщо припустити, що на підприємстві додаткові кошти на поліпшення якості виробів витратити не будуть.

Задача № 2. Побудувати круговий графік складових собівартості виробництва за такими даними:

- собівартість виробництва – 100 % (центральне коло);
- безпосередні витрати – 84,4 %, з яких сировина та матеріали – 52,9 %, виплати зовнішніх замовлень – 13,9 %, витрати на зарплатню – 12,3 %, вартість деталей, що закуповують – 3,8 %;
- опосередковані витрати – 15,6%: вартість сировини, матеріалів – 1,6 %; витрати на заробітну плату – 2,8 %; вартість електроенергії та палива – 3,1 %; сплати за знецінення – 2,7 %; інші – 6,9 %.

3.3 Діаграма Парето

3.3.1 Загальна характеристика

Проблеми якості пов'язано з аналізом збитків у виробництві (виробів із дефектами та витрат на їх виготовлення, затримування кредитування, труднощів із застосуванням нових правил, вимог тощо), тому важливо з'ясувати розподілення збитків. Пошук вирішення цих і багатьох інших проблем розпочинають з їх класифікації за окремими чинниками: фінансові проблеми; проблеми, пов'язані з браком продукції; проблеми відносно устаткування або виконавців та ін.). Потім здійснюють збір і аналіз даних окремо за групами проблем. З метою з'ясування основних (впливових) та другорядних (менш впливових або навіть таких, якими можна знехтувати) чинників будують діаграму Парето.

За допомогою діаграми Парето з'ясовують прояви небагаточисленних суттєво важливих чинників, що призводять до виникнення основних збитків. Визначивши причини появи таких чинників, можна усунути майже всі збитки, якщо скерувати зусилля на їх ліквідацію, а вирішення питань, пов'язаних з усуненням багаточисленних несуттєвих чинників, відкласти.

Діаграму Парето також використовують для вирішення протилежної задачі, коли позитивний досвід або ефект, досягнутий окремими заходами або в окремих підрозділах підприємства, треба впровадити всюди на виробництві.

Існують два різновиди діаграм Парето:

- за результатами діяльності. Призначена для виявлення головної проблеми та відображення небажаних результатів у різних видах діяльності (при оцінюванні якості продукції – дефектів, поломок, помилок,

відмов, несправностей, рекламаций, ремонтів, повернення продукції; при розрахунку собівартості – обсягів збитків, витрат, тощо; при плануванні постачання продукції – нестачі запасів, помилок в складанні рахунків, зривів строків постачання та ін.; при плануванні заходів безпеки – нещасних випадків, трагічних помилок, аварій);

– за причинами. Відображає причини виникнення проблем у виробництві і використовується з метою виявлення головної з них. Так, однією з причин зниження якості продукції може бути праця робітників, устаткування та ін.

3.3.2 Етапи побудови діаграми Парето

Етап 1. З'ясувати перелік проблем, які будуть досліджено, способи збору та аналізу даних.

На цьому етапі необхідно виконати таке:

– вирішити проблеми, що необхідно дослідити і які пов'язані, наприклад, з дефектами виробів, фінансовими збитками, недоліками устаткування, нещасними випадками тощо);

– визначити тип даних, що необхідно зібрати, і принцип їх класифікації (наприклад, за типами дефектів, місцем їх появи, процесами, типами обладнання, наявністю виробників, технологічними причинами тощо);

– установити метод і період збору даних.

Етап 2. Розробити контрольний листок для реєстрації даних з переліком видів інформації, яка буде зібрана.

Етап 3. Заповнити листок реєстрації даних і підбити підсумок.

Етап 4. Скласти таблицю даних, провести необхідні розрахунки.

Етап 5. Застосувати прийом ранжування даних, розташувавши їх за кожною ознакою, що перевіряється в порядку значущості, але групу «Інші» розташувати останньою незалежно від числової характеристики.

Етап 6. Побудувати гістограму за трьома осями: впродовж осі ОХ – інтервали відповідно до кількості контрольованих ознак (ширина всіх інтервалів однакова); впродовж осі ОУ₁ (ліва вертикальна вісь) – накопичені суми ознак в масштабі від 0 до сумарного значення всіх аналізованих ознак; впродовж осі ОУ₂ (права вертикальна вісь) – накопичувальний відсоток ознак в масштабі від 0 до 100 %.

Етап 7. Накреслити кумулятивну криву (криву Парето), починаючи з правого кінця першої гістограми.

Розглянемо приклад.

За звітний період в технологічному процесі на одній із ділянок було виявлено та зареєстровано такі типи дефектів загальною кількістю 200: розриви – 4, плями – 6, деформації – 104, тріщини – 10, раковини – 20, подряпини – 42, інші дефекти – 14. Побудувати діаграму та криву Парето.

Ранжуємо типи дефектів за кількісною ознакою і заносимо цю

інформацію в таблицю 1 (стовпці 1 – 3). Розраховуємо накопичену кількість дефектів (стовпчик 4), відсоток дефектів кожного типу від їх загальної кількості (стовпчик 5) та накопичений відсоток (стовпчик 6).

Таблиця 1 – Дані для побудови діаграми та кривої Парето

N п.п.	Типи дефектів	Кількість дефектів	Накопичена кількість дефектів	Відсоток кількості дефектів кожного типу від загальної їх кількості	Накопичений відсоток
1	Деформації	104	104	52	52
2	Подряпини	42	146	21	73
3	Раковини	20	166	10	83
4	Тріщини	10	176	5	88
5	Плями	6	182	3	91
6	Розриви	4	186	2	93
7	Інші	14	200	7	100
Загалом		200	1110	100	-

3.3.3 Рекомендації щодо побудови діаграми Парето

При побудові діаграм Парето треба враховувати такі рекомендації:

- сутність проблеми можна з'ясовувати, якщо спостерігати явище (процес) з різних боків. Тому важливо використовувати різні способи відбору даних, різні класифікаційні ознаки зібраних даних, причини дефектів та інше доти, доки не будуть виявлені нечисленні суттєві (важливі, впливові) чинники, визначення яких і є метою аналізу Парето;
- найбільш ефективною діаграма стає, коли кількість чинників не перевищує 7 – 10;
- якщо група даних «Інші» становить більше 15...20 %, то потрібно переробити принцип класифікації ознак;
- при обробленні даних необхідно застосовувати метод розшарування даних за відомими чинниками;
- оскільки витрати у будь-якому виробництві є одним з найважливіших критеріїв в управлінні якістю, необхідно намагатися інтерпретувати дані у грошовому виразі і відображати це на вертикальних осях діаграми;
- для вирішення багатьох проблем важливим є визначення їх причин, тому бажано будувати діаграму за виявленими причинами, аналізуючи які, можна знайти прийнятне рішення.
- треба пам'ятати, що деякі чинники можуть бути кореляційно пов'язаними один з одним, і слід урахувати це при аналізі.

За даними таблиці побудуємо діаграму та кумулятивну криву Парето (рисунок 7).

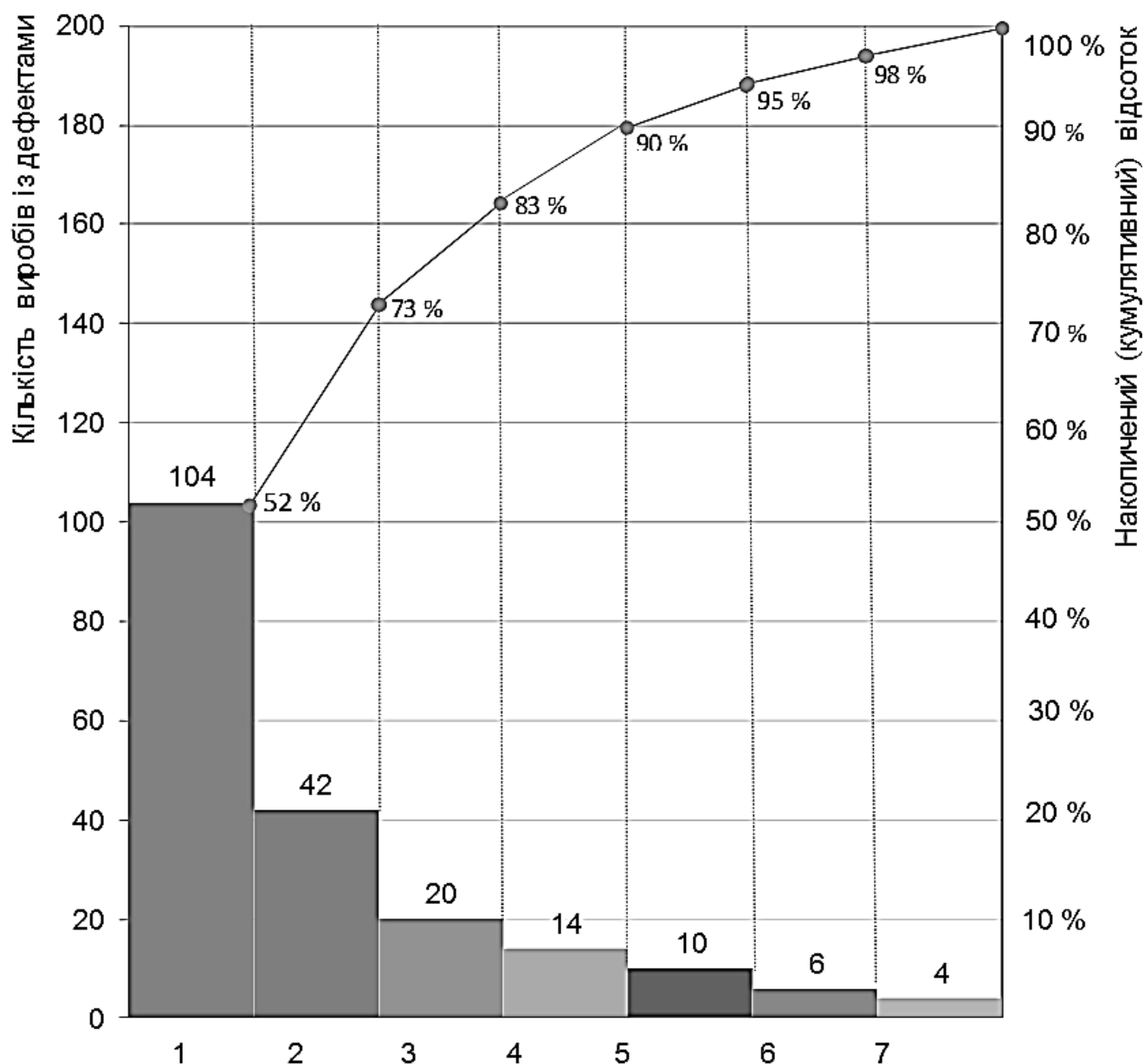


Рисунок 7 – Діаграма Парето

Діаграму Парето доцільно застосовувати разом з причинно-наслідковою діаграмою. Після проведення коригувальних дій діаграму Парето можна побудувати знову для зіставлення з первісною і перевірки ефективності проведених заходів, її також широко застосовують в ABC-аналізі.

3.3.4 ABC-аналіз

ABC-аналіз є дієвим інструментом управління якістю і ефективністю контролю на підприємствах, на яких виготовляють декілька видів виробів,

які суттєво вирізняються за кількістю і собівартістю. Ці види виробів умовно поділяють на групи: А – вироби найдорожчі, їх вартість становить 70...80 % від загальної вартості, але їх кількість найменша від загальної кількості і дорівнює приблизно 20...30 %; С – вироби найдешевші, вартість яких становить приблизно 5...10 % від загальної вартості, а кількість – близько 40...50 % від загальної кількості; група В – проміжня між А та С як за вартістю, так і за кількістю виробів. Зрозуміло, що застосовувати одні й ті ж методи контролю і вимоги точності до виробів із різних груп не є ефективним. Тому потрібно до виробів групи А застосовувати більш жорсткий контроль, ніж до виробів групи В, а тим більше до виробів групи С. ABC-аналіз можна використовувати в будь-якій області діяльності для будь-яких видів продукції.

3.3.5 Завдання для практичних занять на тему «Аналіз Парето»

Побудувати діаграму Парето і зробити аналіз даних.

Задача № 1. Дано: типи дефектів і їх кількість (за днями тижня):

- відхилення від паралельності – 18 (понеділок), 22 (вівторок), 20 (середа), 15 (четвер), 16 (п'ятниця), далі – аналогічно;
- раковини – 14, 10, 11, 10, 8;
- розриви – 3, 1, 4, 1, 2;
- подряпини – 31, 42, 35, 19, 20;
- тріщини – 8, 2, 4, 3, 5;
- плями – 4, 2, 2, 2, 1;
- деформації – 12, 10, 7, 9, 6;
- загини – 2, 1, 1, 3, 1;
- задирки – 5, 2, 3, 2, 1.

Задача № 2. Дано: типи дефектів і їх кількість (за днями тижня):

- недолив – 8, 9, 12, 10, 6;
- корозія – 4, 7, 6, 10, 4;
- пригар – 3, 5, 4, 2, 2;
- спай – 1, 2, 3, 1, 2;
- викривлення – 1, 2, 3, 3, 1;
- наріст – 4, 2, 2, 2, 1;
- гаряча тріщина – 2, 6, 4, 3, 5;
- залив – 0, 1, 1, 0, 1;
- пористість – 5, 10, 3, 2, 7.

Задача № 3. Дано: типи дефектів і їх кількість (за днями тижня):

- холодні тріщини – 2, 2, 1, 0, 3;
- гарячі тріщини – 24, 17, 16, 10, 14;
- газові раковини – 33, 35, 34, 32, 32;
- усадочні раковини – 11, 12, 13, 11, 12;
- піщані раковини – 1, 2, 3, 3, 1;

- шлакові раковини – 14, 22, 22, 12, 11;
- газова пористість – 23, 16, 24, 23, 25;
- усадочна пористість – 34, 40, 35, 28, 22;
- плямистість – 0, 2, 4, 1, 1.

Задача № 4. Дано: типи дефектів і їх кількість (за днями тижня):

- вибіли – 2, 0, 1, 0, 2;
- налипання металу на форму – 2, 1, 1, 4, 4;
- сліди штовхачів на відливці – 1, 3, 0, 2, 1;
- тріщини – 11, 12, 13, 21, 12;
- раковини – 51, 32, 25, 23, 31;
- лущення – 7, 2, 4, 2, 3;
- усадка – 3, 1, 2, 2, 2;
- деформація деталей – 34, 42, 36, 38, 52;
- плямистість – 0, 2, 4, 1, 1.

Задача № 5. Дано: типи дефектів і їх кількість (за днями тижня):

- відшаровування фарби – 12, 10, 16, 10, 8;
- різноманітні відтінки кольору покриття – 2, 1, 1, 4, 2;
- тріщини покриття – 21, 23, 20, 22, 31;
- забруднення на покритті – 5, 2, 3, 4, 4;
- сухе розпилення – 11, 12, 15, 13, 13;
- розтріскування – 7, 6, 6, 10, 4;
- патьоки (напливи) – 13, 11, 12, 12, 14;
- шагрень (брижі) покриття – 3, 4, 3, 3, 2;
- матовість, вибіленість – 0, 1, 2, 1, 1;
- пупири – 4, 7, 5, 5, 6.

Задача № 6. Дано: види дефектів друкованої продукції і кількість їх проявів:

- заїдання стрічкопротяжного механізму – 10,
- брудні сторінки – 26;
- пропуск сторінок – 1;
- надірвані сторінки – 3;
- пропуск або перестановка частини тексту – 3;
- порушення послідовності сторінок – 2;
- просвічування паперу – 15;
- вологість типографської фарби – 8;
- ефект роздвоєння букв – 32;
- різний ступінь тонування букв, слів – 20;
- друкарські помилки (опечатки) і пропуски букв – 80.

Відобразити види дефектів друкованої продукції і кількість їх проявів у порядку значущості, побудувати діаграму Парето і кумулятивну криву, виконати аналіз.

3.4 Причинно-наслідкова діаграма (діаграма Ісікави)

3.4.1 Загальна характеристика

Якість продукції є наслідком взаємодії сукупності чинників та причин, що зумовлюють процес, який, в свою чергу, як пам'ятаємо, складається з «чотирьох М» – material (матеріалу), machine (машини, обладнання), man (людини, оператора) і method (методу). Результат процесу залежить від багатьох чинників, між якими складаються відношення «причина – наслідок». Здійснюючи систематичні спостереження (вимірювання), можна визначати структуру, характер та взаємодію цих складних відношень. Діаграма причин та наслідків є засобом, який дозволяє відобразити ці відношення в простій та доступній формі. Діаграма Ісікави показує їх між показником якості та впливовими чинниками (рисунок 8).

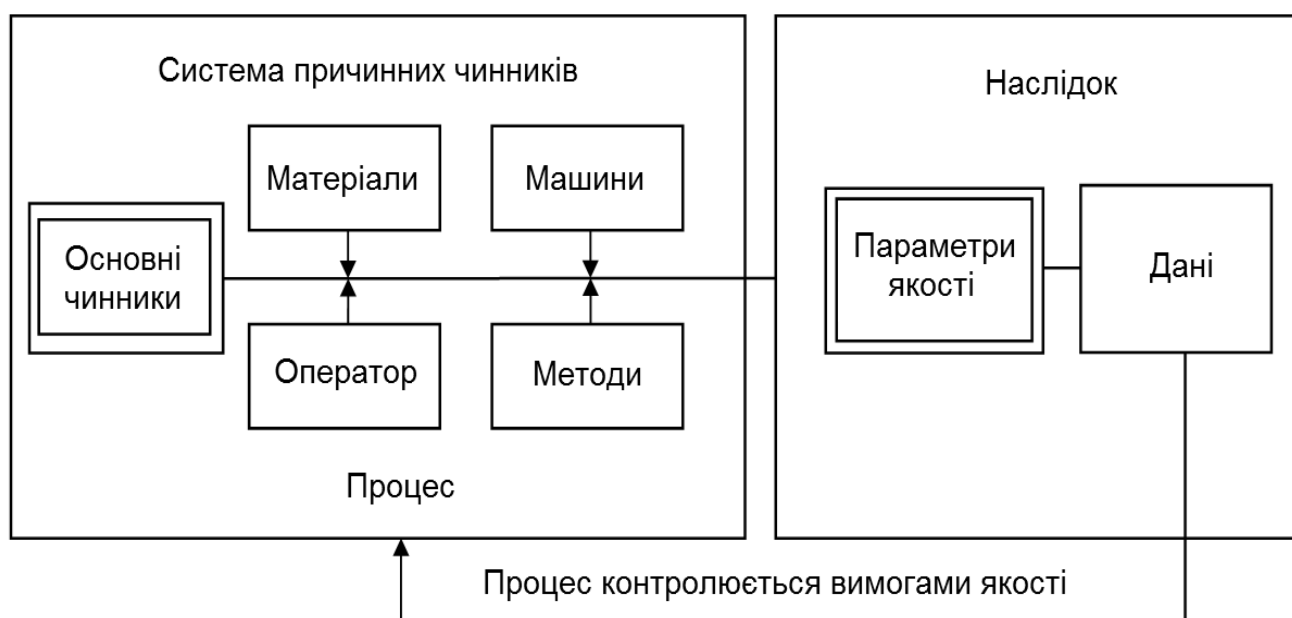


Рисунок 8 – Причинно-наслідкова діаграма

Інформацію про показники якості збирають із всіх джерел, а потім вибирають найбільш важливі з технічної точки зору чинники, які сортують за вірогідністю прояву і впливу на показник. Складну діаграму аналізують за допомогою метода розшарування за видами чинників (див. рисунок 8). Якщо виявляють значну різницю в викидах між «шарами», то застосовують відповідні заходи з її ліквідації і усунення причин її появи.

Для складання причинно-наслідкової діаграми важливо встановити максимальну кількість чинників, які впливають або можуть впливати на показник якості. Найбільш ефективним при цьому є груповий метод аналізу під назвою «мозковий штурм», для застосування якого рекомендують дотримувати таких умов:

- зберігати неформальну сприятливу атмосферу в колективі, де кожен працівник «подає ідеї» стосовно вирішення проблеми, що обговорюється, керівництво не чинить тиск і не критикує підлеглих;
- учасники обговорення строго дотримуються тематики і аргументують свої висловлювання;
- керівники не висловлюють свої думки першими, при обговоренні проблеми «всі однакові»;
- при складанні причинно-наслідкової діаграми після зазначення останньої причини слід указати словосполучення «та інші», оскільки можуть залишитися невраховані чинники.

3.4.2 Етапи побудови діаграми Ісікави (яку ще називають «риб'ячий скелет»)

1. Процедура

Етап 1. Визначити показник якості (характеристику, параметр, значення).

Етап 2. Посередині листка паперу провести горизонтальну лінію («хребет») до прямокутника, в якому записати назву показника якості. Виявити головні причини (чинники), які впливають на вибраний показник якості, помістити їх назви в прямокутники і з'єднати з «хребтом» стрілками у вигляді «великих кісток хребта» (рисунок 9).

Етап 3. Вторинні чинники, які впливають на головні, первинні («великі кістки»), накреслити у вигляді стрілок («середніх кісток»), які приєднати до «великих». Якщо виявлено менш впливові чинники – третього порядку – «дрібні кістки», відобразити їх стрілками і приєднати до «середніх» (див. рисунок 9).

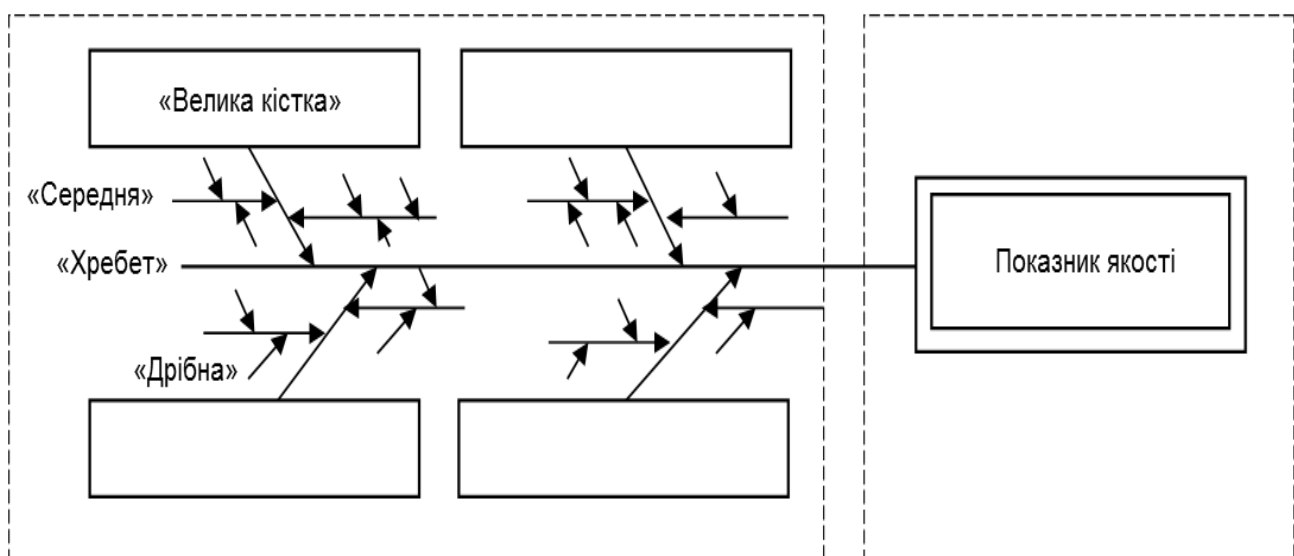


Рисунок 9 – Структура причинно-наслідкової діаграми

Етап 4. Ранжувати чинники за їх значущістю і відділити, за припущенням, найбільш впливові на показник якості.

Етап 5. Записати необхідну інформацію (вихідні дані).

II. Пояснення процедури

Необхідно продумати кожну причину (чинник), яка може впливати на змінення показника якості (або результат вимірювання). Змінення результату може бути зумовлено зміною значення чинника або кореляцією між декількома чинниками. Важливо систематизувати дані і, за необхідності, передивлятися значущість чинників («середніх», «дрібних» і навіть «великих»).

Після складання діаграми слід указати такі дані: назву, найменування виробу або процесу, прізвища виконавців, дату тощо.

3.4.3 Рекомендації щодо побудови причинно-наслідкової діаграми

При побудові причинно-наслідкової діаграми треба враховувати такі рекомендації:

- визначити всі чинники, які мають відношення до проблеми, що досліджується; організувати і здійснити пасивний експеримент (спостереження); провести анкетування або опитування спеціалістів та зацікавлених людей, враховуючи їх досвід. Якщо буде пропущено чинники, які впливають на результат, корегуючі заходи стануть неефективними, а витрати недоцільно зростуть;

- сформулювати якомога точніше показник якості, оскільки проблему слід вирішити максимально конкретно;

- побудувати декілька діаграм відносно різних показників, між якими є або може бути зв'язок (наприклад, декілька показників характеризують одну властивість об'єкта або процесу). Крім того, спроба ввести всі чинники в одну діаграму може призвести до громіздкої, складної і «непід'ємної» з точки зору аналізу діаграми;

- необхідно намагатися вибрати показники і чинники, значення яких можна виміряти, тому що зіставити пари відношень «причина – результат» і визначити їх значущість об'єктивно можна тільки для кількісних показників. Якщо показники і/або чинники виміряти неможливо, потрібно знайти показники-замінники і чинники-еквіваленти;

- результатом аналізу діаграми Ісікави має стати виявлення чинників, за якими потрібно вжити заходів. Якщо виявлено чинник, але заходи поліпшення здійснити неможливо (з будь-якої причини), проблема залишиться невирішеною, і пошук треба продовжити. Для того, щоб корекція процесу або вдосконалення продукції були ефективними, потрібно розбивати причини на складові доти, доки за кожною з них стане можливим здійснювати корегуючу дію.

3.4.4 Завдання для практичних занять на тему «Причинно-наслідкова діаграма»

Побудувати причинно-наслідкову діаграму і виконати аналіз стану процесу.

Задача № 1. Навчитися складати діаграму, виконувати аналіз чинників, які призводять спортивну команду до поразок у змаганнях.

Дано: показник, результат – поразки в спортивних матчах.

«Велика кістка 1» – здоров'я; «середня кістка 1.1» – відпочинок; «дрібні кістки» – відпочинок, розслаблення; «середня кістка 1.2» – сон; «дрібні кістки» – тривалість сну, глибина сну; «середня кістка 1.3» – їжа; «дрібні кістки» – споживна цінність, кількість калорій, кількість їжі.

«Велика кістка 2» – дух; «середня кістка 2.1» – спортивний дух; «дрібні кістки» – заохочування, гордість, прихильність; «середня кістка 2.2» – уважність; «дрібні кістки» – терпіння, зосередженість; «середня кістка 2.3» – самовладання; «дрібні кістки» – спокій, впевненість.

«Велика кістка 3» – стратегія; «середня кістка 3.1» – вивчення суперника; «дрібні кістки» – інформація, аналіз; «середня кістка 3.2» – планування; «дрібні кістки» – теорія, правила, здоровий глузд; «середня кістка 3.3» – оцінювання ситуації; «дрібні кістки» – спостереження, досвід проведення матчів.

«Велика кістка 4» – техніка; «середня кістка 4.1» – рухливість; «дрібні кістки» – сила, швидкість; «середня кістка 4.2» – тренування; «дрібні кістки» – графік, обсяг, якість; «середня кістка 4.3» – сумісні дії в команді; «дрібні кістки» – кооперація, функція; «середня кістка 4.4» – форма; «дрібні кістки» – порада, зразок, повторюваність результатів.

Задача № 2. Скласти діаграму, виконати аналіз чинників, обґрунтувати значущість чинників і запропонувати корегуючі дії.

Дано: показник – розкид розмірів.

«Великі кістки» – робітники, станки, деталі та матеріали, технологічний метод.

«Середні кістки» («дрібні кістки») – оброблення (процедура, швидкість); якість матеріалів (компоненти, зберігання); операція (стабільність, розбалансування); здоров'я (втома, хвороба); оснастка (позиція, кут); різець (діаметр, розмір, форма); кваліфікація (освіта, досвід, підготовка); контроль (виріб, деталь, метод); установка (сила кріплення, порядок установлення); оснастка і приладдя (деформація, абразивні матеріали); дух (увага, зосередженість).

Задача № 3. Визначити чинники, скласти діаграму, виконати аналіз діаграми.

Дано: наслідок – отримання цікавої, кваліфікованої, високо оплачуваної роботи.

Задача № 4. Визначити чинники, скласти діаграму, виконати аналіз діаграми.

Дано: наслідок – захист диплому на «відмінно».

Задача № 5. Визначити чинники, скласти діаграму, виконати аналіз діаграми.

Дано: наслідок – підвищення якості викладання дисципліни в учбовому закладі.

3.5 Гістограма

3.5.1 Загальна характеристика

Усі дані процесу, в якому чинники – матеріали, машини, оператор, метод – постійно змінюються, але підпорядковуються певним закономірностям – розподіленням. При контролюванні якості необхідно на основі зібраних даних з'ясувати чинники і обґрунтувати дії з поліпшення якості процесу виготовлення партії продукції. Тому цей процес треба розглядати як нескінченну генеральну сукупність. Про характеристики генеральної сукупності роблять висновки за вибіркою, яка має бути подана рівномірно, тобто в вибірку необхідно вводити дані з однаковими ймовірностями проявів у процесі. Спосіб відбору повинен мати випадковий характер. Метою побудови гістограми є визначення стану процесу, а мета аналізу гістограми – визначення заходів його поліпшення, вдосконалення або оптимізації.

Співвідношення між генеральною сукупністю, вибіркою і даними наведено в таблиці 2.

Таблиця 2 – Співвідношення генеральної сукупності, вибірки і даних

Характеристика	Генеральна сукупність	Вибірка		Дані
Вплив на процес (управління процесом, аналіз процесу)	Процес	Партія	Вибірка	Дані
		Відбір	Вимір	
		Дія		
Вплив на партію виробів (оцінювання якості продукції)	Партія	Вибірка	Дані	
		Відбір	Вимірювання	
		Дія		

Об'єктивне уявлення про генеральну сукупність можна отримати,

сформувавши множину даних в гістограму.

Гістограма є стовпчастим графіком, побудованим за певними даними, які поділяють на декілька інтервалів. Кількість даних, що потрапили в кожний з інтервалів (частота), визначають висоту стовпця. Систематизуючи велику кількість даних, зібраних за довготривалий час, аналізують їх розподілення (середнє значення та викид) і отримують інформацію для оцінювання проблеми та способів її вирішення.

Як було наведено раніше, навіть при ідентичних умовах виробництва показники якості завжди мають деякий викид. Проте викид підпорядковується певним закономірностям. Зазвичай частота викиду є максимальною в центрі зони викиду, а в напрямку від центру – зменшується. При правильній організації процесу вимірювання та відповідному метрологічному забезпеченні розподіл підпорядковується нормальному закону. Побудувавши гістограму, можна визначити вид (закон) розподілу, а розрахувавши середнє значення та стандартне відхилення, можна порівняти показник якості з контрольними нормативами.

Наприклад, на рисунку 10 гістограма відображає розподілення 100 значень вимірювань товщини пластин за десятьма інтервалами, висота кожного стовпчика визначається частотою потрапляння результатів вимірювань в той чи інший інтервал, а вертикальні лінії характеризують нижню (Н) та верхню (В) межі норми.

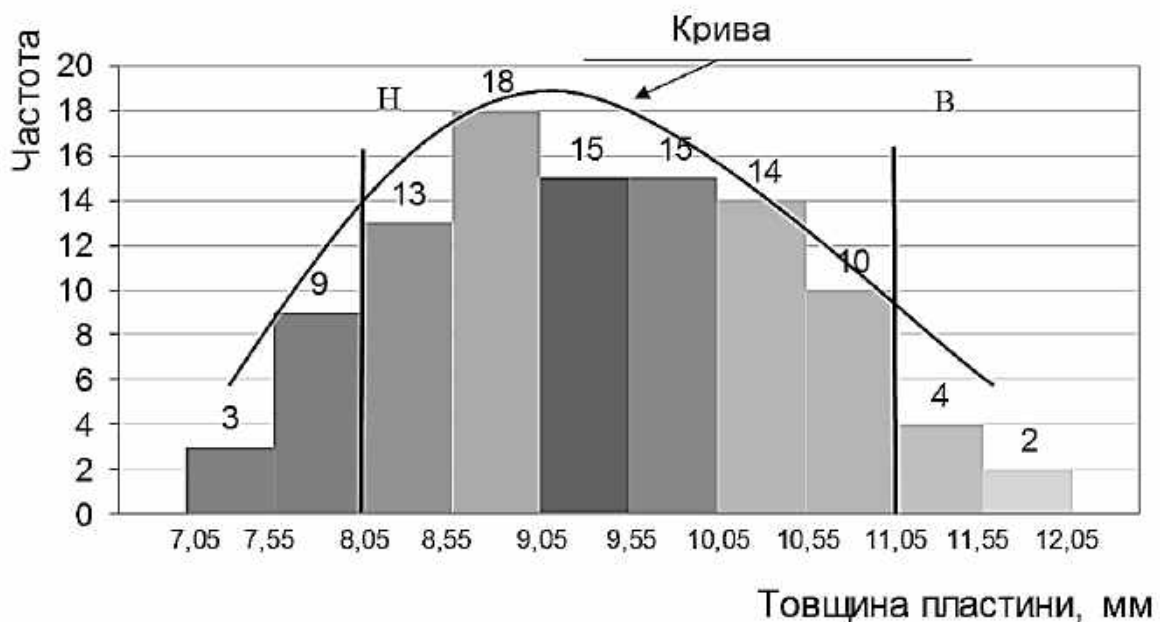


Рисунок 10 – Гістограма розподілення

З рисунка 10 видно, що результати вимірювань, які знаходяться нижче нижньої межі і вище верхньої, є характеристиками браку, тобто із

100 пластин 18 є бракованими, що становить 18 % і характеризує процес як недосконалий.

3.5.2 Етапи побудови гістограми

Етап 1. Отримують дані – результати вимірювань, зібрані за певний проміжок часу (тиждень, декаду, місяць тощо), загальна кількість яких має бути від 30 – 50 до 200 – 300. Якщо результатів буде менше 30, то оцінка буде недостовірною, якщо більше 300 – оцінку складно визначити, а ймовірність об'єднання двох і більше законів розподілу підвищується, і зростає вірогідність помилкових висновків за гістограмою.

Етап 2. Визначають найбільше ***B*** і найменше ***H*** значення серед всіх даних. Для цього всі результати ранжують від найменшого до найбільшого значення. Різниця між найбільшим та найменшим значеннями дозволяє одержати діапазон, який поділяють на декілька однакових за шириною інтервалів.

Кількість інтервалів має дорівнювати числу з квадратного кореня від кількості даних, округленого до цілого числа в більший бік. При кількості даних 30...50 кількість інтервалів має бути 5...7, при кількості даних 50...100 – інтервалів буде 6...10, при кількості даних 100...200 інтервалів – 8...15, при 200...300 – 14...18.

Визначають шаг гістограми (ширину інтервалу)

$$h = \frac{B - H}{m}, \quad (1)$$

де ***B*** – найбільше значення діапазону вимірювання;

H – найменше значення діапазону вимірювання;

m – кількість інтервалів гістограми.

Значення ***h*** округлюють до цілого числа в більший бік.

Етап 3. Находять значення меж інтервалів. Нижня межа першого інтервалу

$$H = \frac{e}{2}, \quad (2)$$

де ***H*** – найменше значення діапазону вимірювання;

e – ціна ділення шкали засобу вимірювання (дискретність відліку).

Додаючи до отриманого значення ширину інтервалу, визначаємо кінцеву межу першого інтервалу. Аналогічно одержуємо значення всіх меж інтервалів гістограми. В останній інтервал входить найбільше значення ***B***.

Етап 4. Розраховують середини інтервалів гістограми

$$C_i = \frac{H_i + B_i}{2}, \quad (3)$$

де H_i – нижня межа i -го інтервалу,
 B_i – верхня межа i -го інтервалу,
 $i = 1 \dots m$ – поточний інтервал.

Етап 4. Обчислюють кількість значень, які опинилися в кожному інтервалі. Складають таблицю розподілення даних за інтервалами, наприклад, як таблицю 3.

Етап 5. Будують гістограму за даними таблиці 3. Вздовж осі абсцис відкладають значення параметру якості з шагом h , а вздовж осі ординат – частоту. Для кожного інтервалу будують прямокутник (стовпчик) шириною h і висотою, яка дорівнює кількості результатів в цьому інтервалі (див. рисунок 10).

Аналіз гістограми дозволяє зробити висновок стосовно стану процесу, але, якщо умови контролю процесу або часові змінення є непрозорими, необхідно комбінувати гістограму з контрольними картами і графіком ламаної лінії. Гістограма може бути первісною інформацією для побудови причинно-наслідкової діаграми. Така комбінація графічних методів підвищить обґрунтування заходів щодо поліпшення процесу.

Таблиця 3 – Розподілення даних за інтервалами

Номер інтервалу	Ширина інтервалу	Середина інтервалу C_i	Частота (кількість значень)
1	7,05...7,55	7,3	3
2	7,55...8,05	7,8	9
3	8,05...8,55	8,3	13
...	...	...	...
m	11,55...12,05	11,8	2

Оскільки гістограма відображує умови процесу за певний період, то важливу додаткову інформацію можна отримати з аналізу форми розподілення даних гістограми порівняно з контрольними нормативами.

3.5.3 Приклади типових форм гістограм

Розглянемо декілька типових форм гістограм і дамо стислу характеристику процесу.

1. Гістограма з двосторонньою симетрією (нормальне розподілення) зустрічається найчастіше і характеризує стабільний процес (рисунок 11) Середнє значення розподілення збігається з серединою розмаху даних і максимумом розподілення, систематичні похибки є незначними.

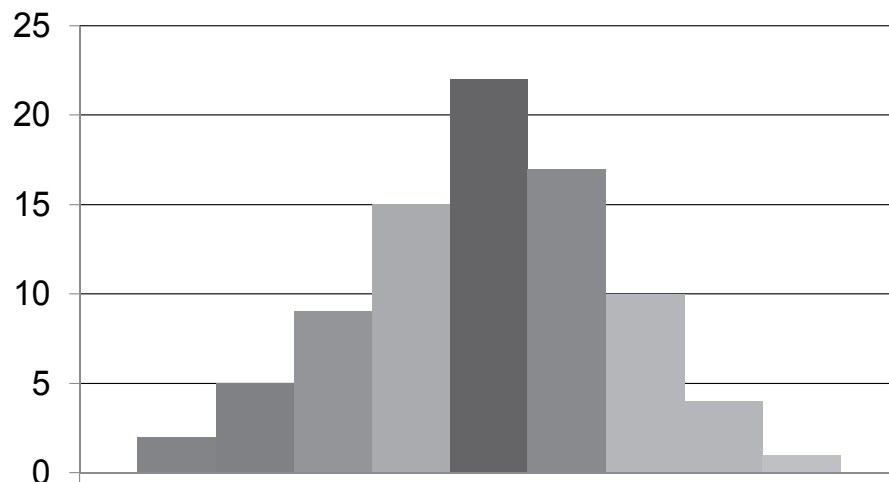


Рисунок 11 – Нормальне розподілення

2. Гістограма має асиметричну форму із скошенням вправо або вліво (рисунок 12), середнє значення знаходиться справа або зліва від центра розмаху, частоти різко спадають при русі вправо або вліво. Така гістограма характеризує процес, нижня або верхня межа якого регулюється теоретично або за значенням допуску, або взагалі є недосяжною.

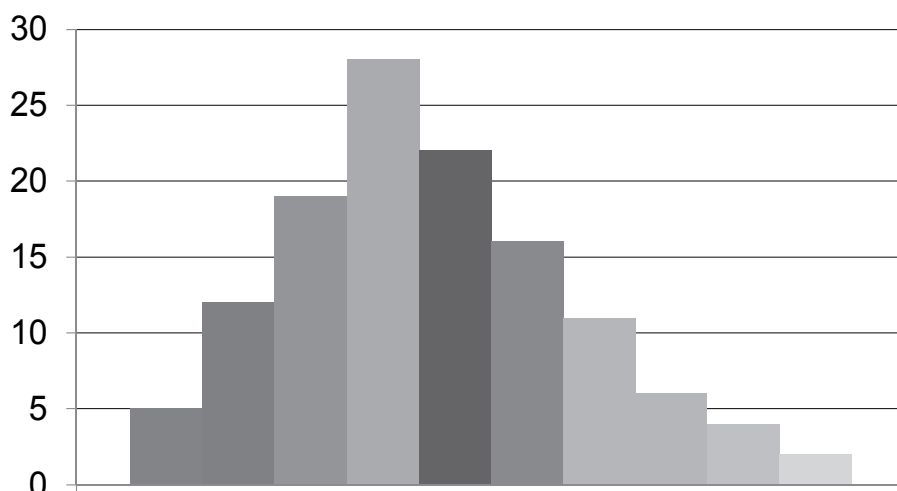


Рисунок 12 – Розподілення із скошенням

3. Гістограма має асиметричну форму з обривом зліва або справа (рисунок 13), середнє значення локалізується далеко від центра розмаху

зліва або справа, частоти різко спадають при русі вправо або вліво, і навпаки. Таке розподілення характеризує недостатньо відтворюваний процес або наявність суттєвої похибки систематичного характеру.

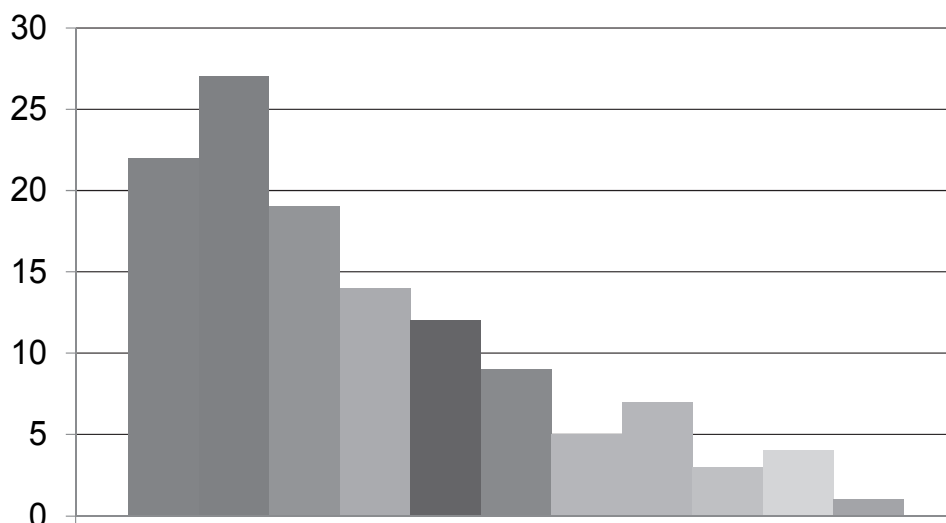


Рисунок 13 – Розподілення з обривом зліва

4. Гістограма мультимодального типу («гребінка») має інтервали, в яких через один або два чередуються занадто великі і малі частоти (рисунок 14). Гістограма характеризує нерівномірність збору даних, або вибірка даних має не випадковий характер, або при розрахунках застосовують певне правило округлення.

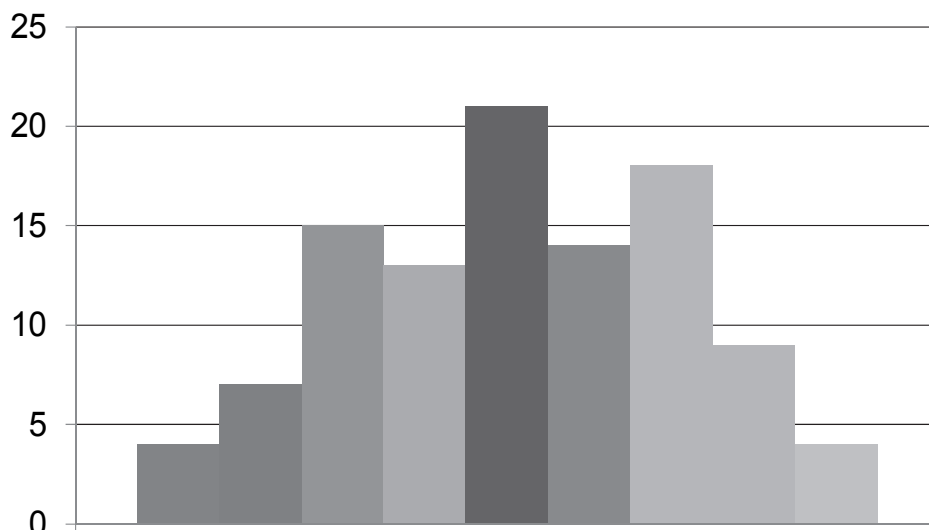


Рисунок 14 – Розподілення мультимодального типу

5. Гістограма з плоскою центральною частиною або без явно вираженої вершини («плато») характеризує процес з об'єднанням

декількох розподілень, які мають середні значення з невеликою різницею (рисунок 15). Такий процес має невеликі розбіжності, які, однак, не змішуються при об'єднанні даних, що може характеризуватися наявністю невиключених систематичних похибок або малочисельністю даних. Аналіз таких гістограм рекомендовано проводити, застосовуючи метод розшарування.

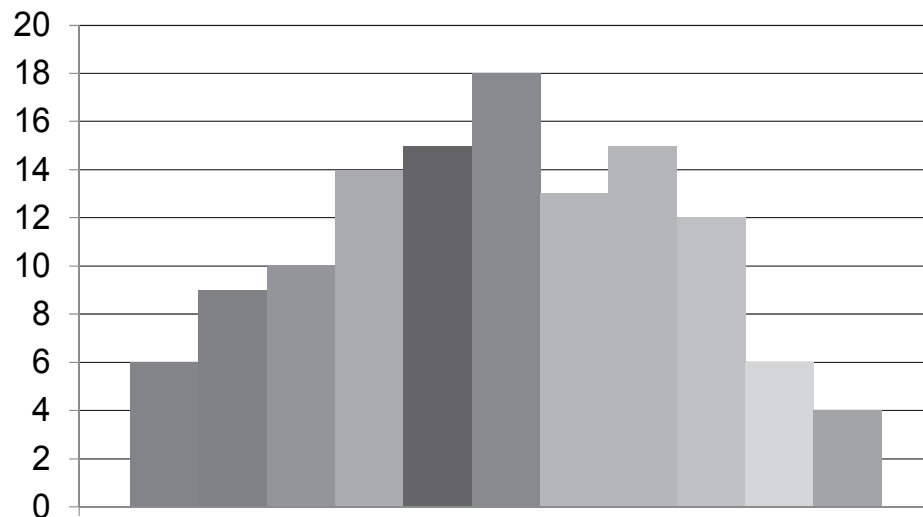


Рисунок 15 – Розподілення з плоскою центральною частиною

6. Гістограма двомодальна (з двома піками, бімодальна) характеризується низькими частотами в центрі розподілу і великими частотами з країв (рисунок 16), що відображує два процеси, штучно об'єднані, з різними далеко відстороненими один від одного середніми значеннями або віддзеркалює недостатню кількість або якість зібраних даних.

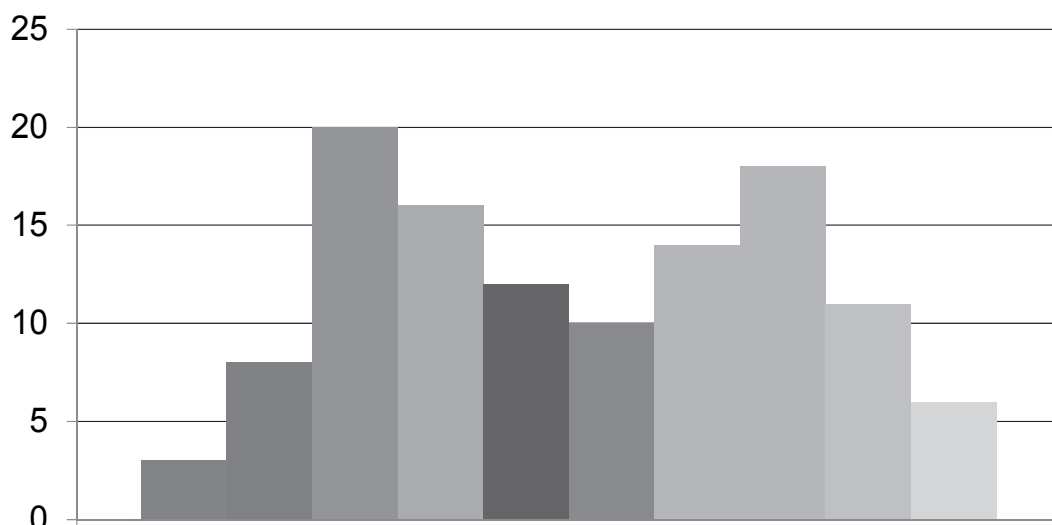


Рисунок 16 – Розподілення двомодального типу

7. Гістограма симетрична, нормальна, але на початку або в кінці її є ізольований пік (рисунок 17), що характеризує або введення до результатів вимірювання незначної кількості даних з іншого розподілення, або прояв помилкових результатів (промахів), або збій налагодження процесу чи роботи засобу вимірювання.

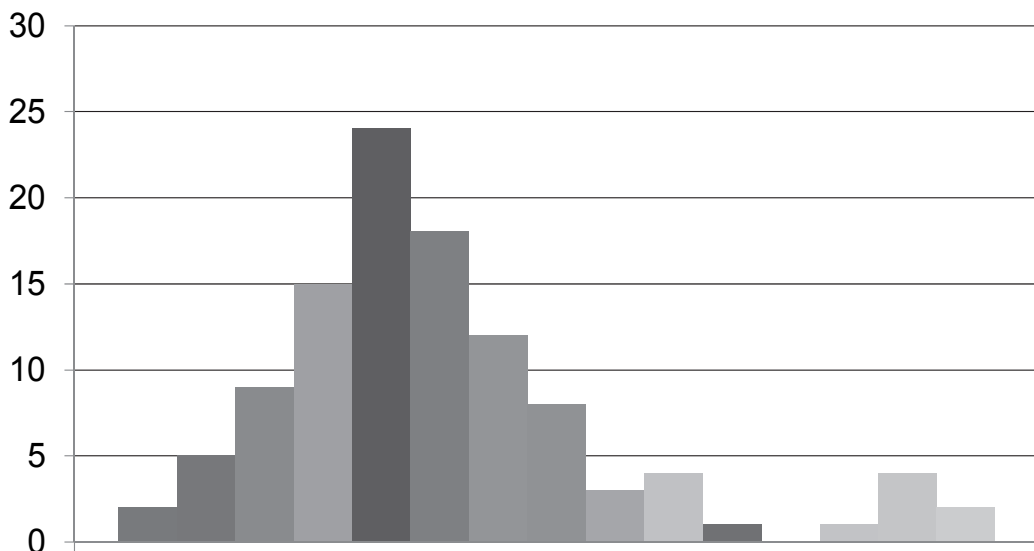


Рисунок 17 – Розподілення з ізольованим піком

3.5.4 Порівняння гістограм з межами допуску. Індекс відтворюваності процесу

Якщо норми або допуски є відомими, то їх позначають на гістограмі прямими лініями – верхню та нижню межі (контрольні нормативи) – для порівняння розподілу з ними. На рисунку 18 показано випадки, в яких гістограма задовольняє допуску (**Н** – нижня межа, **В** – верхня межа).

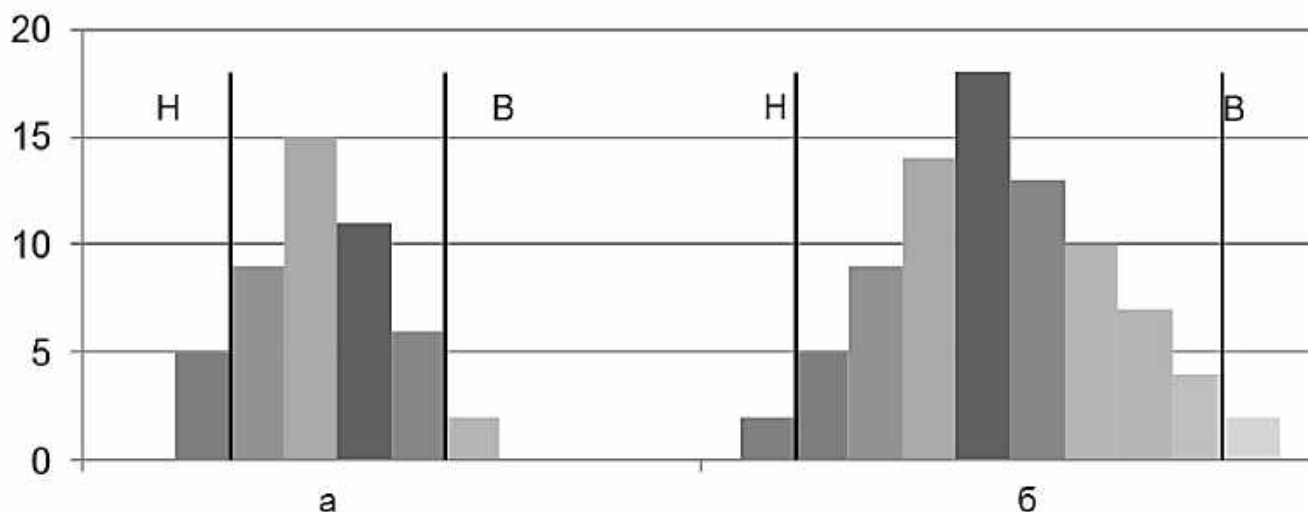


Рисунок 18 – Гістограма задовольняє допуску

Гістограма задовольняє допуску – це значить, що вона відображає задовільний стан процесу, який треба підтримувати на такому ж рівні (рисунки 18, а); гістограма задовольняє допуску, але немає ніякого запасу (рисунки 18, б), стан процесу є граничним, і вплив будь-якого чинника може призвести до браку, тому рекомендується скоротити розкид до меншого значення.

На рисунку 19 показано випадки, коли гістограма не задовольняє допуску.

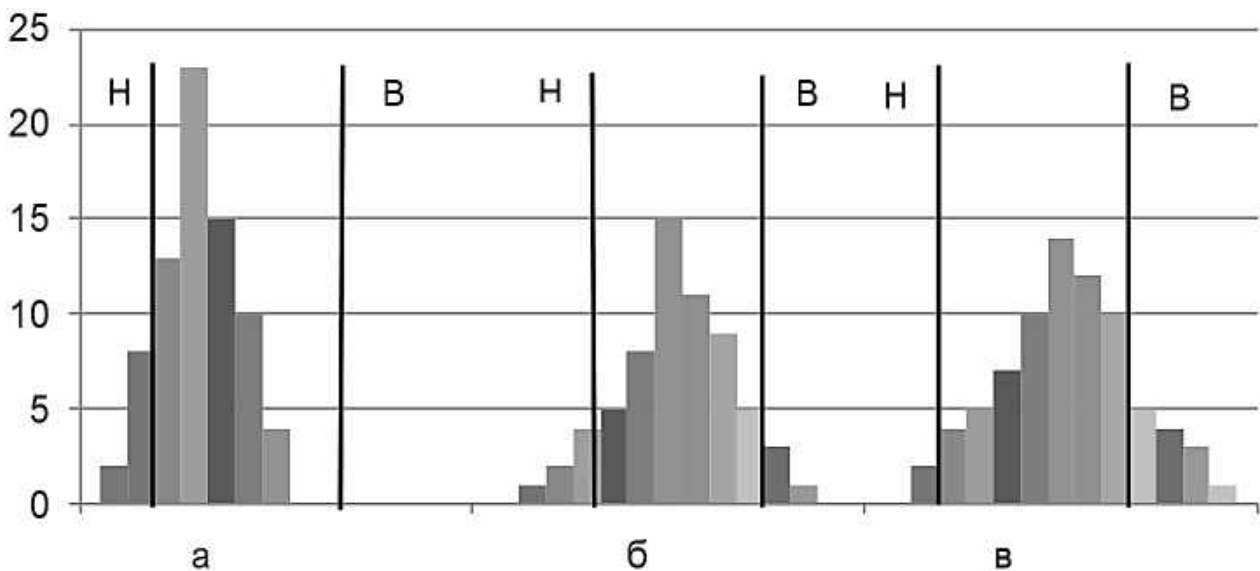


Рисунок 19 – Гістограма не задовольняє допуску

Гістограма не задовольняє допуску – це означає, що необхідно змістити середнє ближче до центра допуску (рисунки 19, а) або знизити варіацію (рисунки 19, б), або ці заходи потрібно об'єднати (рисунки 19, в).

Якщо встановлено, що гістограма відповідає нормальному розподіленню, доцільно встановити відтворюваність процесу. Це важливо для оцінювання відрегульованості процесу (чи не вийде процес за межі поля допуску). Така характеристика називається індексом відтворюваності процесу C_p , який є показником потужності процесу. При двосторонніх межах допуску

$$C_p = \frac{B - H}{6S} \quad (4)$$

При односторонніх межах (H або B) відповідно

$$C_p = \frac{B - \bar{x}}{3S} \quad \text{або} \quad C_p = \frac{\bar{x} - H}{3S} \quad (5)$$

За значенням C_p можна зробити висновок про стан розкиду відносно норми, про те, чи достатнім є допуск на норму. Так, якщо:

1) $C_p \geq 1,67$ – ширина інтервалу між нижньою і верхньою межами не менш ніж в 10 разів перевищує стандартне відхилення S ; розкид параметрів виробу є невеликим, прояви браку малоімовірні, можна здешевити і спростити контроль;

2) $1,67 > C_p \geq 1,33$ – ширина інтервалу між нижньою і верхньою межами в 8 – 10 разів перевищує стандартне відхилення S – ідеальний стан процесу;

3) $1,33 > C_p \geq 1,00$ – ширина інтервалу між нижньою і верхньою межами в 6 – 8 разів перевищує стандартне відхилення S ; чим ближче показник C_p до 1,00, тим скоріше вірогідність браку прямує до 0,27 % (рисунки 20, таблиця 4); необхідно підсилити контроль, здійснити аналіз впливових чинників, скорегувати стан процесу;

4) $1,00 > C_p \geq 0,67$ – ширина інтервалу між нижньою і верхньою межами в 4 – 6 разів перевищує стандартне відхилення S ; чим ближче показник C_p до 0,67, тим скоріше вірогідність браку прямує до 4,56 % (рисунки 20, таблиця 4); необхідно провести суцільний контроль якості виробів, здійснити аналіз впливових чинників, скорегувати стан процесу;

5) $0,67 > C_p$ – ширина інтервалу між нижньою і верхньою межами не перевищує $4S$, браку більше ніж 4,56 %, процес неконтрольований. Потрібно провести суцільний контроль якості виробів, здійснити аналіз впливових чинників, скорегувати стан процесу, а якщо ці заходи не приведуть до задовільного результату, то змінити значення норм.

Аналіз стану процесу за показником C_p доцільно провести в комбінації з контрольними картами.

Таблиця 4 – Розкид параметрів відносно норми

Діапазон значень	$\mu \pm 1\sigma$	$\mu \pm 2\sigma$	$\mu \pm 3\sigma$	$\mu \pm 4\sigma$
Частота попадань в діапазон, %	68,2	95,44	99,73	99,994
Частота попадань за межі діапазону, %	31,74	4,56	0,27	0,0006

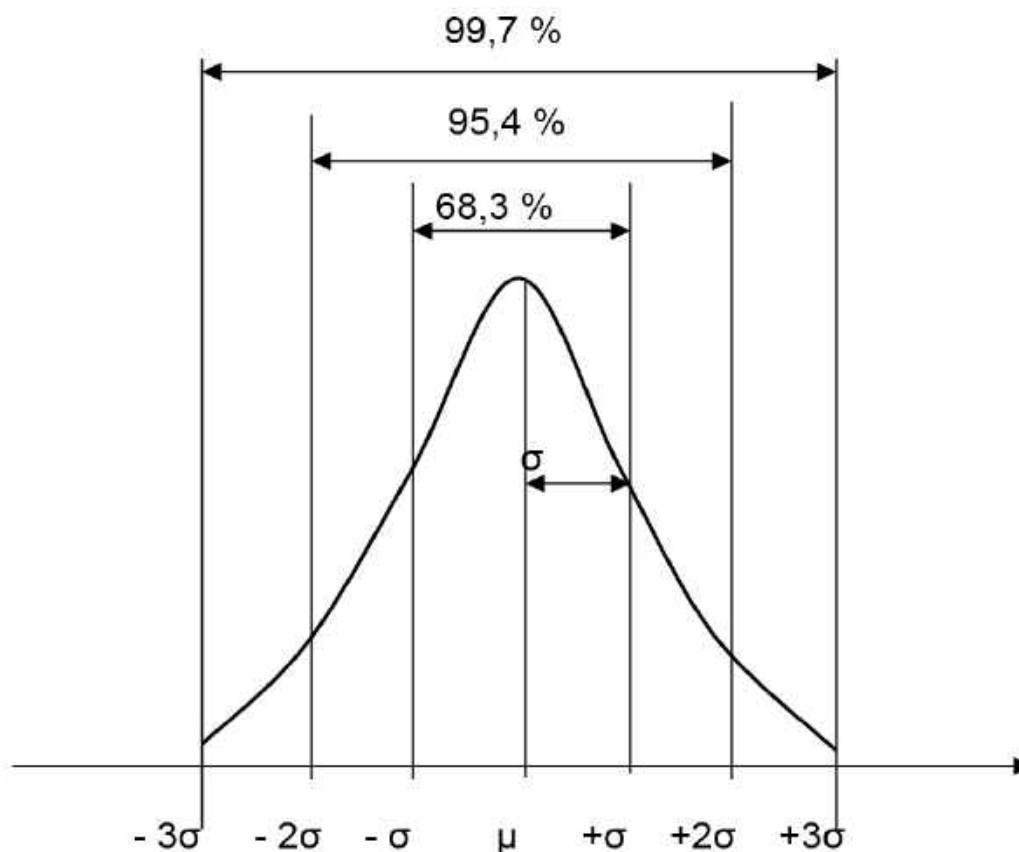


Рисунок 20 – Приклад параметрів нормального розподілення

3.5.5 Завдання для практичних занять на тему «Гістограми»

Задача № 1. Умови: робітник в один день працював на двох металообробних станках: до обідньої перерви на першому (x_1), а після перерви – на другому (x_2). Результати вимірювань розмірів деталей (мм), виготовлених цим робітником, наведено в таблиці.

Завдання: Побудувати гістограму результатів вимірювань.

За необхідності зробити стратифікацію (обґрунтувати) і побудувати гістограми для двох станків. Оцінити середні арифметичні значення $\bar{x}$ і стандартні відхилення S , а також стан процесу за індексом відтворюваності, якщо нижня межа дорівнює 55,600 мм, а верхня – 55,800 мм.

Таблиця 5 – Вхідні дані

x_1	55,875	55,745	55,875	55,745	55,751	55,594	55,751	55,594	55,751
x_2	55,857	55,687	55,857	55,751	55,594	55,600	55,711	55,600	55,711
x_1	55,621	55,782	55,621	55,782	55,621	55,782	55,621	55,782	55,621
x_2	55,627	55,844	55,627	55,844	55,627	55,844	55,627	55,844	55,627
x_1	55,784	55,742	55,775	55,763	55,751	55,774	55,731	55,759	55,755
x_2	55,812	55,881	55,842	55,875	55,799	55,800	55,811	55,802	55,810
x_1	55,726	55,728	55,761	55,777	55,699	55,692	55,705	55,732	55,724
x_2	55,797	55,804	55,728	55,784	55,762	55,812	55,809	55,804	55,820

Задача № 2. За умовами задачі № 1 побудувати гістограму, за необхідності зробити стратифікацію і побудувати гістограми для двох станків. Оцінити середні арифметичні значення $\bar{X}$ і стандартні відхилення S , а також стан процесу за індексом відтворюваності, якщо нижня межа дорівнює 32,350 мм, а верхня – 32,850 мм.

Таблиця 6 – Вхідні дані

x_1	32,472	32,412	32,472	32,412	32,472	32,412	32,472	32,412	32,472
x_2	32,466	32,397	32,466	32,397	32,466	32,397	32,466	32,397	32,466
x_1	32,384	32,403	32,384	32,403	32,384	32,403	32,384	32,403	32,384
x_2	32,386	32,420	32,386	32,420	32,386	32,420	32,386	32,420	32,386
x_1	32,472	32,445	32,445	32,432	32,441	32,452	32,456	32,458	32,464
x_2	32,474	32,430	32,444	32,419	32,423	32,415	32,416	32,406	32,406
x_1	32,378	32,399	32,388	32,393	32,380	32,399	32,418	32,430	32,410
x_2	32,425	32,430	32,426	32,429	32,434	32,441	32,426	32,431	32,478

Задача № 3. За умовами задачі № 1 побудувати гістограму, за необхідності зробити стратифікацію і побудувати гістограми для двох станків. Оцінити середні арифметичні значення $\bar{X}$ і стандартні відхилення S , а також стан процесу за індексом відтворюваності, якщо нижня межа дорівнює 7,50 мм, а верхня – 8,50 мм.

Таблиця 7 – Вхідні дані

x_1	8,53	8,31	8,82	8,55	8,47	8,44	8,92	8,66	8,81
x_2	8,79	8,62	8,69	8,22	8,96	8,91	8,43	8,67	8,75
x_1	7,45	7,62	7,55	7,28	7,77	7,68	7,12	7,23	7,95
x_2	7,41	7,93	8,17	8,19	7,97	7,93	8,01	7,95	7,74
x_1	8,90	9,00	8,89	8,64	8,58	8,35	8,16	8,80	8,89
x_2	8,89	8,83	8,89	8,77	8,71	8,68	8,34	8,61	8,59
x_1	7,99	7,99	7,67	7,61	7,99	8,01	8,01	8,22	7,90
x_2	8,54	8,38	7,95	8,12	8,04	7,82	8,23	8,34	8,45
x_1	8,12	8,04	7,95	7,59	8,07	8,02	8,10	8,45	7,79
x_2	7,75	8,35	8,15	8,18	8,10	8,62	8,46	7,83	8,05

3.6 Діаграма розсіювання

3.6.1 Загальна характеристика

Діаграму розсіювання застосовують для дослідження залежності між парами змінних (двома видами даних) для з'ясування причинно-наслідкових зв'язків показників якості та впливових чинників при аналізі причинно-наслідкової діаграми.

Діаграму розсіювання будують як графік залежності між двома параметрами і за його зовнішнім виглядом можна визначати, чи є між двома параметрами кореляційний зв'язок. Ці параметри можуть

співвідноситися як характеристика якості і впливовий чинник, як дві різні характеристики якості, як два чинника, що впливають на одну характеристику. За наявності кореляційного зв'язку причинний чинник значно впливає на характеристику, тому, якщо підтримувати цей чинник, то можливо досягти стабільності характеристики.

3.6.2 Етапи побудови діаграми розсіювання

Етап 1. Зібрати (провести вимірювання) парні дані (x , y), залежність між якими потрібно дослідити, і занести їх у таблицю. Рекомендується мати не менше 30 пар даних.

Етап 2. Знайти максимальні та мінімальні значення x і y . Вибрати масштаби шкал на горизонтальній і вертикальній осях однаковими. Якщо одна змінна є чинником, а інша – характеристикою якості, то для чинника вибрати горизонтальну, а для характеристики – вертикальну вісь.

Етап 3. Накреслити графік і нанести на нього дані. Якщо в різних спостереженнях отримано однакові значення, треба показати ці дублювання, наприклад, «O» або «·» (кількість точок дорівнює кількості збіжностей).

Етап 4. Позначити: назву, інтервал часу, кількість пар даних, назву та одиниці вимірювання для кожної осі, прізвище оператора.

Перш ніж проводити аналіз діаграми, необхідно ліквідувати викиди (промахи).

3.6.3 Приклади діаграм

На рисунку 21 – 24 зображено варіанти діаграм, різних за характером зв'язків між двома даними.

На рисунку 21 показано прямий (позитивний, пропорційний) кореляційний зв'язок, коли при збільшенні значення x значення y також зростає. При контролі чинника x характеристика y буде залишатися стабільною.

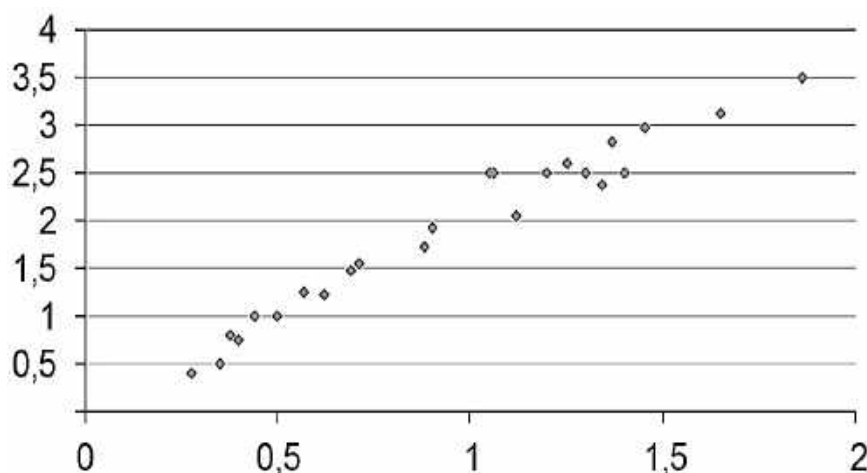


Рисунок 21 – Пряма кореляція

На рисунку 22 зображено зворотний (негативний) кореляційний зв'язок, коли при збільшенні значення x значення y зменшується. При контролі чинника x характеристика y буде залишатися стабільною.

На рисунку 23 зображено приклад відсутності кореляції, коли немає ніякої чіткої залежності між x та y . Необхідно продовжити пошук чинників, які корелюються з y , а чинник x виключити.

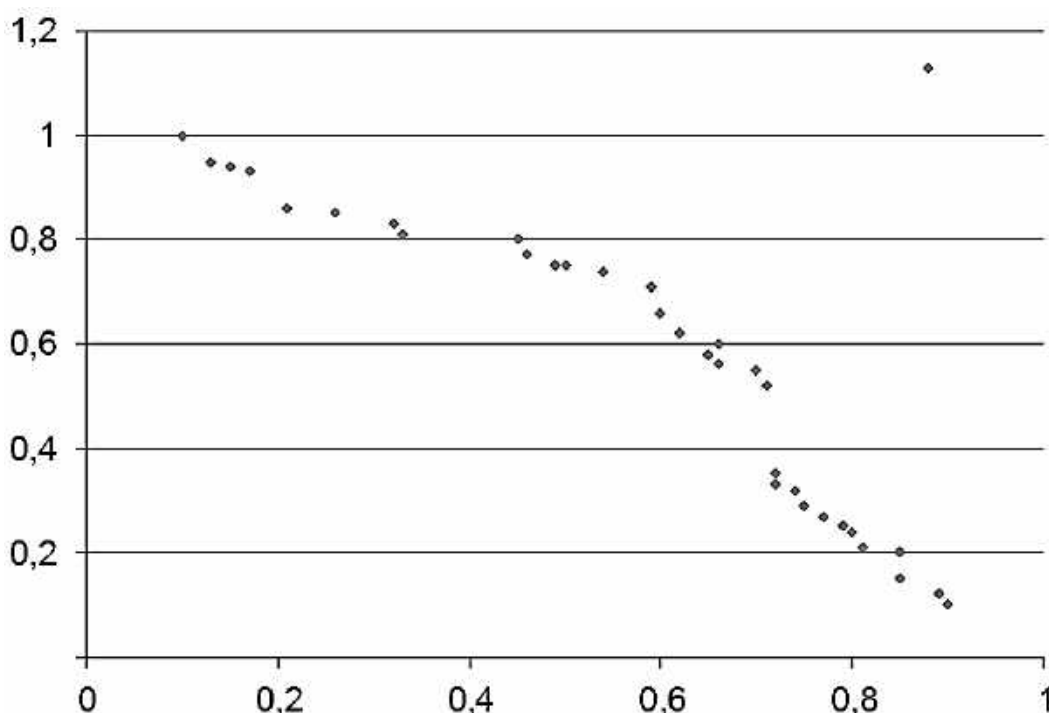


Рисунок 22 – Негативна кореляція

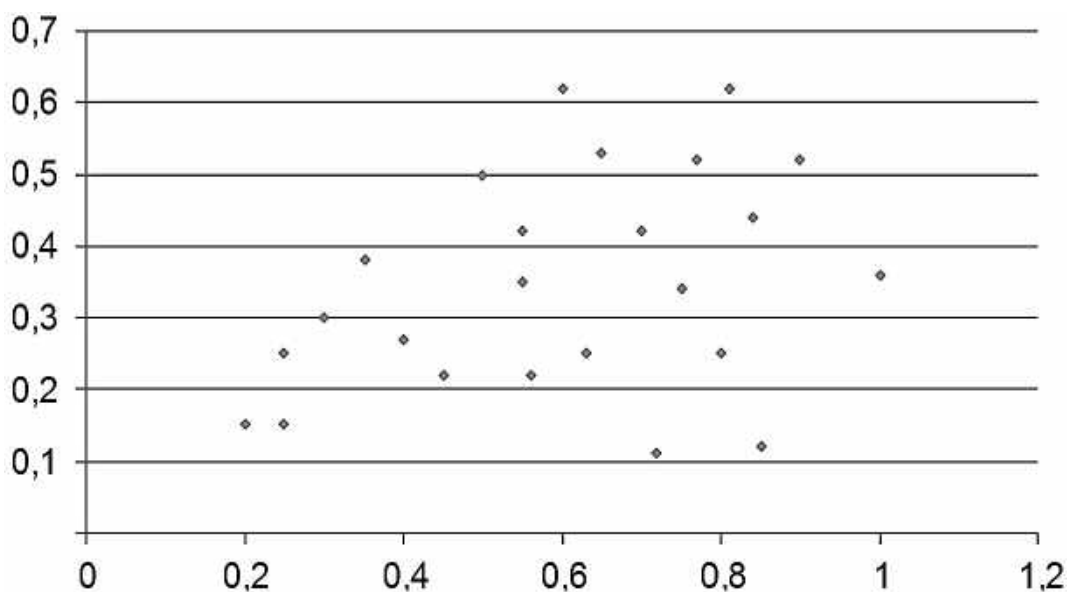


Рисунок 23 – Кореляція відсутня

На рисунку 24 зображено криволінійний кореляційний зв'язок. Якщо

при цьому діаграму розсіювання можна поділити на ділянки, які мають прямолінійний характер, то проводять дослідження кожної ділянки окремо.

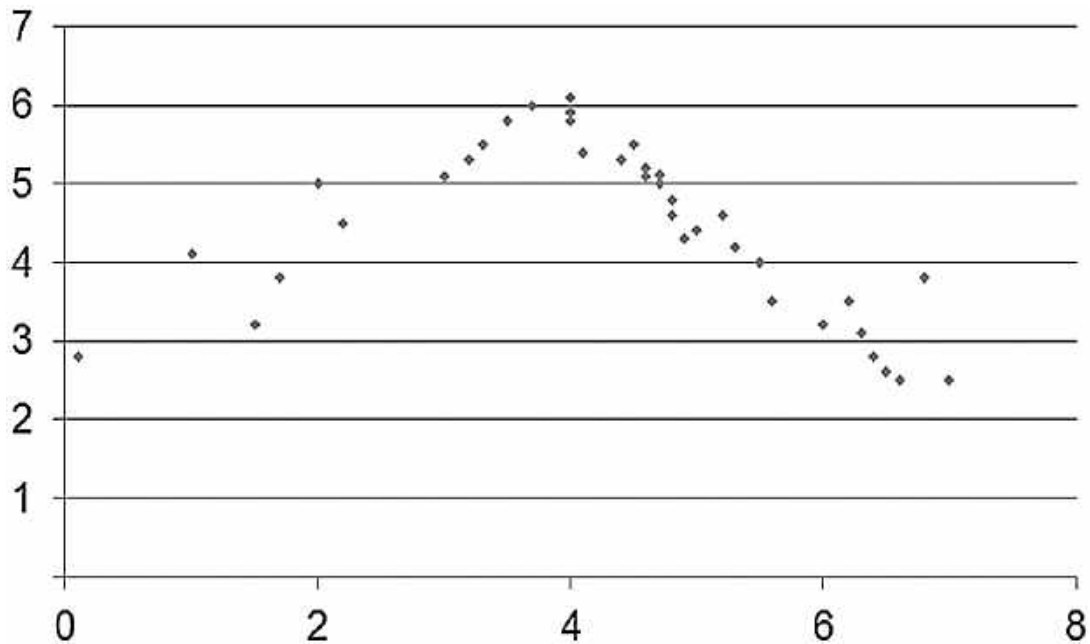


Рисунок 24 – Криволінійна кореляція

З рисунку 24 видно, що в інтервалі $[0; 4]$ по осі абсцис кореляція має позитивний характер, а в інтервалі $[4; 7]$ – негативний. Точка на абсцисі $x = 4$ є точкою розділення.

3.6.4 Коефіцієнт кореляції

Кореляційний зв'язок можна розрахувати, визначив його числове значення – коефіцієнт кореляції

$$r = \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^{i=n} (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{S_x S_y}, \quad (6)$$

де x_i, y_i – значення параметрів x, y при i -му вимірюванні;

$\bar{x}, \bar{y}$ – середні арифметичні значення величин x, y ;

S_x, S_y – стандартні відхилення величин x, y ;

n – кількість пар вимірювань у вибірці (обсяг вибірки).

Коефіцієнт кореляції може мати максимальні значення ± 1 .

Якщо $r = 0$, то кореляційний зв'язок відсутній; якщо $r \rightarrow \pm 1$, то кореляційний зв'язок сильний; якщо $0,3 \leq |r| \leq (0,6 \dots 0,7)$, то потрібно звернутися до таблиці 8 стандартного розподілу коефіцієнта кореляції, в

якій коефіцієнт кореляції наведено в області значень $0 < |R| < 1$.

Таблиця 8 – Стандартне розподілення коефіцієнта кореляції

k = n – 1	Рівень значущості $q = 1 - P_{доє}$				
	q = 0,10	q = 0,05	q = 0,02	q = 0,01	q = 0,001
2	0,900	0,950	0,980	0,990	0,999
3	0,805	0,878	0,934	0,959	0,992
4	0,729	0,811	0,882	0,917	0,974
5	0,669	0,754	0,833	0,874	0,951
6	0,621	0,707	0,789	0,834	0,925
7	0,582	0,666	0,750	0,798	0,898
8	0,549	0,632	0,716	0,765	0,872
9	0,521	0,602	0,685	0,735	0,847
10	0,497	0,576	0,658	0,708	0,823
12	0,457	0,532	0,612	0,661	0,780
14	0,426	0,497	0,574	0,623	0,742
16	0,400	0,468	0,543	0,590	0,708
18	0,389	0,456	0,528	0,561	0,679
20	0,369	0,433	0,503	0,549	0,665
25	0,323	0,381	0,445	0,487	0,597
30	0,296	0,349	0,409	0,449	0,554
35	0,275	0,325	0,381	0,418	0,519
40	0,257	0,304	0,358	0,393	0,490
45	0,248	0,287	0,338	0,372	0,465
50	0,231	0,273	0,322	0,354	0,443
60	0,211	0,250	0,295	0,325	0,408
70	0,195	0,232	0,274	0,302	0,380
80	0,183	0,217	0,256	0,283	0,357
90	0,173	0,205	0,242	0,264	0,337
100	0,164	0,195	0,230	0,254	0,321

3.6.4.1 Завдання для практичних занять на тему «Діаграма розсіювання»

У таблиці 9 наведено параметри технологічного процесу (x – вхідний параметр, y – вихідний), а також довірчу ймовірність.

За даними побудувати діаграму розсіювання, за виглядом діаграми зробити висновок про тип кореляційного зв'язку, визначити значення коефіцієнта кореляції, оцінити його значущість і, за необхідності, уточнити висновок про наявність і тип кореляції.

Таблиця 9 – Значення параметрів технологічного процесу

№ п.п.	Варіант 1		Варіант 2		Варіант 3		Варіант 4		Варіант 5	
	<i>x</i>	<i>y</i>	<i>x</i>	<i>y</i>	<i>x</i>	<i>y</i>	<i>x</i>	<i>y</i>	<i>x</i>	<i>y</i>
1	8,52	7,90	12,58	9,31	-	3,96	8,6	8,7	6,22	3,88
2	7,32	8,88	5,42	9,06	4,55	3,75	10,6	9,7	7,39	3,77
3	8,39	7,77	7,91	-	4,24	3,53	14,3	-	5,61	3,29
4	9,07	7,98	11,07	13,81	4,24	4,40	4,9	4,6	8,50	3,44
5	8,70	8,25	10,75	12,95	5,10	3,95	7,9	5,0	8,62	-
6	8,51	5,59	7,94	9,59	5,67	3,37	8,6	5,8	7,49	3,99
7	9,11	7,78	18,23	13,29	5,06	4,63	12,2	5,5	6,04	3,94
8	8,24	8,64	6,82	7,29	4,85	4,39	-	4,9	6,51	3,97
9	8,66	7,65	11,11	12,22	4,92	4,06	10,1	5,9	7,21	4,10
10	6,75	9,45	10,86	8,93	5,39	4,54	8,7	4,6	7,34	4,64
11	8,18	7,97	-	15,25	5,97	4,08	14,4	5,9	7,25	4,29
12	5,71	8,74	11,57	9,95	5,56	4,00	11,0	4,9	-	4,67
13	7,49	8,10	12,44	9,82	4,83	4,07	7,9	4,5	7,23	4,41
14	7,27	8,86	9,11	15,50	4,54	3,93	8,1	5,9	6,64	4,32
15	7,08	7,53	12,36	9,66	4,84	4,10	7,1	5,6	7,14	4,15
16	9,41	9,52	5,42	4,99	-	4,04	4,8	5,8	6,21	3,99
17	8,70	8,20	12,64	12,80	4,89	3,08	9,5	5,0	6,26	3,59
18	-	9,35	8,87	5,23	5,23	4,82	7,8	5,5	6,34	3,57
19	8,62	8,32	8,70	10,08	5,60	4,22	5,9	5,6	7,01	3,86
20	7,78	8,12	9,98	15,12	4,54	3,06	5,6	5,5	5,93	-
<i>P</i> _{дов}	0,80		0,90		0,95		0,98		0,99	

3.6.5 Метод медіан

На основі метода медіан можна проаналізувати ступінь кореляційного зв'язку у разі відсутності таблиць стандартного розподілення коефіцієнта кореляції, а також у разі невизначеного значення довірчої ймовірності.

1. За даними побудувати діаграму розсіювання, на якій провести вертикальну та горизонтальну лінії медіан:

$$x_{med} = (x_{max} + x_{min})/2 ; y_{med} = (y_{max} + y_{min})/2 , \quad (7)$$

де x_{max} і y_{max} – максимальні значення параметрів x і y ,

x_{min} і y_{min} – мінімальні значення параметрів x і y .

Вище та нижче горизонтальної медіани, справа та зліва вертикальної медіани буде однакова кількість точок.

2. Порахувати кількість точок в кожному з чотирьох квадрантів: n_1 , n_2 ,

n_3, n_4 . Точки, через які пройшли лінії медіан, не враховувати.

3. Окремо підсумувати кількість точок в парних (n_+) і непарних (n_-) квадрантах, а також знайти їх спільну суму (k).

4. Зіставити менше значення з двох – n_+ або n_- – із стандартним допустимим значенням $k_{доп}$, яке слід вибрати з таблиці 10.

Таблиця 10 – Стандартні значення коефіцієнта $k_{доп}$ при двох значеннях коефіцієнта ризику α

$k_{доп}$	α		$k_{доп}$	α		$k_{доп}$	α	
	0,01	0,05		0,01	0,05		0,01	0,05
8	0	0	36	9	11	64	21	23
9	0	1	37	10	12	65	21	24
10	0	1	38	10	12	66	22	24
11	0	1	39	11	12	67	22	25
12	1	2	40	11	13	68	22	25
13	1	2	41	11	13	69	23	25
14	1	2	42	12	14	70	23	26
15	2	3	43	12	14	71	24	26
16	2	3	44	13	15	72	24	27
17	2	4	45	13	15	73	25	27
18	3	4	46	13	15	74	25	28
19	3	4	47	14	16	75	25	28
20	3	5	48	14	16	76	26	28
21	4	5	49	15	17	77	26	29
22	4	5	50	15	17	78	27	29
23	4	6	51	15	18	79	27	30
24	5	6	52	16	18	80	28	30
25	5	7	53	16	18	81	28	31
26	6	7	54	17	19	82	28	31
27	6	7	55	17	19	83	29	32
28	6	8	56	17	20	84	29	32
29	7	8	57	18	20	85	30	32
30	7	9	58	18	21	86	30	33
31	7	9	59	19	21	87	31	33
32	8	9	60	19	21	88	31	34
33	8	10	61	20	22	89	31	34
34	9	10	62	20	22	90	32	35
35	9	11	63	20	23	-	-	-

Якщо $n_+ \leq k_{доп}$ або $n_- \leq k_{доп}$, то кореляція існує, і навпаки.

Крім того, при умові $n_+ > n_-$ даним притаманна пряма кореляція, а при умові $n_+ < n_-$ – зворотна кореляція.

У випадку контролю характеристики результату y від чинника x (причини) за допомогою графіків або контрольних карт висновки про кореляційний зв'язок можна зробити без побудови діаграми розсіювання, а лише на основі наявного графічного матеріалу.

Розглянемо приклад.

Необхідно зробити висновок про наявність кореляційного зв'язку на основі графіків зміни y (реакції виробу (рисунок 25, а)) та x (впливового чинника (рисунок 25, б)), отриманих за тиждень.

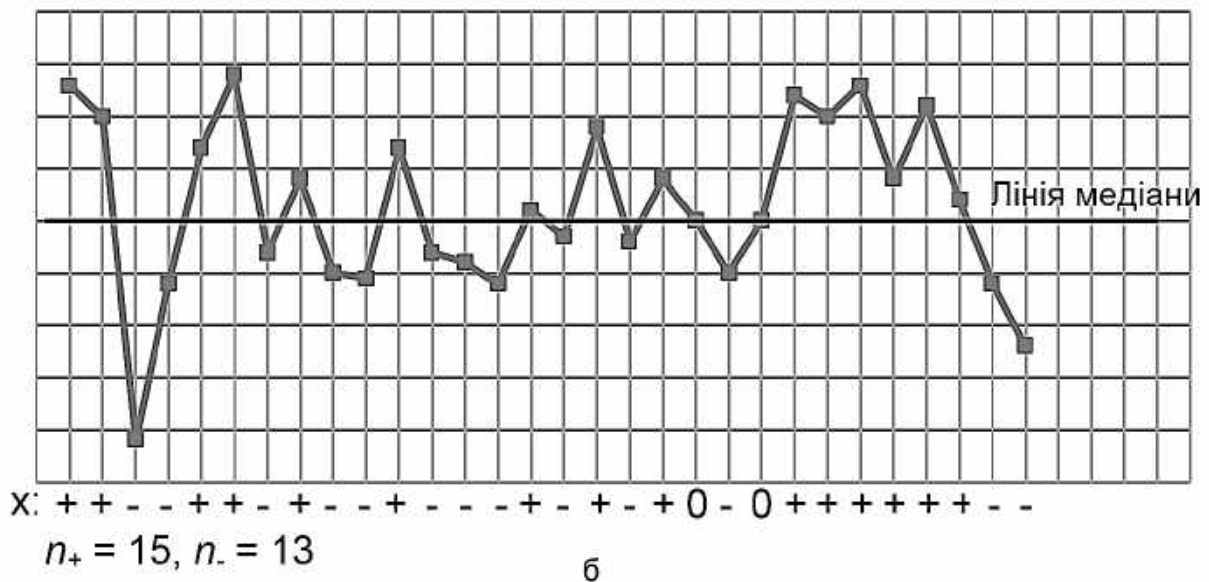
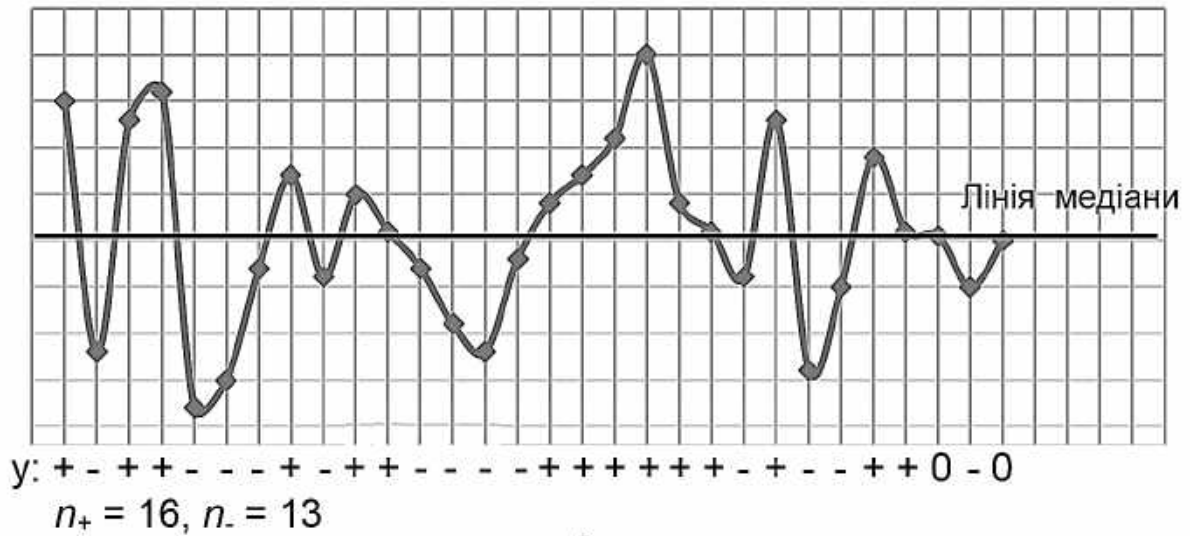


Рисунок 25 – Аналіз кореляційного зв'язку за допомогою графіків

Провели лінії медіан на обох графіках і порахували кількість значень, розташованих вище та нижче ліній медіан (результати наведені під графіками).

Тепер перемножимо знаки x і y попарно за правилами математики:
 $y \cdot x$: + - - - - + + + - + + + + + - + - + 0 - 0 - - + + 0 + 0;

$$n_{(+)} = 14; n_{(-)} = 11; n_{(0)} = 4.$$

Складемо кількість знаків «+», «-», «0» і визначимо загальну кількість $n'_{(+)}$ та $n'_{(-)}$:

$$n'_{(+)} = n_{(+)} + n_{(0)}/2 = 14 + 4/2 = 16; n'_{(-)} = n_{(-)} + n_{(0)}/2 = 11 + 4/2 = 13.$$

Загальну суму $n'_{(+)}$ та $n'_{(-)}$ позначимо як $k = n'_{(+)} + n'_{(-)} = 16 + 13 = 29$.

При $k = 29$ та $\alpha = 0,01$ отримаємо $k_{доп} = 7$, а при $\alpha = 0,05$ – $k_{доп} = 8$ (див. таблицю 10).

Меншу суму значень – це $n'_{(-)} = 13$ – порівнюємо з табличним значенням $k_{доп} = 7$ або 8 (у даному випадку це різниці не має) і отримуємо, що $n'_{(-)} > k_{доп}$, тобто $13 > 7$ або 8, і робимо висновок про те, що кореляція відсутня.

3.6.5.1 Завдання для практичних занять

Задача № 1. На основі побудованої діаграми розсіювання (попереднє практичне заняття) застосувати метод медіан і зробити висновок про наявність і характер кореляційного зв'язку.

Задача № 2. Побудувати на основі даних діаграму розсіювання і, застосувавши метод медіан, визначити наявність і характер кореляційного зв'язку.

Дано: $x : \{15,3; 15,0; 15,8; 15,5; 15,4; 15,5; 15,3; 15,1; 14,9; 14,8; 15,0; 15,6; 14,3; 14,8; 14,9; 15,2; 15,3; 15,8; 15,7; 15,5; 15,0; 15,2; 15,4; 16,3; 16,0; 15,5; 15,8; 16,0; 15,0\}$;

$y : \{14,8; 15,0; 15,3; 14,9; 14,0; 14,5; 15,1; 15,2; 15,8; 15,7; 15,6; 15,0; 15,3; 15,4; 15,0; 15,2; 14,9; 14,7; 14,0; 15,0; 15,1; 15,1; 15,3; 15,4; 14,3; 14,7; 14,5; 14,9; 15,7; 15,6\}$.

Задача № 3. Побудувати на основі даних попередньої задачі графіки зміни x та y (координати по осі абсцис від 0 до 3 з шагом 0,1), застосувати метод медіан і визначити наявність і характер кореляційного зв'язку.

Задача № 4. Провести аналіз кореляції методом медіан діаграми розсіювання, зображеної на рисунку 26, зробити висновок про наявність кореляції.

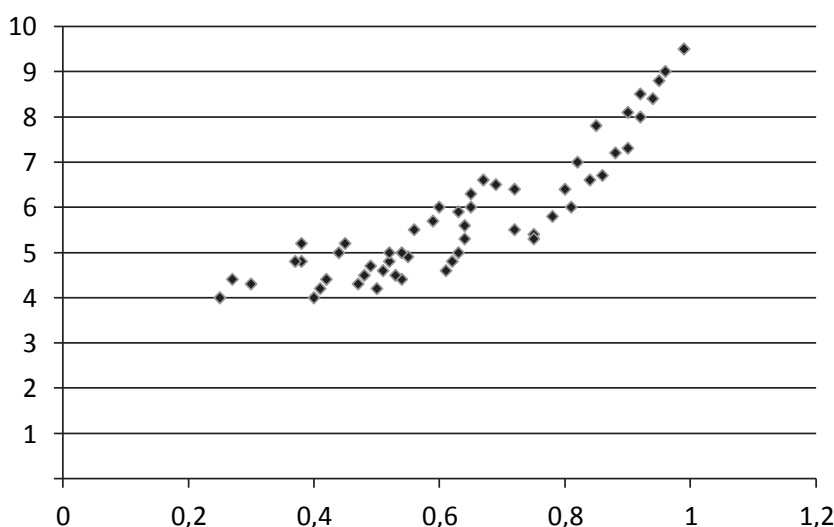


Рисунок 26 – Діаграма розсіювання

3.7 Контрольні карти

3.7.1 Загальна характеристика

Контрольна карта – це різновид графіка, який часто застосовують для подання даних процесу у вигляді часового ряду.

Якість промислової продукції в процесі виробництва підпорядковується варіаціям, які мають випадкові або систематичні причини. Причина невинна здатна змістити весь процес від розрахункових даних, що може призвести до неконтрольованого зростання браку. Тому важливо оцінювати характеристики процесу виготовлення продукції з певною періодичністю. Дієвим і простим інструментом, який відображає процес в динаміці, і є контрольна карта.

Крім даних процесу на цьому графіку нанесені лінії – контрольні межі (або межі регулювання), які відображають смугу розкиду даних процесу під впливом різноманітних чинників. Якщо всі точки на графіку лежать в контрольних межах, то така карта відображає стабільність процесу, який характеризують як регульований. І навпаки, якщо на графіку присутні точки, які лежать поза контрольними межами, то такий процес є нестабільним через вплив якихось систематичних похибок і характеризується як нерегульований.

Контрольні межі встановлюють наперед, вони залежать від норм, в діапазоні яких розкид значень контрольованого параметра стає допустимим. Цей розкид є результатом впливу випадкових, невеликих за значеннями похибок, які неможливо або недоцільно враховувати. Контрольні межі визначають за допомогою великої кількості вимірювань, за якими встановлюють значення контрольних нормативів.

У практиці застосовують різні види контрольних карт, які відрізняються одна від одної характером даних, видами показників і метою. Відомі два типи контрольних карт: для безперервних величин – ($\bar{x}$ - R)-карта, x -карта; для дискретних величин – (p - n)-карта, p -карта, c -карта, u -карта:

- ($\bar{x}$ - R)-карта середніх арифметичних розмахів застосовується для аналізу і контролю показників за кількісною ознакою, які подані у вигляді безперервних величин;

- x -карта індивідуальних значень використовується в умовах отримання даних через великі проміжки часу або у разі їх неефективного групування, а також з метою швидкого викриття непомічених чинників. Дані наносять на графік точками у міру того, як їх отримують, але неможливо визначити розмах для групи і тому використовують поточне значення розмаху;

- (p - n)-карта кількості одиниць продукції з дефектами застосовується у випадку контролю якості при визначенні числа виробів із дефектами для вибірок постійного фіксованого обсягу;

- p -карта частки продукції з дефектами використовується у випадку

контролю якості при визначенні частки виробів із дефектами для вибірок змінного обсягу;

– *c*-карта кількості дефектів застосовується, коли контроль якості здійснюється як визначення сумарної кількості дефектів у перевірених виробах із заздалегідь встановленим постійним обсягом для знаходження дефектів у виробах однакових розмірів;

– *u*-карта кількості дефектів на одиницю продукції використовується для контролю якості при визначенні кількості дефектів на одиницю продукції у виробах, різних за розмірами.

Формули для розрахунку контрольних меж наведено в таблиці 11, а значення коефіцієнтів A_2 , D_4 , D_3 – в таблиці 12.

При цьому використано такі позначення:

UCL – under control level – верхня контрольна межа;

CL – central line – центральна лінія;

LCL – low control level – нижня контрольна межа.

Таблиця 11 – Формули для розрахунку контрольних меж

№ п.п.	Вид контрольної карти	Формули
1	$\bar{x}$	$UCL = \bar{\bar{x}} + A_2 R; \quad CL = \bar{\bar{x}}; \quad LCL = \bar{\bar{x}} - A_2 R$
2	R	$UCL = D_4 \bar{R}; \quad CL = \bar{R}; \quad LCL = D_3 \bar{R}$
3	$\bar{x}$	$UCL = \bar{\bar{x}} + 2,66 \bar{R}_s; \quad CL = \bar{\bar{x}}; \quad LCL = \bar{\bar{x}} - 2,66 \bar{R}_s$
4	$p-n$	$UCL = \bar{p}n + 3\sqrt{\bar{p}n(1-\bar{p})}; \quad CL = \bar{p}n; \quad LCL = \bar{p}n - 3\sqrt{\bar{p}n(1-\bar{p})}$
5	p	$UCL = \bar{p} + 3\sqrt{\frac{\bar{p}n(1-\bar{p})}{n}}; \quad CL = \bar{p}; \quad LCL = \bar{p} - 3\sqrt{\frac{\bar{p}n(1-\bar{p})}{n}}$
6	$\bar{c}$	$UCL = \bar{\bar{c}} + 3\sqrt{\bar{c}}; \quad CL = \bar{\bar{c}}; \quad LCL = \bar{\bar{c}} - 3\sqrt{\bar{c}}$
7	$\bar{u}$	$UCL = \bar{\bar{u}} + 3\sqrt{\frac{\bar{u}}{n}}; \quad CL = \bar{\bar{u}}; \quad LCL = \bar{\bar{u}} - 3\sqrt{\frac{\bar{u}}{n}}$

Таблиця 12 – Значення коефіцієнтів

Кількість вибірок n	A_2	D_4	D_3
2	1,880	-	3,267
3	1,023	-	2,575
4	0,729	-	2,282
5	0,577	-	2,115
6	0,483	-	2,004
7	0,419	0,076	1,924
8	0,373	0,136	1,864
9	0,337	0,184	1,816
10	0,308	0,223	1,777

3.7.2 Аналіз контрольних карт

Головне в процесі управління – це точно розуміти стан об'єкта управління (контролю), для чого будують контрольні карти, а також чітко і адекватно реагувати на прояви неконтрольованого стану об'єкта.

Контрольований стан об'єкта – такий, при якому він є стабільним, а його характеристики – середнє арифметичне та розмах – не змінюються.

Ознаками неконтрольованого стану об'єкта є:

- вихід значення параметра за контрольну межу;
- декілька точок ($\approx 2/3$ і більше) знаходяться з одного боку від контрольної межі;
- спостерігається дрейф ламаної графіка (тренд на зростання значень або на їх зменшення);
- наближення графіка до контрольних меж (2σ або 3σ);
- наближення до центральної лінії, що є результатом неправильного розподілення на групи (дані з різних груп змішані), потрібно змінити спосіб розподілення;
- примітна періодичність (повторення трендів).

Ці ознаки свідчать про порушення властивості випадковості та репрезентативності вибірок.

3.7.3 Етапи побудови контрольної карти ($\bar{x}$ - R)

Етап 1. Зібрати не менш ніж 100 даних і розподілити їх на 4 – 5 груп таким чином, щоб у кожній було по 20 – 25 значень. Якщо це зробити неможливо, то їх поділяють примусово в порядку надходження по 2 – 10 значень.

Етап 2. Розрахувати середнє арифметичне значення і розмах для кожної групи. Кількість значущих цифр в оцінках має бути на одиницю більша, ніж в первинних даних:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}; \quad R = x_{\max} - x_{\min}. \quad (8)$$

Етап 3. Визначити контрольні межі за формулами, наведеними в таблиці 11, і коефіцієнтами, значення яких подано в таблиці 12.

Етап 4. Побудувати контрольну карту, для чого на осі абсцис розмітити номери груп, а на осі ординат указати значення $\bar{x}$ або R . На карту нанести лінії контрольних меж.

Етап 5. На контрольній карті указати інформацію про обсяг вибірок, назву процесу або виробу, період часу, за який зібрано дані, метод вимірювання, умови роботи, зміни та ін.

Етап 6. Зробити аналіз контрольної карти і висновок.

3.7.4 Завдання для практичних занять

Задача № 1. За даними, наведеними в таблиці 13, побудувати $(\bar{x}-R)$ -карту, розрахувати і нанести контрольні межі, проаналізувати і зробити висновок стосовно стану процесу.

Таблиця 13 – Вихідні дані

Номер групи	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	$\sum x_i$	$\bar{x}$	R
1	47	32	44	35	20	178		
2	19	37	31	25	34	146		
3	19	11	16	11	44	101		
4	29	29	42	59	38	197		
5	28	12	45	36	25	146		
6	40	35	11	38	33	157		
7	15	30	12	33	26	116		
8	35	44	32	11	38	160		
9	27	37	26	20	35	145		
10	23	45	26	37	32	163		
11	28	44	40	31	18	161		
12	31	25	24	32	22	134		
13	22	37	19	47	14	139		
Σ	-						358,6	332

Задача № 2. За даними, наведеними в таблиці 14, побудувати $(\bar{x}-R)$ -карту, розрахувати і нанести контрольні межі, проаналізувати і зробити висновок стосовно стану процесу.

Таблиця 14 – Вихідні дані

Дата	Номер групи	Результати вимірювань					Дата	Номер групи	Результати вимірювань				
		x_1	x_2	x_3	x_4	x_5			x_1	x_2	x_3	x_4	x_5
1.09	1	7,2	7,3	7,3	7,3	7,7	11.09	13	7,3	7,4	7,5	7,5	7,2
1.09	2	7,1	7,2	7,0	7,3	7,2	11.09	14	7,4	7,3	7,4	7,3	7,1
4.09	3	7,1	7,0	7,2	7,3	7,0	12.09	15	7,6	7,2	7,5	7,7	7,3
4.09	4	7,2	7,4	7,4	7,2	7,3	12.09	16	7,2	7,6	7,3	7,5	7,4
5.09	5	7,4	7,5	7,3	7,4	7,2	13.09	17	7,2	7,2	7,4	7,4	7,1
5.09	6	7,5	7,4	7,5	7,5	7,4	13.09	18	7,1	7,2	7,2	7,1	7,5
6.09	7	7,2	7,3	7,1	7,5	7,4	14.09	19	7,6	7,5	7,7	7,4	7,5
6.09	8	7,4	7,5	7,3	7,7	7,3	14.09	20	7,4	7,5	7,3	7,3	7,3
7.09	9	7,3	7,4	7,2	7,3	7,3	15.09	21	7,1	7,4	7,5	7,3	7,2
7.09	10	7,1	7,4	7,3	7,4	7,3	15.09	22	7,3	7,3	7,5	7,3	7,3
8.09	11	7,2	7,6	7,5	7,5	7,3	18.09	23	7,2	7,5	7,4	7,3	7,4
8.09	12	7,3	7,0	7,2	7,1	7,2	18.09	24	7,0	7,2	7,2	7,3	7,1

4 НОВІ МЕТОДИ СТАТИСТИЧНОГО КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ

У розділі 3 було розглянуто основні методи статистичного контролю якості, більшість з яких основана на аналізі числових даних. Це цілком відповідає принципу менеджменту якості: «Прийняття рішень на основі фактів».

Наведені нові методи статистичного контролю якості є частиною методології вирішення проблем, що розглядається в теорії TQM (загального управління якістю) [6]:

Найбільш успішно ці інструменти можуть бути використані в рамках групової роботи в командах, що створюються в організаціях для пошуку і вирішення проблем якості. У зв'язку з цим у розділі 4 розглянуто корисний набір інструментів, що дозволяють полегшити вирішення проблем управління якістю при аналізі різного роду чинників, наведених переважно не в числовій формі, а, наприклад, у вигляді словесних (усних) описів. Інформацію, подану у вигляді словесних (усних) описів, часто називають вербальною інформацією.

Ці інструменти в роботі [5] були названі «новими інструментами управління якістю», до яких належать:

- «мозкова атака» («штурм, облога») і «атака розносом»;
- діаграма спорідненості (affinity diagram);
- діаграма (графік) зв'язків (interrelationship diagram);
- деревоподібна діаграма, або дерево рішень (tree diagram);
- матрична діаграма, або таблиця якості (matrix diagram or quality table);
- стрілочна діаграма (arrow diagram);
- потокова діаграма процесу (flow chart);
- діаграма процесу прийняття рішень (process decision program chart – PDPC);
- матриця пріоритетів (аналіз матричних даних) (matrix data analysis).

Збір вихідних даних для використання нових інструментів управління якістю зазвичай здійснюють із застосуванням так званих «мозкових атак» («штурмів, облог»). Після проведення «мозкової атаки» зібрані дані аналізують, групують і на основі їх використання будують різні діаграми відповідно до рекомендацій щодо застосування розглянутих нижче нових інструментів управління якістю.

Відзначимо, що діаграму призначено для роботи не з числовою, а з вербальною інформацією. За цією ознакою вона має бути віднесена до групи нових методів та інструментів в управлінні якістю. Однак у зв'язку з тим, що цей інструмент традиційно розглядається в складі семи простих японських інструментів контролю і управління якістю, причинно-наслідкову діаграму Ісікави було проаналізовано в розділі 3.

Нові інструменти є засобами вирішення проблем, що розглядаються в теорії TQM. Ці інструменти найбільш успішно можуть бути використані в рамках групової роботи в командах, що створюються в організаціях для пошуку і вирішення проблем якості.

Розглянуті нижче нові інструменти управління якістю лежать в основі новітньої процедури перетворення вимог споживачів спочатку у формування параметрів очікуваної якості продукції, а потім параметрів якості процесів виробництва цієї продукції. Така процедура, розроблена і вперше застосована в Японії на верфі компанії Mitsubishi Heavy Industries в м. Кобе, отримала назву «Розгортання функції якості» (Quality Function Deployment – QFD). Через специфічну форму матричної діаграми, використовуваної в рамках процедури QFD, її часто називають «будинок якості» (The Quality House).

4.1 «Мозкова атака» («штурм, облога») і «атака розносом»

«Мозкова атака» [5] застосовується як засіб генерування ідей для ідентифікації можливих причин проблем і потенційних можливостей поліпшення якості процесів, продукції та послуг. Цей метод був розроблений А. Ф. Осборном в США і широко використовується при побудові причинно-наслідкових діаграм Ісікави типу «риб'ячий скелет» і з іншими основними новими і комплексними інструментами управління якістю. Завданням «мозкового штурму» є не допустити виключення з поля зору можливих причин браку продукції або шляхів поліпшення її якості.

«Мозкова атака» триває 1-1,5 години і містить таке:

1. Організатор створює групу з 5-9 осіб, знайомих з тією областю діяльності, де виникла проблема.

Примітка. Бажано, щоб в цю групу поряд з фахівцями, які глибоко розуміють проблему, входили фахівці з суміжних (близьких) областей знань.

2. Оголошується завдання для проведення «мозкової атаки», проте не надто конкретно, щоб не звужити область пошуку можливих рішень.

Примітки:

1. На цьому етапі доцільно залучати фахівців, які вперше беруть участь в «мозковій атаці», слід ознайомити їх з основним змістом і етапами майбутньої роботи.

2. Корисно звернутися до учасників «мозкової атаки» з проханням про те, щоб вони при появі навіть, здавалося б, найбільш «божевільних» ідей негайно і не замислюючись ділилися ними з учасниками «мозкової атаки», оскільки саме ідеї, які здаються «маячнею» (які не можуть прийти в голову фахівцям, які глибоко знають проблему), у багатьох випадках дозволяють знайти несподіване і найбільш ефективне вирішення проблеми.

3. Усі члени групи виступають по черзі і висловлюють по одній ідеї, що дозволяє створити обстановку змагання в процесі роботи (є можливим варіант, коли кожен учасник протягом 5-15 хвилин записує свої пропозиції на аркуші паперу).

4. У міру можливості члени групи розвивають і доповнюють ідеї,

висловлені іншими учасниками.

Примітка. На цьому етапі не допускається будь-яка критика або просте обговорення висловлених ідей, дозволяється тільки підтримувати й поглиблювати висловлені пропозиції.

5. Висловлені ідеї записують (наприклад, на спеціально підготовлених картках) так, щоб всі їх бачили.

6. Процес висунення ідей триває доти, доки не припиниться їх потік.

7. Висловлені ідеї групуються, наприклад, з використанням мнемонічного прийому або інших міркувань.

8. Усі висловлені ідеї обговорюються і розглядаються для уточнення їх формулювань, правильності введення в конкретну групу причин і формування результатів роботи, наприклад, діаграми Ісікави типу «риб'ячий скелет».

«Мозковий штурм» на відміну від «мозкової атаки» триває 3-4 години (половину робочого дня), «мозкова облога» – від одного до декількох робочих днів. Наприклад, «мозкова облога» може містити шість «мозкових атак», кожна з яких, можливо, буде присвячена побудові однієї з шести «великих кісток» діаграми Ісікави, що відображають вплив на якість:

- персоналу;
- машин, верстатів і устаткування;
- сировини, матеріалів, комплектуючих;
- технологій виробництва;
- засобів вимірювання і методів контролю;
- виробничого і навколишнього середовища.

«Атака розносом», як це впливає з її назви, спрямована на критичний аналіз, наприклад, підготовленого проекту. При «атаці розносом» усю увагу колективу має бути спрямовано виключно на пошук наявних недоліків предмета аналізу, висловлювання позитивних відгуків, і будь-яка підтримка учасників заборонена. Щоб уникнути психологічних зривів і душевних травм, є небажаною присутність авторів проекту при аналізі результатів їх роботи із застосуванням «атаки розносом».

Крім «мозкової атаки», «штурму, облоги» і «атаки розносом» як інструменти і методи генерації ідей (використовуваних як при пошуку причин невдач, так і при розробленні пропозицій щодо вдосконалення наявних процесів) можуть бути застосовані:

1. Письмовий варіант «мозкового штурму», який передбачає безпосереднє викладення ідей у письмовій формі з використанням карток або стендів. Картки передаються (циркулюють) між учасниками роботи для додавання супутніх ідей або розширення раніше висловлених ідей. Крім того, варіанти ідеї записують на великих дошках або стендах. При цьому учасники роботи ходять біля стендів, розставлених у приміщенні, і додають супутні ідеї та нові елементи, розвивають ідеї, запропоновані іншими.

Недолік письмового варіанту полягає в тому, що складно забезпечити анонімність висловлених ідей і пропозицій.

2. Метод анкетування Кроуфорда можна розглядати як специфічний випадок письмового варіанта «мозкового штурму» з використанням карток, що не циркулюють між учасниками роботи. Завдяки цьому легко забезпечується анонімність висловлених пропозицій та ідей. Після завершення роботи запропоновані ідеї упорядковує за класами одна людина. Одержаний підсумковий документ, в якому виконано попереднє підсумовування всіх ідей, вже може відкрито обговорюватися фахівцями, які входять до складу групи.

Перевага методу анкетування Кроуфорда полягає в тому, що його можна застосовувати у випадках, коли є конфлікти в групі фахівців, що висувають ідеї.

4.2 Діаграма спорідненості

Діаграма спорідненості [5] – це інструмент, який дає змогу виявити основні порушення процесу (або можливості його поліпшення) шляхом об'єднання споріднених усних даних, зібраних у результаті «мозкового штурму».

Принцип створення діаграми спорідненості і визначення основних порушень процесу з метою вжиття заходів для їх усунення проілюстровано на рисунку 27.

Як видно з рисунка 27, діаграма спорідненості дозволяє розподілити за кількома групами (X, Y) велику кількість (a, b, c, d) ідей, думок та інтересів, зібраних фахівцями з конкретної теми (Z).

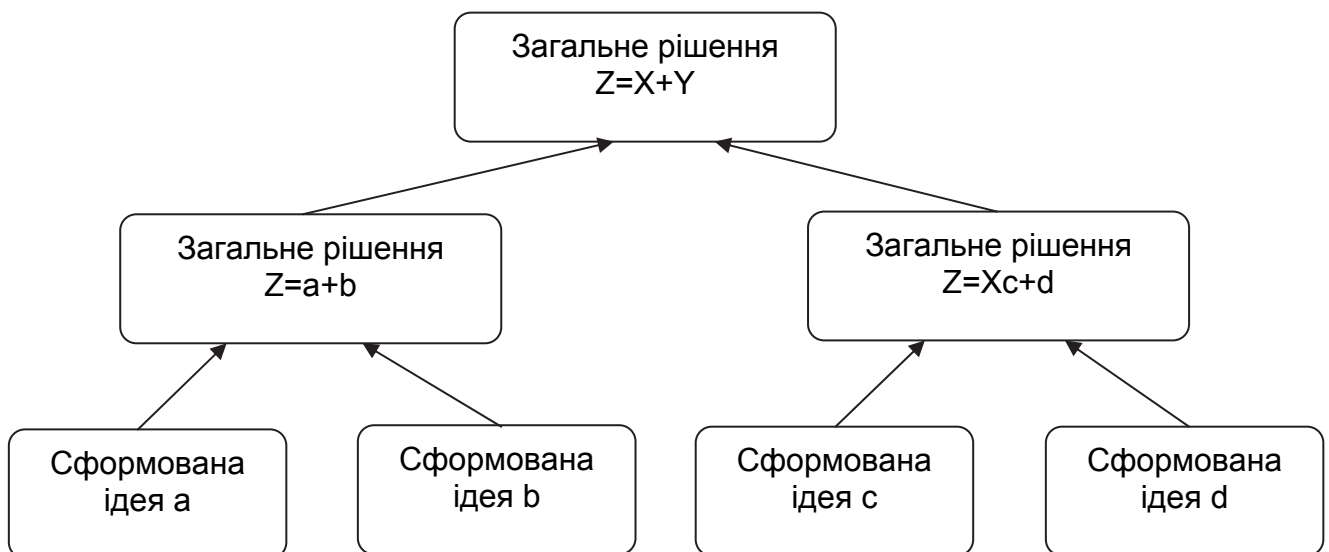


Рисунок 27 – Принцип побудови діаграми спорідненості

При зборі великої кількості даних про різні ідеї, думки та інтереси, пов'язаних з однією темою, діаграма спорідненості дає можливість розподілити інформацію за групами на основі природних зв'язків, що існують між ними. Цей інструмент призначено для стимуляції творчих здібностей та повного залучення учасників – членів команди. Він є більш ефективним у невеликих групах (5-9 осіб), в яких співробітники звикли працювати разом.

Діаграму спорідненості часто використовують для формування ідей, що виникли в ході «мозкового штурму».

4.2.1 Приблизний порядок побудови діаграми спорідненості

При побудові діаграми спорідненості рекомендується такий порядок організації роботи:

1. Визначіть предмет, тему або проблему, яка є основою для збору даних, в найширших поняттях, оскільки зайві подробиці можуть призвести до упередженості відповідей учасників роботи.

Незрозумілі висловлювання типу: «Які вимоги і очікування можуть бути у покупців (споживачів) відносно продукту?» – не тільки є нешкідливими, вони корисні, тому що можуть допомогти виявити нові шляхи підходу до проблеми.

2. Зберіть дані стосовно цієї проблеми, наприклад, щодо застосування «мозкового штурму». Кожне повідомлення членів команди слід реєструвати на окремій картці.

3. Змішайте картки і хаотично розподіліть їх на великому столі.

4. Згрупуйте взаємозв'язані картки таким чином:

- розсортуйте картки, які здаються взаємозв'язаними, за кількома групами;

- обмежте кількість груп (не більше 10) за умови, що одна картка не може відображати всю групу;

- виберіть з наявних карток або придумайте картку із заголовком, який відображає зміст кожної групи;

- помістіть таку картку із заголовком поверх карток однієї групи.

5. Перенесіть інформацію з карток на папір, розділивши отримані усні дані на групи.

4.2.2 Приклад застосування діаграми спорідненості

Діаграму спорідненості (рисунок 28) складено на основі прикладу з роботи телефонного автовідповідача [5]. Вимоги до телефонного автовідповідача розподілено за групами і наведено в таблиці 15.

Роботу щодо об'єднання хаотично розташованих карток в конкретні групи слід проводити в тиші, уникаючи непотрібних дискусій, наприклад, про подібність значення слів. Під час цього процесу є можливими розбіжності думок щодо взаємозв'язку різних даних, проте велика частина таких конфліктів зникне в подальшій роботі.



Рисунок 28 – Хаотичне розташування карток на столі

Таблиця 15 – Вимоги до телефонного автовідповідача, розподілені за групами

Проблема, тема, предмет	Група вимог	Ідеї, думки та інтереси, зібрані в процесі «мозкового штурму»
Які вимоги можуть ставити споживачі до автовідповідачів?	Вхідні повідомлення	Повідомлення змінної довжини
		Дата та час повідомлення
		Непідрахована кількість випадків «не турбувати»
	Конфіденційність	Секретний код доступу
	Інструкція	Розетка
		Зрозумілі інструкції
		Картка швидкої довідки
	Елементи управління	Чітке маркування
		Легке використання
		Можливість працювати з переносною телефонною трубкою
	Видалення повідомлень	Легке видалення повідомлень
		Видалення вибраних повідомлень

Робота вважається завершеною, коли всі дані будуть приведені до встановленого порядку, тобто зібрані в попередні групи споріднених даних, а всі згадані проблеми вирішені.

Спробуйте знайти спрямованість кожної групи даних, які резюмують спорідненість. Напишіть на окремій картці назву кожної групи і помістіть цю картку поверх групи. Можна вибрати одну картку з групи і встановити її основною для групи. Можливим є варіант, коли на цьому етапі формується нова спрямованість груп.

Усю процедуру можна повторити, поспробувавши сформувати групи з іншим спрямуванням. Побудову діаграми спорідненості закінчать, коли дані згрупують у достатній кількості провідних напрямків.

Діаграма спорідненості може бути наведена графічно у вигляді, який є аналогічним показаному на рисунку 27, або таблично, наприклад, так, як це подано в таблиці 15.

4.3 Діаграма зв'язків

Діаграма зв'язків [5] – це інструмент, що дозволяє виявити логічні зв'язки між основною ідеєю, проблемою і різними даними. Завданням цього інструмента є встановлення відповідності основних причин порушення процесу, виявлених, наприклад, за допомогою діаграми спорідненості, тим проблемам, які потребують вирішення. Ось чому існують деякі подібності між діаграмою зв'язків і діаграмою Ісікави.

Класифікація причин порушення процесу щодо їх важливості здійснюється з урахуванням наявних у компанії ресурсів, а також з урахуванням типових даних, що характеризують причини.

Використовувані в діаграмі зв'язків дані можуть бути отримані (згенеровані) із застосуванням діаграми спорідненості і «мозкового штурму».

Діаграма зв'язків є головним чином логічним інструментом, протиставленим діаграмі спорідненості (або доповнює діаграму спорідненості).

Приклади ситуацій, коли діаграма зв'язків може бути корисною:

1) тема (предмет, проблема) є настільки складною, що зв'язки між різними ідеями не можуть бути встановлені за допомогою звичайних міркувань;

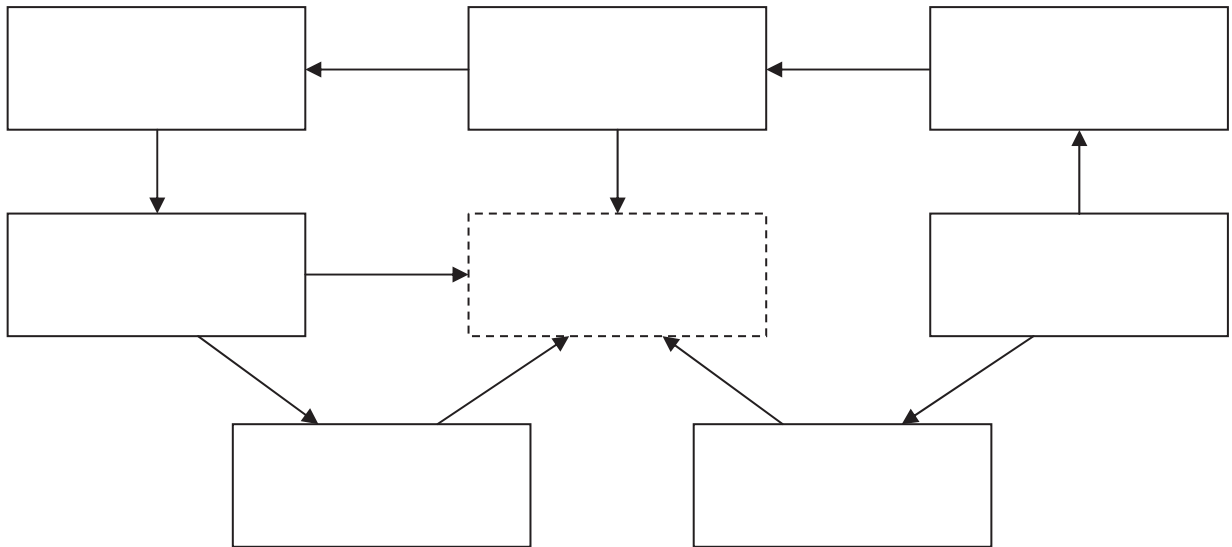
2) тимчасова послідовність, згідно з якою робляться кроки, є вирішальною;

3) є підозра, що проблема, порушена в процесі роботи, – це всього лише симптом більш фундаментальної і поки невиявленої проблеми.

Так само, як і у випадку діаграми спорідненості, робота над діаграмою зв'язків має проводитися у відповідних групах з поліпшення якості у кількості 5-9 осіб.

Досліджуваний предмет (результат, проблема) має бути заздалегідь

Принцип побудови діаграми зв'язків показано на рисунку 29.



—————→ – процес та результат; – основні причини;
 – кінцевий результат

- короткострокові цілі мають бути досягнуті раніше результатів всієї роботи, наприклад, на етапах планування, проектування продукції тощо.

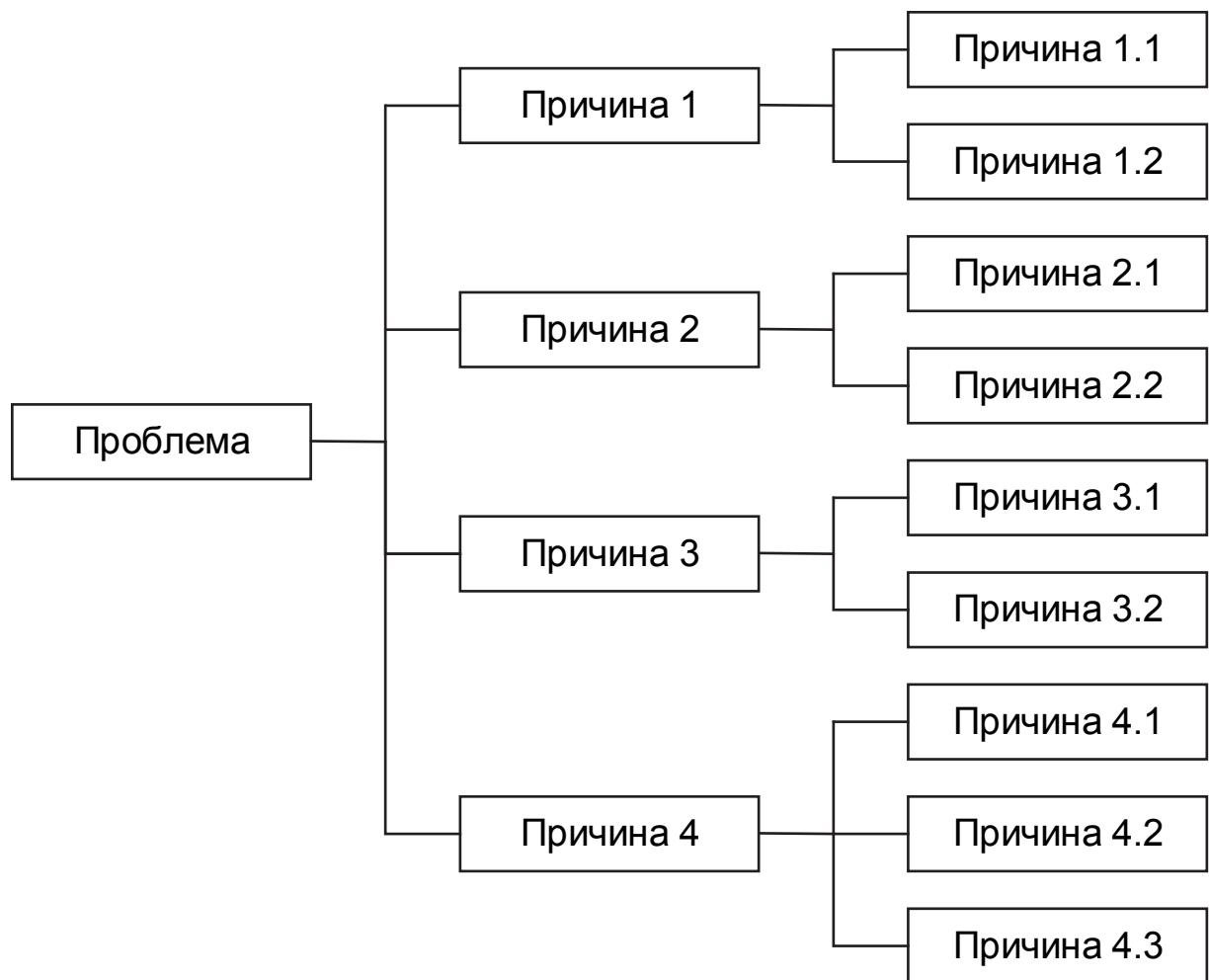


Рисунок 30 – Принцип побудови деревовидної діаграми

Приблизний порядок побудови деревовидної діаграми є таким:

- 1) зрозуміло й просто оголосіть досліджувану тему (проблему) членам команди;
- 2) визначіть основні категорії (причини) даної теми (проблеми), використайте «мозкову атаку» або картки з заголовками і діаграми спорідненості;
- 3) побудуйте деревоподібну діаграму, розташувавши найменування теми (проблеми) в рамках з лівого боку і зобразивши відгалуження основних категорій (причин) в поперечному напрямку зліва направо;
- 4) визначіть складові елементи і будь-які піделементи кожної основної категорії;
- 5) проаналізуйте діаграму, щоб переконатися у відсутності прогалин в логіці або послідовності етапів.

4.5 Матрична діаграма (таблиця якості)

Матрична діаграма [5] – це інструмент виявлення важливості різних

зв'язків. Такі матричні діаграми (таблиці якості) часто називають серцем «нових інструментів управління якістю» та QFD-методології «будинку якості».

Матричну діаграму використовують для формування та подання великої кількості даних (елементів), де потрібно графічно проілюструвати логічні зв'язки між різними елементами з одночасним відображенням важливості (сили) цих зв'язків.

Мета матричної діаграми – табличне подання логічних зв'язків і відносної важливості цих зв'язків між великою кількістю словесних (вербальних) описів, що мають відношення до такого:

- завдань (проблем) якості;
- причин проблем якості;
- вимог, встановлених і передбачуваних щодо потреб споживачів;
- характеристик і функцій продукції;
- характеристик і функцій процесів;
- характеристик і функцій виробничих операцій і обладнання.

Матрична діаграма відображає відповідність певних чинників (і явищ) з різною причиною їх появи до засобів усунення їх наслідків, а також показує ступінь (силу) залежності цих чинників від причин їх виникнення і / або від заходів щодо їх усунення.

Приклад матричної діаграми, яку також називають матрицею зв'язків, наведено в таблиці 16. У таблиці 16 використані такі позначення: А (а₁, а₂, ..., А₆) – основні причини проблеми, що подані у вигляді компонентів а₁, а₂, а₃, а₄, а₅, а₆; В (b₁, b₂, b₃, ..., b₇) – можливих засобів для усунення наслідків цих причин, зображених у вигляді елементів (компонентів) b₁, b₂, b₃, b₄, b₅, b₆, b₇.

Символ, який знаходиться на перетині рядка і стовпця матричної діаграми, вказує не тільки на наявність зв'язку між компонентами, а й на тісноту зв'язку.

Зв'язок між компонентами А і В часто зображують у вигляді символів, які характеризують ступінь (силу) тісноти цих зв'язків, наприклад, $\triangle$ – слабкий зв'язок (1); $\square$ – середній зв'язок (3), $\odot$ – сильний зв'язок (9). Кожному з використовуваних у таблиці 16 символів часто ставлять у відповідність певне значення вагового коефіцієнта (як, наприклад, зазначені вище в дужках значення 1, 3 і 9).

У деяких випадках виникає необхідність у більш детальному відображенні сили (тісноти) зв'язків. Тоді можна використовувати такі символи і вагові коефіцієнти:

- $\triangle$ – слабкий зв'язок (1);
- $\square$ – суттєвий зв'язок (3);
- $\bigcirc$ – середній зв'язок (9);
- $\odot$ – сильний зв'язок (16);
- $\bullet$ – дуже сильний зв'язок (25).

Таблиця 16 – Матриця зв'язків, складена при вивченні проблеми X

$\begin{matrix} \text{A} \\ \text{B} \end{matrix}$	b1	b2	b3	b4	b5	b6	b7
a1		Δ					
a2						$\odot$	
a3			$\odot$				
a4						$\circ$	
a5		$\circ$					
a6							$\odot$

Часто зв'язок між факторами може бути як позитивним, так і негативним. У цьому випадку можна рекомендувати для використання наведені нижче символи і вагові коефіцієнти:

- $\odot$ – сильний позитивний зв'язок (+9);
- $\smile$ – середній позитивний зв'язок (+3);
- Δ – слабкий позитивний зв'язок (+1);
- відсутність зв'язку (0);
- ∇ – слабкий негативний зв'язок (-1);
- $\frown$ – середній негативний зв'язок (-3);
- $\ominus$ – сильний негативний зв'язок (-9).

У практичній роботі застосовують різні за своєю компоновкою матриці зв'язків. Найбільшого поширення набули матричні діаграми у вигляді L-, T- і X-карт, показаних на рисунках 31 – 33.

Із цих рисунків видно, що L-, T-, X-карти отримали такі назви, тому що виділені більш жирними лініями рядки і стовпці нагадують:

- повернену на -90° латинську букву L;
- повернену на $+90^\circ$ букву T;
- повернену на $+45^\circ$ букву X.

Матричні діаграми у вигляді L-карти застосовують на практиці найбільш часто, особливо при розгортанні функції якості (QFD-методології, «будинку якості»). Цим пояснюється їх друге призначення – таблиці якості.

Під час практичної побудови матричної діаграми (в процесі роботи команди якості) рекомендується таке:

A \ B	b1	b2	b3	b4	b5	b6	b7
a1							
a2							
a3							
a4							
a5							
a6							

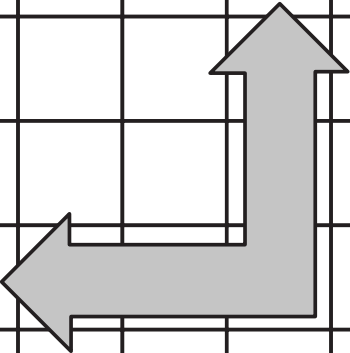


Рисунок 31 – Приклад L-карти

1) із застосуванням методу «мозкової атаки» («штурму») сформулювати перелік компонентів ($a_1, a_2, \dots, a_n$), ($b_1, b_2, \dots, b_k$), ($c_1, c_2, \dots, c_m$), що визначають причини А, заходи боротьби У з цими причинами і засоби С, необхідні для досягнення успіху;

2) скласти форму матричної діаграми (таблиці якості) у вигляді L-, Т- або Х-карт і підготувати (надрукувати) необхідну кількість примірників таких таблиць;

3) запропонувати кожному учасникові команди (гуртка, групи) самостійно заповнити підготовлену таблицю якості символами, що відображають тісний зв'язок між розглянутими компонентами;

4) порівняти отримані результати і в процесі обговорення дійти до загальної думки (консенсусу);

5) акуратно оформити матрицю зв'язків (таблицю якості) – результат роботи команди.

Не забудьте на цьому документі вказати відомості, які дозволять людині, навіть, яка не брала участі в роботі команди, повністю зрозуміти і однозначно сформулювати отриманий результат.

Для цього поруч із таблицею якості (матричною діаграмою) слід указати:

- назву, місце розташування (цеху, ділянки) та основні характеристики об'єкта дослідження;
- склад команди і її керівника;
- головні результати роботи;
- дати початку і закінчення роботи;
- будь-які інші відомості.

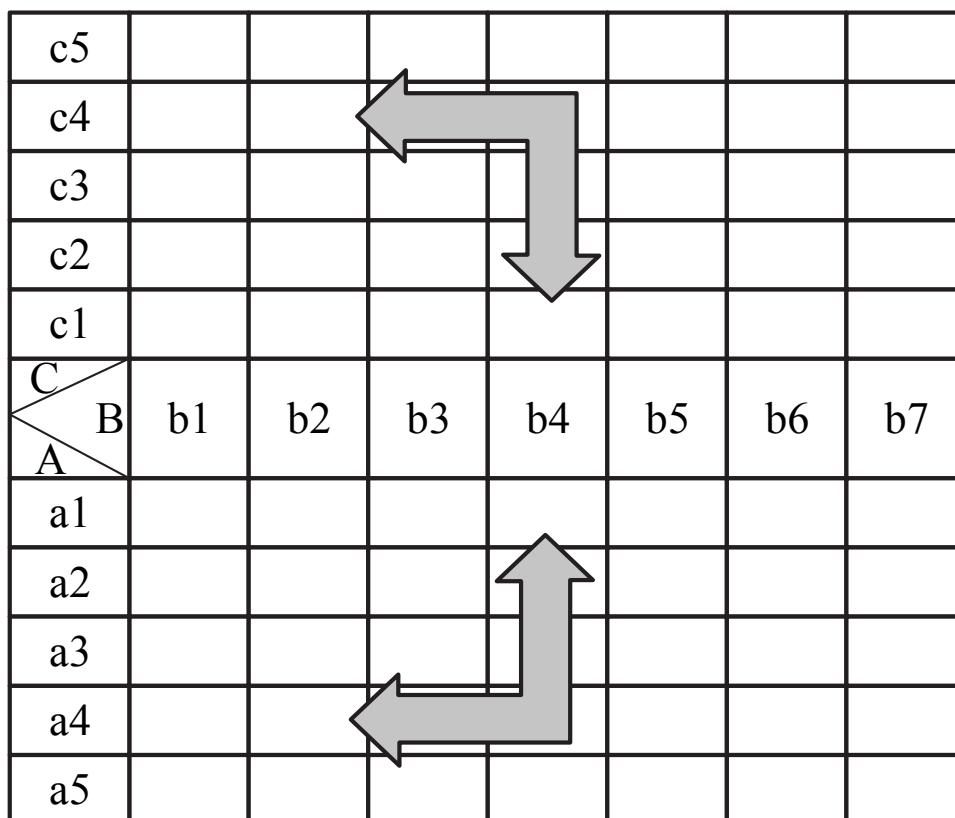


Рисунок 32 – Приклад Т-карти

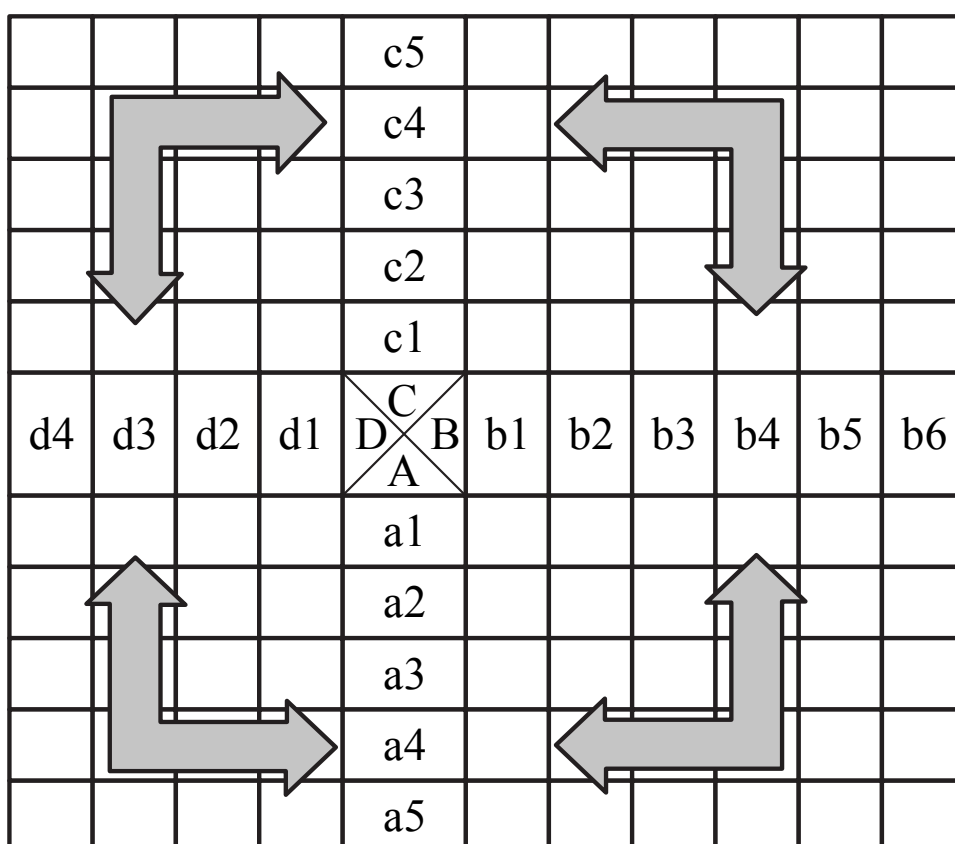


Рисунок 33 – Приклад Х-карти

4.6 Стрілочна діаграма

Стрілочна діаграма [5] – це інструмент, що дозволяє спланувати оптимальні терміни виконання всіх необхідних робіт для якнайшвидшого і успішного досягнення поставленої мети.

Застосування цього інструмента рекомендується після того, коли виявлено проблеми, які потребують вирішення, визначено необхідні заходи, засоби, терміни та етапи їх здійснення тощо. Після використання хоча б одного з розглянутих вище інструментів:

- діаграми спорідненості;
- діаграми зв'язків;
- деревовидної діаграми;
- матричної діаграми.

Стрілочною діаграмою зазвичай графічно відображають хід проведення роботи, а також порядок і терміни виконання різних етапів роботи. Одночасно цей інструмент забезпечує впевненість, що запланований час виконання всієї роботи і окремих її етапів є оптимальним при досягненні кінцевої мети.

Стрілочні діаграми широко застосовуються не тільки при плануванні робіт, але й для подальшого контролю за їх виконанням, зокрема, при проектуванні і розробленні, а також при контролі виробничої діяльності.

Стрілочні діаграми найчастіше подають у вигляді однієї з двох форм – діаграми Гантта (таблиця 17) і сітьового графіка (рисунок 34).

Таблиця 17 – Приклад діаграми Гантта для планування процесу і термінів зведення будинку впродовж 12 місяців

№ п.п.	Операції (підпроцеси)	Місяць											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	Фундамент	→											
2	Остов будівлі			→									
3	Спорудження даху						→						
4	Електропроводка							→					
5	Водопровід і опалювання							→	→				
6	Внутрішнє оздоблення стін							→	→				
7	Двері і вікна							→	→	→			
8	Зовнішнє оздоблення будинку									→			
9	Фарбування всередині будинку									→	→		
10	Остаточне внутрішнє оброблення										→	→	
11	Кінцева перевірка якості											→	→
12	Здача-приймання будинку												→

Сітьовий графік, який часто називають мережним графом, виконання робіт з будівництва будинку показано на рисунку 34. Цифри, які проставлені у вузлах графа, відповідають порядковому номеру робіт, наведених у таблиці 17. Цифри, розміщені під стрілками сітьового графа, позначають тривалість (кількість місяців) виконання конкретних видів робіт.

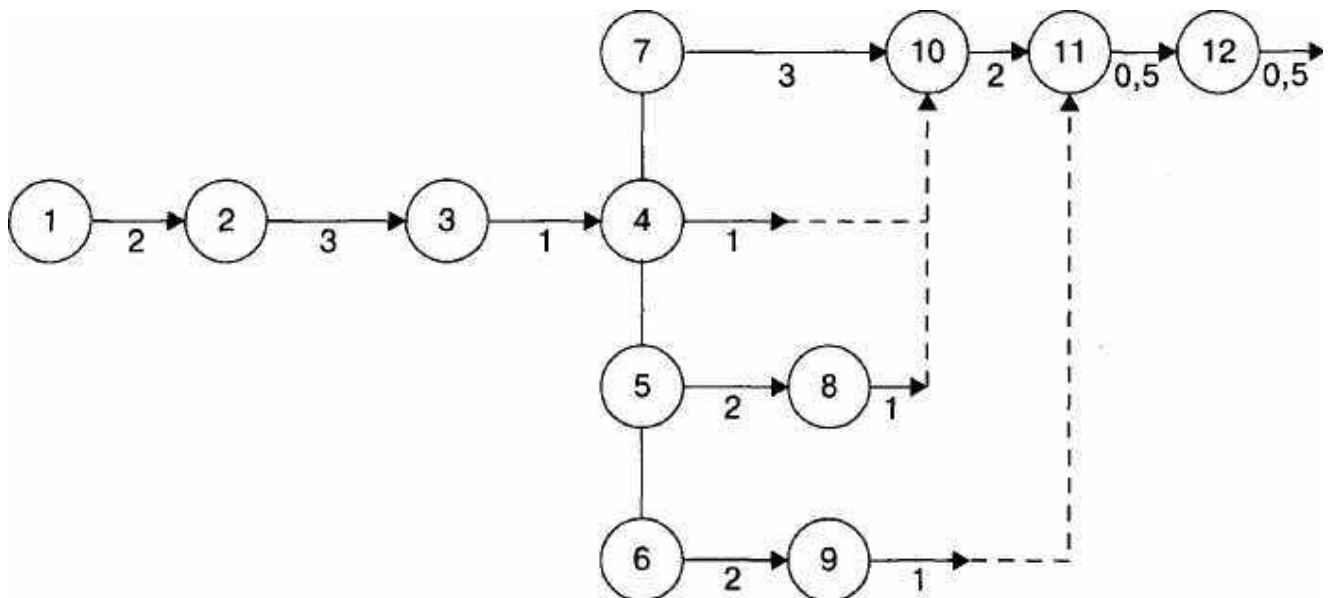


Рисунок 34 – Сітьовий граф будівництва будинку:
 ———— – робота або захід (довжина стрілки пропорційна часу);
 - - - - - – взаємозв'язок робіт без чіткого зазначення часу (показує, до початку якої роботи має бути завершена попередня робота).

4.7 Поточна діаграма (flow chart)

Цей інструмент [5] є графічним відображенням етапів процесу, зручним для дослідження можливостей поліпшення його протікання за рахунок накопичення докладних відомостей про це. Розглядаючи зв'язок різних етапів процесу один з одним, часто вдається виявляти потенційні джерела неприємностей.

Карти технологічного процесу можна застосовувати до всіх аспектів будь-якого процесу, починаючи з етапу маркетингових досліджень і закінчуючи етапом продажу, а потім монтажу та обслуговування продукції у споживача. Таку карту використовують або для опису існуючого процесу, або при розробленні нового.

При графічному поданні карти процесу застосовують символи, зображені на рисунку 35.

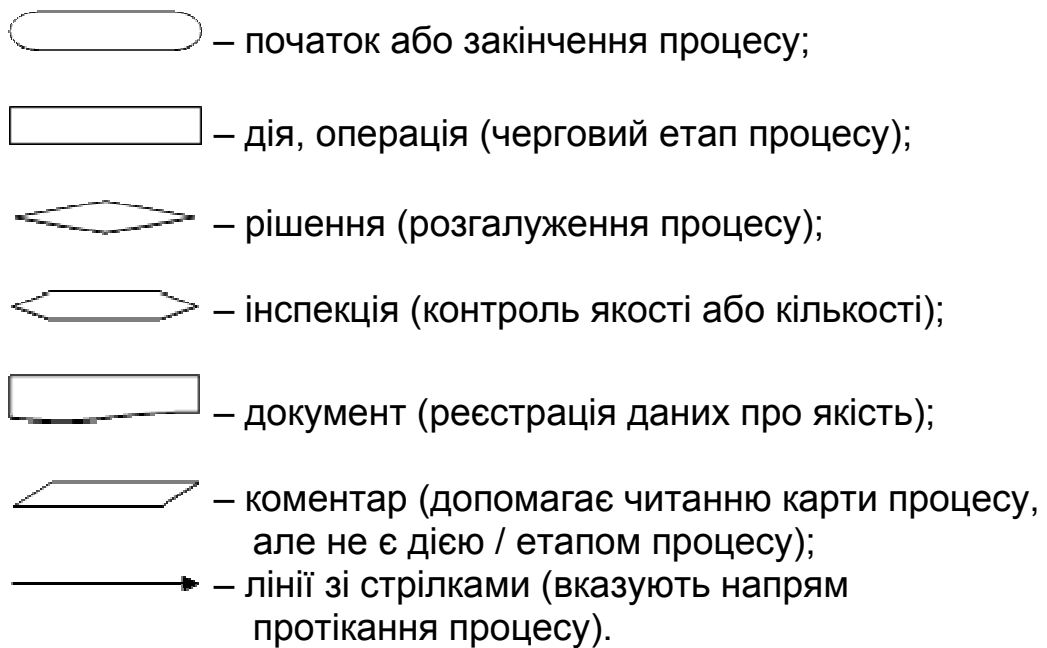


Рисунок 35 – Символи, що застосовують у потокових діаграмах процесів

При використанні потокової діаграми для опису існуючого процесу бажано дотримуватись таких рекомендацій:

- ідентифікувати початок і кінець процесу;
- спостерігати процес цілком від початку до кінця;
- визначати етапи процесу (дії, рішення про входи і виходи потоків, операції контролю, ведення записів і черговість їх виконання);
- побудувати чорновий варіант потокової діаграми;
- розглянути чорновий варіант із співробітниками, які беруть участь в здійсненні процесу;
- поліпшити потокову діаграму на основі цього розгляду;
- звірити діаграму з фактичними етапами процесу;
- відзначити на отриманій потоковій діаграмі назву і місце розташування процесу, дату складання діаграми, відомості про учасників роботи зі складання діаграми і будь-яку іншу інформацію, гідну уваги.

При розробленні нового процесу порядок складання поточної діаграми є аналогічним розглянутому вище. Однак члени команди з поліпшення якості при проектуванні нового процесу мають виконати таке:

- замість спостереження існуючого процесу подумки уявити собі етапи майбутнього процесу (дії, рішення, операції контролю, ведення записів тощо);
- після визначення етапів і побудови чорнового варіанта потокової діаграми розглянути цей чорновий варіант зі співробітниками, які, ймовірно, будуть брати участь у здійсненні процесу, а потім внести поліпшення на основі цього розгляду.

Отримана потокова діаграма існуючого або такого, що

розробляється, процесу є документом про фактичне (передбачуване) протікання процесу і може бути використана для пошуку та ідентифікації можливостей його поліпшення.

4.8 Діаграма процесу прийняття рішень

У роботі [5] розглянуто інструмент, названий «Діаграма процесу прийняття рішень» (Process Decision Program Chart – PDPC). Цей інструмент являє собою діаграму, дуже схожу на розглянуту вище потокову діаграму (карту технологічного процесу). PDPC відображає послідовність дій і рішень, необхідних для отримання бажаного результату, але може бути використаним для оцінювання термінів і доцільності проведення робіт із виконання програми, наприклад, відповідно до стрілочної діаграми Гантта як до їх початку, так і в процесі проведення з можливим корегуванням строків їх виконання.

На рисунку 36 показано приклад діаграми PDPC, яка визначає порядок дій і прийняття рішень від моменту отримання замовлення від споживача і до моменту передачі йому готової системи за мінімально можливий час.

Чітке дотримання черговості та виконання всіх етапів процесу дозволяє мінімізувати час, необхідний для здійснення процесу. Цей мінімальний час англійською мовою називають «lead time» і часто переводять як «мертвий час», маючи на увазі той час, протягом якого організація (виробник продукції) не тільки не отримує прибуток, а, навпаки, змушена витратити свої кошти, які будуть повернуті споживачем (покупцем) тільки після того, коли продукція буде їм придбана.

Практика показує, що при оформленні PDPC найбільш часто використовують тільки три символи (з показаних на рисунку 35), а саме:

- овал (для позначення початку і кінця процесу);
- прямокутник (для позначення дій і операцій);
- лінії зі стрілками (для вказівки напрямку протікання процесу).

Саме ці символи і використані на рисунку 36. За необхідності діаграма здійснення програми (див. рисунок 36) може бути зображена у вигляді поточної діаграми (карти технологічного процесу), виконаної з застосуванням повного набору символів (див. рисунок 35).

PDPC найбільш ефективно можуть бути застосовані в двох випадках:

- при розробленні нової програми досягнення необхідного результату (PDPC забезпечує можливість попереднього планування і відстеження послідовності дій ще при аналізі проблем, які можуть виникнути в ході виконання роботи);
- при прагненні уникнути можливих «катастроф» ще на етапі планування (PDPC допомагає запобігти «планування катастроф» внаслідок прогнозування небажаних наслідків, що дозволяє заздалегідь здійснити попереджувальні або коригувальні дії).

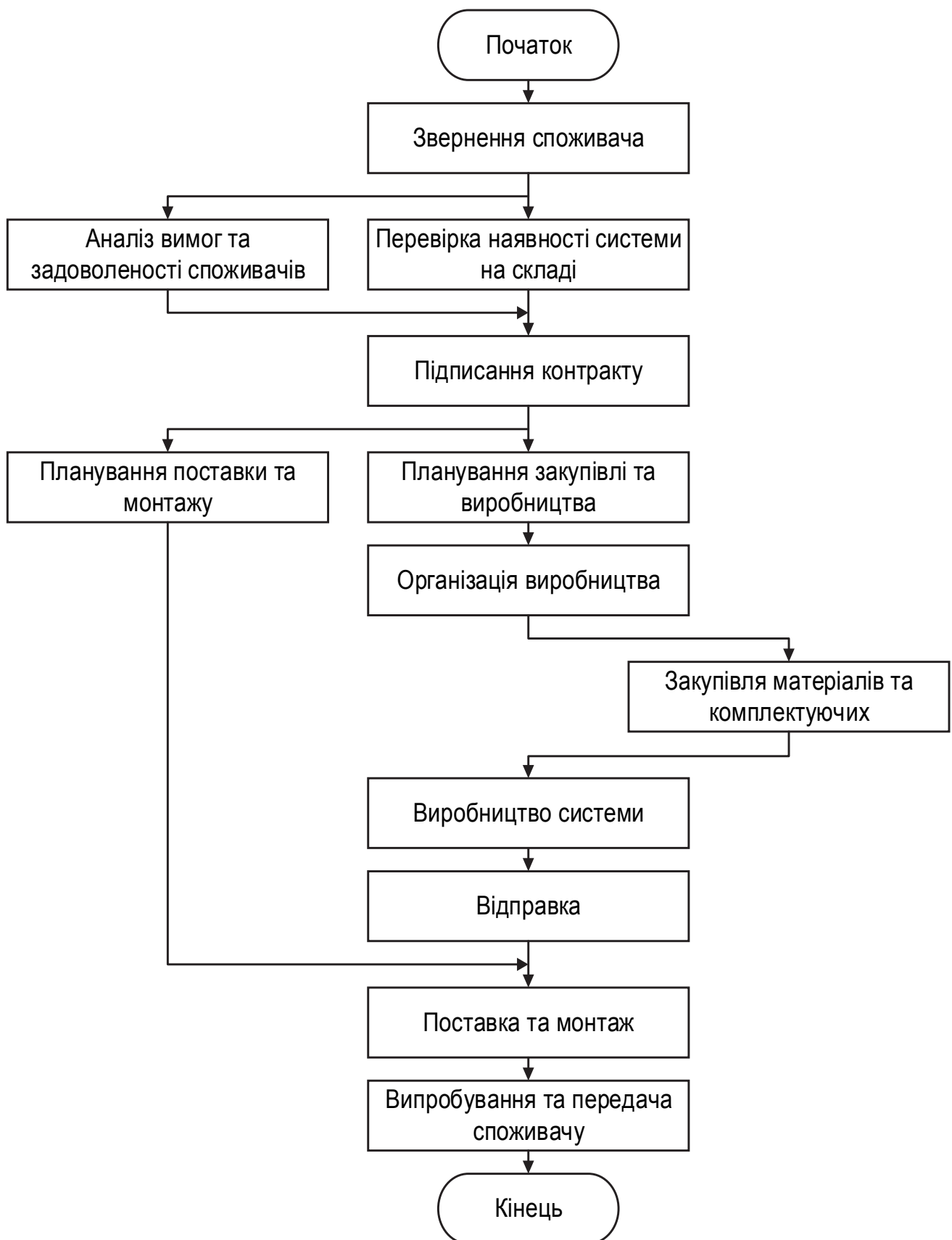


Рисунок 36 – Діаграма процесу здійснення програми робіт при виконанні замовлення споживача на виробництво, поставку та монтаж системи

Потокові діаграми процесів і PDPC широко використовуються при вирішенні складних проблем в області науково-дослідних робіт, при проектуванні і розробленні нових видів продукції, виконанні великих виробничих замовлень тощо.

4.9 Матриця пріоритетів

Матриця пріоритетів [5] – це інструмент для оброблення великої кількості числових даних, отриманих при побудові матричних діаграм (таблиць якості), з метою виявлення пріоритетних даних.

Приклад оформлення результатів аналізу «матричних даних», зібраних для оцінювання «ефективності» й «м'якості» дії різних беззаспокійливих засобів, показано на рисунку 37, з якого видно, що звичайний аспірин діє жорстко і неефективно. Найбільш ефективним є екседрин, але він одночасно й один з найбільш жорстких засобів. Тайленол найкращим чином поєднує ефективність і м'якість.

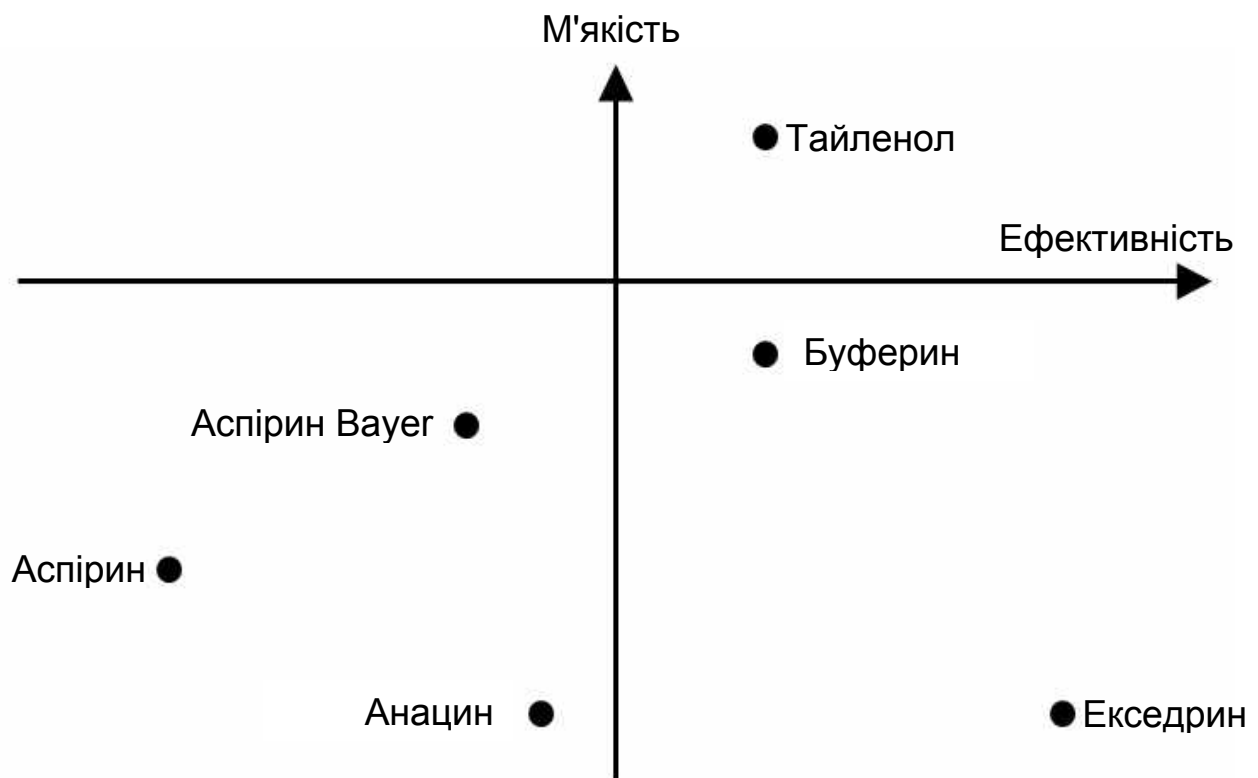


Рисунок 37 – Графічне зображення результатів аналізу матричних даних

Розглянутий інструмент потребує серйозних статистичних знань. Тому матриця пріоритетів (аналіз матричних даних) застосовується значно рідше, ніж розглянуті вище нові інструменти управління якістю.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

- 1 ДСТУ ISO 9001: 2015 (ISO 9001: 2015, IDT). Системи управління якістю. Вимоги. – Київ : Держспоживстандарт України, 2015. – 32 с.
- 2 ДСТУ ISO/TP 10017: 2005. Настанови щодо застосування статистичних методів згідно з ISO 9001: 2000 (ISO/TP 10017: 2003, IDT). – Київ : Держспоживстандарт України, 2005. – 23 с.
- 3 Статистические методы повышения качества: пер. с англ.; под ред. Х. Кумэ. – М. : Финансы и статистика, 1990. – 304 с.
- 4 «Семь инструментов качества» в японской экономике. – М. : Изд-во стандартов, 1990. – 88 с.
- 5 Управление качеством продукции. Инструменты и методы менеджмента качества : учеб. пособие / С. В. Пономарев, С. В. Мищенко, В. Я. Белобрагин и др. – М. : РИА «Стандарты и качество», 2005. – 248 с.
- 6 Всеобщее управление качеством: учеб./ О. П. Глудкин, Н. М. Горбунков, А. И. Гуров и др. – М. : Горячая линия – Телеком, 2001. – 600 с.

ЗМІСТ

ВСТУП	3
1 УСТАНОВЛЕННЯ ПОТЕНЦІЙНОЇ ПОТРЕБИ В СТАТИСТИЧНИХ МЕТОДАХ	4
2 ОПИС УСТАНОВЛЕНИХ СТАТИСТИЧНИХ МЕТОДІВ	4
2.1 Загальні положення	4
2.2 Описова статистика	5
2.3 Планування експериментів	7
2.4 Перевіряння гіпотез	10
2.5 Аналіз вимірювання	11
2.6 Аналіз можливості процесу	13
2.7 Регресійний аналіз	15
2.8 Аналіз надійності	17
2.9 Вибіркові методи	19
2.10 Імітаційне моделювання	21
2.11 Карті статистичного контролю процесу (SPC-карти)	22
2.12 Побудова довірчих меж	25
2.13 Аналіз часових рядів	27
3 МЕТОДИ СТАТИСТИЧНОГО КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ	29
3.1 Розшарування (стратифікація)	30
3.2 Графіки	30
3.3 Діаграма Парето	37
3.4 Причинно-наслідкова діаграма (діаграма Ісікави)	43
3.5 Гістограма	47
3.6 Діаграма розсіювання	58
3.7 Контрольні карти	67
4 НОВІ МЕТОДИ СТАТИСТИЧНОГО КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ	71
4.1 «Мозкова атака» («штурм, облога») і «атака розносом»	72
4.2 Діаграма спорідненості	74
4.3 Діаграма зв'язків	77
4.4 Деревоподібна діаграма	78
4.5 Матрична діаграма (таблиця якості)	80
4.6 Стрілочна діаграма	84
4.7 Поточна діаграма (flow chart)	85
4.8 Діаграма процесу прийняття рішень	87
4.9 Матриця пріоритетів	89
Бібліографічний список	90

Навчальне видання

**Чебикіна Тамара Валентинівна
Бондаренко Ганна Геннадіївна
Чернобай Ніна Валеріївна
Сіроклин Віталій Павлович**

СТАТИСТИЧНІ МЕТОДИ УПРАВЛІННЯ ЯКІСТЮ

Редактор В. М. Коваль

Зв. план, 2018

Підписано до друку 02.11.2018

Формат 60x84 1/16. Папір офс. № 2. Офс. друк

Ум. друк. арк. 5,1. Обл.-вид. арк. 5,75. Наклад 50 пр.

Замовлення 336. Ціна вільна

Видавець і виготовлювач

Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського

«Харківський авіаційний інститут»

61070, Харків-70, вул. Чкалова, 17

<http://www.khai.edu>

Видавничий центр «ХАІ»

61070, Харків-70, вул. Чкалова, 17

izdat@khai.edu

Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи
до Державного реєстру видавців, виготовлювачів і розповсюджувачів
видавничої продукції сер. ДК № 391 від 30.03.2001