

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ “ЛЬВІВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА”

На правах рукопису

МОРОЗ ЛЕСЯ ВАСИЛІВНА

УДК 658.5:338.3

**НОРМАТИВНО-МЕТОДИЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ
СТАТИСТИЧНОГО КОНТРОЛЮ
ВИРОБНИЧИХ ПРОЦЕСІВ ТА ЯКОСТІ ПРОДУКЦІЇ**

05.01.02 – *стандартизація, сертифікація та метрологічне
забезпечення*

Дисертація на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Науковий керівник –
доктор технічних наук,
професор Р. І. Байцар

Ідентичність всіх примірників дисертації

ЗАСВІДЧУЮ:

Учений секретар спеціалізованої
вченої ради

/Г. З. Бубела/

Львів – 2016

ВСТУП	5
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ МЕТОДІВ УПРАВЛІННЯ ВИРОБНИЧИМИ ПРОЦЕСАМИ ТА ЯКІСТЮ ПРОДУКЦІЇ	
1.1. Якість продукції та статистичний контроль з урахуванням вимог міжнародних стандартів	11
1.1.1. Міжнародні стандарти ISO серії 9000.....	13
1.1.2. Стандарти автомобільної промисловості.....	18
1.1.3. Стандарти медичних виробів.....	21
1.2. Управління якістю виробничих процесів в умовах сучасного виробництва.....	23
1.3. Статистичне управління технологічними процесами	32
1.4. Нормативно-методичне забезпечення статистичних методів.....	39
Висновки до розділу 1.....	41
РОЗДІЛ 2. СТРУКТУРНИЙ АНАЛІЗ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СТАТИСТИЧНОГО КОНТРОЛЮ ВИРОБНИЧИХ ПРОЦЕСІВ ТА ЯКОСТІ ПРОДУКЦІЇ	
2.1. Класифікація методів статистичного аналізу	45
2.2. Статистичні оцінки характеристик якості виробничих процесів.....	51
2.3. Аналіз стану виробничих процесів управління якістю.....	56
2.4. Закономірності розподілу дійсних значень показників якості.....	62
2.5. Часові розподіли показників якості виробничого процесу.....	65
2.6. Сучасні методики статистичного управління і оцінка якості продукції, процесів та послуг.....	71
Висновки до розділу 2.....	81
РОЗДІЛ 3. МЕТОД ДОСЛІДЖЕННЯ ПРИДАТНОСТІ ВИРОБНИЧИХ ПРОЦЕСІВ ДЛЯ ВИМІРНИХ ХАРАКТЕРИСТИК	
3.1. Математичне моделювання в забезпеченні контролю якості процесів.....	82
3.2. Ідентифікація розподілу показників якості виробничого процесу.....	84
3.3. Принципи дослідження придатності виробничого процесу та його граничні значення.....	95
3.3.1. Визначення придатності процесу для визначеної моделі розподілу.....	95

3.3.2. Визначення придатності процесу для невизначеної моделі розподілу...	98
3.3.3. Визначення параметрів дослідження придатності процесу.....	100
Висновки до розділу 3.....	104
РОЗДІЛ 4. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРИДАТНОСТІ ВИРОБНИЧОГО ПРОЦЕСУ ТА ЯКОСТІ ПРОДУКЦІЇ	
4.1. Вибір показників якості процесу.....	105
4.2. Застосування теорії обмежень для визначення ключових недоліків виробничого процесу.....	108
4.3. Реалізація методу дослідження придатності процесів системи управління якістю на підприємстві.....	115
4.3.1. Методика проведення експериментальних досліджень.....	115
4.3.2. Матеріали для дослідження.....	115
4.3.3. Технічне забезпечення виробничого процесу.....	119
4.4. Проведення експериментальних досліджень.....	122
4.4.1. Підготовка проведення дослідження та опрацювання результатів...	122
4.5. Ідентифікація моделей розподілу показників якості механічної обробки.....	124
4.5.1. Ефективність статистичного контролю параметрів моделей розподілу показників якості.....	125
4.6. Застосування інформаційної технології для дослідження придатності процесу.....	133
Висновки до розділу 4.....	145
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ДО ДИСЕРТАЦІЙНОЇ РОБОТИ.....	146
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	148
ДОДАТОК А.....	164
ДОДАТОК Б.....	196
ДОДАТОК В.....	198

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

ISO – міжнародна організація зі стандартизації;

СУЯ – система управління якістю;

ДСТУ – національний стандарт, затверджений Держспоживстандартом України;

ДСТУ ISO – національний стандарт, через який впроваджено стандарт ISO;

VDA – німецький стандарт виробників автомобільної галузі;

EAQF – французький стандарт виробників автомобільної галузі;

AVSQ – італійський стандарт виробників автомобільної галузі;

QS-9000 – американський стандарт виробників автомобільної галузі;

ДСТУ ISO/TS – національний стандарт, через який впроваджено технічні умови ISO;

ДСТУ ISO/TR – національний стандарт, через який впроваджено технічний звіт ISO;

DIN (Deutsches Institut für Normung) – Німецький інститут зі стандартизації;

FMEA (Failure Mode and Effects Analysis) – Аналіз видів й наслідків потенційних дефектів;

SPC (Statistical Process Control) – методи статистичного управління процесами;

PPAP (Production Part Approval Process) – дозвіл на виробництво автомобільних компонентів;

MSA (Measurement System Analysis) – аналіз вимірних систем;

APQP (Advanced Product Quality Planning) – управління якістю під час планування, розроблення і підготовки виробництва автомобільних компонентів;

ТУ – технічні умови;

ДПП – дослідження придатності процесу;

НМД – нижня межа допуску

ВМД – верхня межа допуску

ТОС – методологія “Теорія обмежень”;

PPM (parts per million) – “кількість дефектів на мільйон”;

ВСТУП

Актуальність теми. Євроінтеграція України до світового співтовариства встановлює нові вимоги до діяльності вітчизняних підприємств із забезпечення належної якості продукції. Гармонізація та запровадження в Україні міжнародних стандартів ISO серії 9000 спрямована на побудову системи управління якістю як сукупності процесів і управління ними, які, своєю чергою, забезпечать належний рівень якості продукції.

Сьогодні якість продукції розглядається як одна з важливих умов розвитку економіки, від якої залежать темпи промислового зростання країни, ефективність використання трудових ресурсів, успіхи зовнішньої торгівлі та її національний престиж.

Прагнучи вийти на світові ринки з жорсткою конкурентною боротьбою, на вітчизняних підприємствах необхідно активніше впроваджувати системи управління якістю, які б відповідали визнаним міжнародним вимогам та стимулювали постійне покращення продукції.

Необхідною умовою досягнення успіху підприємства щодо виробництва якісної, а відтак, конкурентоспроможної продукції, є створення та налагодження виробничої системи на всіх його рівнях. Якість технологічного обладнання, приладів, засобів контролю безпосередньо впливає на якість продукції, що виробляється. Проте найважливішим завданням будь-якого підприємства є забезпечити налагоджену систему виробничих процесів, адже саме в цьому є перспектива наукового обґрунтування отримання якісної готової продукції.

Ефективне управління якістю виробничими процесами неможливе без використання статистичних методів, здатних своєчасно, оперативно та об'єктивно відображати зміни в процесі. Згідно з даними оцінювання спеціалістів, статистичні методи використовують як основний аналітичний інструмент у 70 % виробничих процесів з контролю якості та на всіх рівнях виробництва.

Сьогодні ще не розроблено чіткої методології щодо статистичних методів управління якістю. Забезпечення високої якості продукції, яка виробляється в умовах автоматизованого виробництва потребує значного оновлення

нормативного та методичного забезпечення щодо статистичних методів управління якістю. Актуальним завданням є постійне вдосконалення виробничих процесів, з використанням ефективних методів, до яких, у першу чергу, належать статистичні методи. Оскільки можливих причин виникнення дефектів під час виробництва продукції може бути нескінченна множина, потрібно вчасно виявити виробничі процеси, які необхідно покращити. Необхідно проаналізувати моделі розподілу показників якості продукції під час їх опрацювання на численних прикладах і розробити методичку їхньої ідентифікації. Використовуючи закономірності розподілу дійсних показників якості, важливо статистично дослідити придатний виробничий процес чи ні.

Так, сьогодні існує актуальне науково-прикладне завдання, що полягає у необхідності створення наукового, нормативного та методичного забезпечення статистичного контролю виробничих процесів та підтримки високої якості продукції, що передбачає постійний вплив на умови її виготовлення, вирішення якого дасть змогу створювати високоякісну конкурентоспроможну продукцію з мінімальними витратами.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційну роботу виконано відповідно до планів наукової роботи кафедри метрології, стандартизації та сертифікації Національного університету “Львівська політехніка”, а також у межах науково-дослідних робіт кафедри: 0107U001110 “Формування теоретичних і нормативних засад, розробка нетрадиційних методик та засобів оцінювання рівня якості продукції”, 0110U001097 “Розроблення та дослідження нових методів і засобів експрес-контролю характеристик якості та безпечності продукції (речовин)”.

Мета і завдання дослідження. Метою дисертаційної роботи є вдосконалення нормативно-методичного забезпечення статистичного контролю виробничих процесів та якості продукції.

– проаналізувати вимоги стандартів ISO серії 9000 та іншу науково-технічну інформацію щодо обґрунтування підходів до управління якістю продукції;

- проаналізувати статистичні методи з контролю виробничих процесів і якості продукції та визначити їх особливості;
- проаналізувати стан виробничих процесів, які найбільше потребують застосування статистичних методів контролю та з'ясувати можливості застосування нових методологій в управлінні виробничими процесами;
- запропонувати і обґрунтувати математичну модель, за допомогою якої можна прогнозувати розвиток і поведінку процесів у часі;
- встановити взаємозв'язок між часовими розподілами та законами розподілів отриманих значень показників якості та удосконалити систему ідентифікації моделей розподілу показників якості;
- запропонувати алгоритм структурної послідовності для організаційно-методичного та технічного забезпечення статистичного контролю виробничих процесів та якості продукції;
- виявити потенційні джерела впливу і побудувати причинно-наслідкову діаграму для визначення виробничих процесів, які необхідно покращити;
- провести експериментальні і дослідно-виробничі випробування з перевірки отриманих теоретичних результатів і одержати довідково-нормативні дані для нормативно-методичного забезпечення статистичного контролю виробничих процесів та якості продукції;
- запропонувати спосіб дослідження індексів придатності процесів за результатами спостережень нормованих показників якості.

Об'єктом дослідження є виробничі процеси та якість продукції.

Предметом дослідження є методи статистичного контролю якості, моделі розподілу отриманих значень показників якості виробничих процесів.

Методи дослідження. Завдання, поставлені в роботі, вирішували за допомогою теоретичних та експериментальних методів досліджень.

Під час теоретичних досліджень використовувалися методи статистичного аналізу, фундаментальні принципи теорії систем, теорії ймовірностей і математичної статистики, теорії порядкових та непараметричних статистик, сучасні положення теорії управління, положення загальної теорії якості.

Експериментальні дослідження виконувалися за допомогою наявних методів статистичного опрацювання даних, аналізу результатів моніторингу показників якості процесів, математичних методів опрацювання результатів вимірювань, за допомогою сучасної вимірювальної апаратури і метрологічного забезпечення.

Наукова новизна одержаних результатів.

1. Розвинуто поєднання методологій теорії обмежень, ощадливого виробництва та шести сигм, яка полягає в доцільності їхнього комплексного застосування для покращення якості виготовлення продукції і контролю виробничих процесів.
2. Запропоновано математичну модель виробничого процесу з урахуванням інтегральної функції розподілу, яка описує ймовірності випадкової функції незалежних величин в часі, що дає можливість прогнозувати поведінку процесу.
3. Розвинуто метод статистичного дослідження придатності процесів, який враховує закони розподілу показників якості відмінних від нормального, що дає можливість вибрати відповідний алгоритм встановлення індексів їх придатності.
4. Запропоновано структуру інтелектуальної системи для визначення індексів придатності процесів, впровадження якої дає можливість ефективно контролювати їхнє стабільне функціонування.

Практичне значення одержаних результатів.

1. Ідентифікована модель розподілу показників якості дозволяє раціонально вибрати методи їх визначення для конкретного розподілу їхніх значень.
2. З використанням методології теорії обмежень проведено аналіз можливостей виникнення дефектів під час виробництва автомобільних чохлів та розроблено їх узагальнену причинно-наслідкову діаграму, що дозволяє виявити виробничі процеси, які необхідно покращити (ТзОВ “Бадер Україна”).
3. На основі проведеного аналізу з виявлення “слабких місць” виробничих процесів та за розробленою методикою дослідження придатності процесів проведено статистичні дослідження виробничих процесів та виявлено моделі розподілу їх показників якості.

4. За розробленою інтелектуальною системою для дослідження індексів придатності процесів можна оцінити їхню якість.
5. Впроваджено методик у дослідження придатності процесів на спільному українсько-німецькому підприємстві ТЗОВ “Бадер Україна”.

Основні положення та результати роботи застосовують у навчальному процесі на кафедрі метрології, стандартизації та сертифікації Національного університету “Львівська політехніка” для підготовки фахівців за спеціалізаціями “Якість, стандартизація та сертифікація” і “Метрологічне забезпечення випробувань та якості продукції” при вивченні дисципліни “Управління якістю”.

Особистий внесок здобувача. Основні наукові результати автор виконала самостійно. Теоретичні та експериментальні дослідження, розроблення алгоритмів і методик, які подано на захист, автор також виконала особисто. У друкованих працях, опублікованих у співавторстві, дисертантці належать: аналіз вимог стандартів медичних виробів і їх наукове обґрунтування до управління якістю [35,38], поєднання трьох методологій як універсальний підхід для безперервного покращення якості виготовлення продукції і контролю виробничих процесів [145,147], аналіз статистичних методів та визначення їх особливостей [43], структурна схема концептуальної моделі інформаційної технології для дослідження придатності процесу [130]. Робота [132] – одноосібна.

Апробація результатів дисертації. Основні наукові результати та положення роботи представлено та обговорено на 10 міжнародних, всеукраїнських науково-технічних та науково-практичних конференціях, а саме на: VI Міжнародній науково-практичній конференції “Спецпроект: аналіз наукових досліджень” (м. Дніпропетровськ, 2011 р.); V Міжнародній науково-технічній конференції “Сучасні досягнення в науці і техніці” (м. Нетанія, Ізраїль, 2011 р.); IX Міжнародній науково-технічній конференції “Методи і засоби вимірювань фізичних величин” (Львів, 2012); Міжнародній науково-технічній конференції “Термографія і термометрія, метрологічне забезпечення вимірювань та випробувань” (Система-2013) (м. Львів, 2013); III Всеукраїнській науково-практичній конференції молодих вчених, аспірантів та студентів за напрямом

“Проблеми розвитку та впровадження систем управління, стандартизації, метрології в регіонах України” (Донецьк, 2013); Міжнародній науково-практичній конференції “Управління якістю в освіті та промисловості: досвід, проблеми та перспективи” (Львів, 2013); I Міжнародній науково-практичній конференції “Формування і оцінювання асортименту, властивостей та якості непродовольчих товарів”, (Львів, 2013); Міжнародній науково-практичній конференції з проблем якості, стандартизації та метрологічного забезпечення (м. Херсон, 2013); 11th International Symposium on Measurement and Quality Control (ISMQC 2013) (Cracow–Kielce, Poland, 2013); II Міжнародній науково-практичній конференції “Управління якістю в освіті та промисловості: досвід, проблеми та перспективи” (Львів, 2015).

Публікації. Основні результати дисертаційної роботи опубліковано у 18 друкованих наукових працях, з яких 7 статей (4 статті у наукових фахових виданнях України, 3 – в наукових періодичних виданнях інших держав та наукометричних виданнях (зокрема одна стаття в базі даних Scopus)), 11 – тези доповідей у збірниках міжнародних та національних науково-технічних конференцій (зокрема дві в базі даних Scopus).

Структура та обсяг роботи. Дисертація складається зі вступу, 4 розділів, висновків, списку використаної літератури, додатків. Загальний обсяг дисертації становить 147 сторінок основного тексту, 54 рисунків, 13 таблиць та список використаних джерел зі 160 найменувань.

РОЗДІЛ I

АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ МЕТОДІВ УПРАВЛІННЯ ВИРОБНИЧИМИ ПРОЦЕСАМИ ТА ЯКІСТЮ ПРОДУКЦІЇ

Рівень розвитку підприємства та величина його прибутку залежить, передовсім, від якості продукції. Якість відображає сукупність властивостей продукції, що зумовлюють міру її придатності задовольняти потреби людини відповідно до свого призначення. Тому для кожного підприємства принципово важливо постійно підвищувати та удосконалювати рівень якості. В умовах розвитку міжнародної торгівлі та споріднених їй видів діяльності, успіх окремих підприємств, галузей економіки на зовнішньому та внутрішньому ринках повністю залежить від того, на скільки їхня продукція або послуги відповідають стандартам якості.

Проблеми якості є універсальними і характерними для усіх без винятку країн світу, вони набувають нової, особливої актуальності.

У сучасних умовах в Україні якість продукції та послуг, їхня безпека відіграють усе більшу роль в економіці країни. Саме тому вихід із кризового стану виробництва полягає в якнайшвидшому освоєнні конкурентноздатної продукції, чіткого дотримання технічних параметрів виробництва, впровадження ефективних систем управління якістю виробничих процесів через застосування правильно підібраних статистичних методів.

1.1. Якість продукції та статистичний контроль з урахуванням вимог міжнародних стандартів

Під якістю продукції розуміють сукупність властивостей, що зумовлюють її здатність задовольняти певні потреби споживачів відповідно до свого призначення [1]. Кожна продукція має свої конкретні властивості, які відображають її придатність і здатність задовольняти потреби людини.

У ринкових умовах споживач продукції самостійно вирішує, яку продукцію або товар придбати. Тому на споживчий попит на товар впливають значною

мірою якісні показники того чи іншого виробу (зовнішній вигляд, оформлення, гарантії на товар), реклама, можливе його обслуговування тощо.

Для підтримання високої якості та конкурентоспроможності готової продукції на підприємстві необхідно постійно впроваджувати новітні технології та одночасно контролювати якість продукції під час виробництва. Виробничий процес має супроводжуватись певними методиками контролю, класифікацією видів дефектів та відповідними заходами з їх усунення.

Наукові трактування якості є досить різнобічними, проте об'єднаними певною загальною філософією дефініції. Так, враховуючи суб'єктивні позиції, Ф. Кросбі [2] визначає якість як відповідність вимогам. У. Демінг вважає [3], що управління якістю не означає досягнення досконалості, а отримання такого рівня якості, на який розраховує ринок. Д. Джуран [4] визначає якість як відповідність призначенню. А. Фегенбаум [5] називає якість сукупністю складних ринкових, технічних та експлуатаційних характеристик виробу, завдяки яким останній відповідає очікуванням споживача. Д. Харрінгтон визначає якість як задоволення або перевищення вимог споживача за прийнятною для нього ціною [6–8].

Основні положення теоретичного обґрунтування системи управління якістю відображено у роботах українських науковців: Р. В. Бичківського, О. І. Момота, В. М. Новікова, Т. З. Бубели, М. М. Микийчука, П. Г. Столярчука, Р. М. Тріща, Г. М. Тріщ, С. С. Зініної, А. В. Гунькало [9–18] та зарубіжних вчених: Ф. Кросбі, У. Шухарта, В. Демінга, К. Ісікави, Г. Тагуті, Д. Джурана, А. Фейгенбаума, Д. Харрінгтона, Т. Бокса [2–8, 14, 44, 89].

Під якістю продукції розуміють також сукупність властивостей та характеристик продукту, котрі надають йому здатність задовольняти потреби. Таке визначення наведено в стандарті ISO і є найпоширенішим у країнах з розвинутою економікою. У 1986 р. у межах ISO сформульовано терміни щодо якості для всіх галузей промисловості, а у 1994 р. ця термінологія була уточнена. За цим останнім стандартизованим підходом є визначення терміна “якість” – сукупність характеристик об'єкта, що належить до його здатності задовольняти встановлені та передбачувані вимоги [19].

На сучасному етапі якість продукції – це поняття, яке характеризує параметричні, експлуатаційні, споживчі, технологічні, дизайнерські властивості виробу, рівень його стандартизації та уніфікації, надійність і довговічність.

Основним результатом розвитку світового підприємництва у 80-х рр. ХХ ст. стало домінування конкуренції не цін, а якості: 80 % покупців приймали рішення про покупку, звертаючи увагу передовсім на якість продукції. Тому конкурентоспроможною могла стати лише продукція, яка мала за інших рівних умов і меншої виробничої собівартості вищу якість.

На сучасному етапі розвитку виробництва забезпечення належної якості продукції полягає в управлінні виробничими процесами, ґрунтуючись на тому, що їх ефективне функціонування забезпечить необхідний рівень характеристик продукції. У результаті сформувався новий підхід в управлінні якістю, яка за основу ставить не “управління якістю”, а “якість управління” процесом чи системи загалом.

Якість управління виробничим процесом залежить від правильного вибору методики спостереження за вихідними параметрами результатів вимірювань. Саме тут важливим є застосування правильно дібраних статистичних методів, вибір яких не вказується в міжнародних стандартах ISO серії 9000, але підтверджується необхідність їх застосування в СУЯ процесів.

1.1.1. Міжнародні стандарти ISO серії 9000

Впровадження та функціонування сучасних систем управління якістю процесів, які ґрунтуються на засадах, перш за все, міжнародних стандартів ISO серії 9000, набуває все більшого поширення як один з визначальних чинників забезпечення високого рівня якості та конкурентоспроможності в сферах виробництва та їхньому економічному покращенні.

Стандарти ISO серії 9000, що їх розробила Міжнародна організація із стандартизації, є найпоширенішими стандартами систем управління якістю (СУЯ). Сімейство стандартів є посібником з оформлення системи управління якістю, що узгоджено в міжнародному масштабі. У них описується ефективна система якості, в якій усі процеси та дії контролюються та документуються.

Основними стандартами ISO серії 9000 є [1, 20]:

– ISO 9000:2015 Quality management systems – Fundamentals and vocabulary (ДСТУ ISO 9000:2015 Системи управління якістю. Основні положення та словник термінів). Стандарт є введенням до трьох інших ключових стандартів серії 9000. Він відіграє суттєву роль у розумінні і застосуванні усієї серії стандартів СУЯ, оскільки визначає основні принципи, яких потрібно дотримуватись організаціям, та визначає основні терміни, які використовуються у системі стандартів з управління якості [1].

– ISO 9001:2015 Quality management systems – Requirements (ДСТУ ISO 9001:2015 Системи управління якістю. Вимоги). ISO 9001 містить вимоги, які буде перевіряти уповноважений сертифікаційний орган під час сертифікації СУЯ. Забезпечення цих вимог є мінімально необхідною умовою для підтвердження можливості організації задовольняти вимоги споживачів. Вимоги стандарту можна застосувати до будь-якої організації та спрямувати на створення ефективної СУЯ [20].

– ISO 9004:2009 Managing for the sustained success of an organization – A quality management approach (ДСТУ ISO 9004:2012 Управління задля досягнення сталого успіху організації. Підхід на основі управління якістю). ISO 9004 дає рекомендації з постійного поліпшення системи управління якістю так, щоб були задоволені потреби й очікування всіх зацікавлених сторін, враховуючи споживачів, персонал організації, власників й інспекторів, постачальників і партнерів. Стандарт спрямований на підвищення СУЯ. Вимоги стандарту ISO 9004:2009 не перевіряють органи зі сертифікації, оскільки ініціатива з впровадження цього стандарту повинна виходити зі самої організації [22].

– ISO 19011:2011 Guidelines for auditing management systems (ДСТУ ISO 19011:2012 Настанови щодо здійснення аудитів систем управління). Стандарт ISO 19011 становить настанову з основ аудиту, управління програмами аудиту систем управління якістю та навколишнім середовищем, а також кваліфікаційні вимоги до аудиторів систем управління якістю та навколишнім середовищем. Цей

стандарт призначений для аудиторів і організацій, що проводять внутрішні та зовнішні аудити [26].

Структура, яка відображає взаємозв'язок між основними стандартами ISO серії 9000, відображена на рис. 1.1.

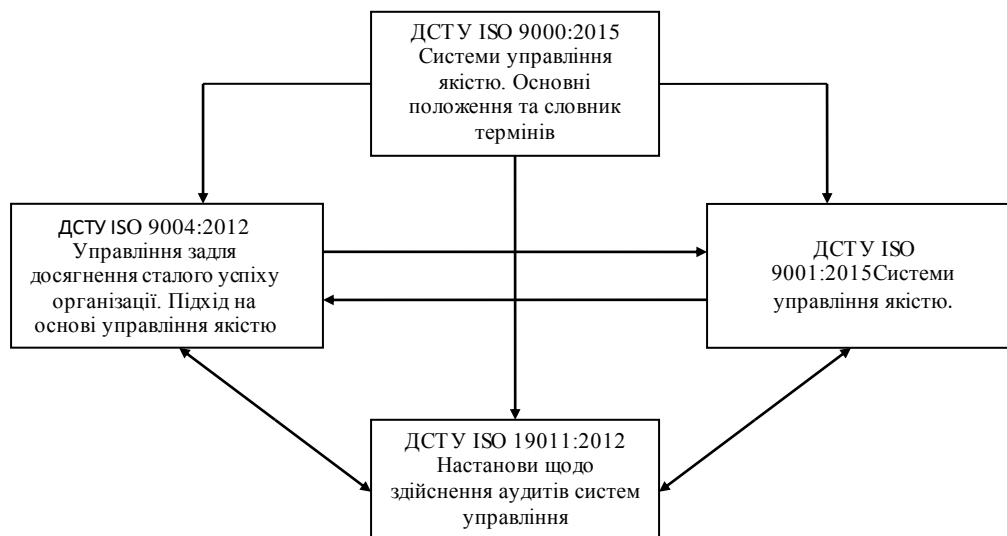


Рисунок 1.1 – Структура основних стандартів ISO серії 9000

В основу зазначених стандартів ISO серії 9000 покладено такі вісім принципів управління якістю:

- 1) орієнтація на споживача. В основі цього принципу – аналіз ринку і потреб споживачів. Результати аналізу слугують механізмом, що запускає виробництво;
- 2) лідерство – ключовий принцип системи менеджменту якості, без якого впровадження систем управління якістю є нереальним, як і будь-якого іншого проекту;
- 3) залучення персоналу на практиці означає систематичну можливість кожного працівника брати участь у прийнятті та реалізації управлінських рішень;
- 4) процесний підхід. Усі види діяльності в організації розглянуто як процеси;
- 5) системний підхід. Цей принцип припускає представлення організації як системи взаємодіючих динамічних процесів;

б) безперервне покращення. За систематичного покращення процесів поступово з'являється можливість зниження втрат і відповідно ціни продукції за рахунок зростаючого “зазору” між собівартістю і ціною;

7) підхід до прийняття рішень на основі фактів. Основа цього підходу – вимірювання, їх робимо для одержання даних про процеси, одночасне нагромадження інформації, яка поступово перетворюється на знання;

8) взаємовигідні відносини з постачальниками. Цей принцип націлений на створення нових відносин з постачальниками. У разі постійних відносин з постачальниками можна говорити про управління ланцюжками доданих цінностей для споживачів [19].

Як бачимо, одним з цих принципів є “процесний підхід”, згідно з яким усі види діяльності на підприємстві розглянуто як процеси. Під процесом розуміється логічно підпорядкована діяльність, яка за допомогою ресурсів перетворює входи на виходи.

Концептуальною основою стандарту ISO 9000 є те, що організація створює, забезпечує та покращує якість продукції або послуг за допомогою взаємопов'язаних процесів, які потрібно постійно аналізувати та удосконалювати.

Як і всі міжнародні стандарти, стандарт системи управління якістю ISO 9001 проходить періодичну перевірку на відповідність наявних вимог зацікавлених сторін. Результатом такої перевірки є перегляд положень чинного стандарту і вихід нової версії.

Нове опублікування 5-ї версії стандарту ISO 9001:2015 відбулося 25 вересня 2015 року [22], відповідно українська версія вийшла 01.07.2016 року під назвою ДСТУ ISO 9001:2015 і є ідентичною міжнародній версії.

Нову структуру стандарту ДСТУ ISO 9001:2015 [24] відображено в схематичному представленні процесного підходу. Схема процесного підходу відображає взаємозв'язок усіх розділів стандарту (рис. 1.2).

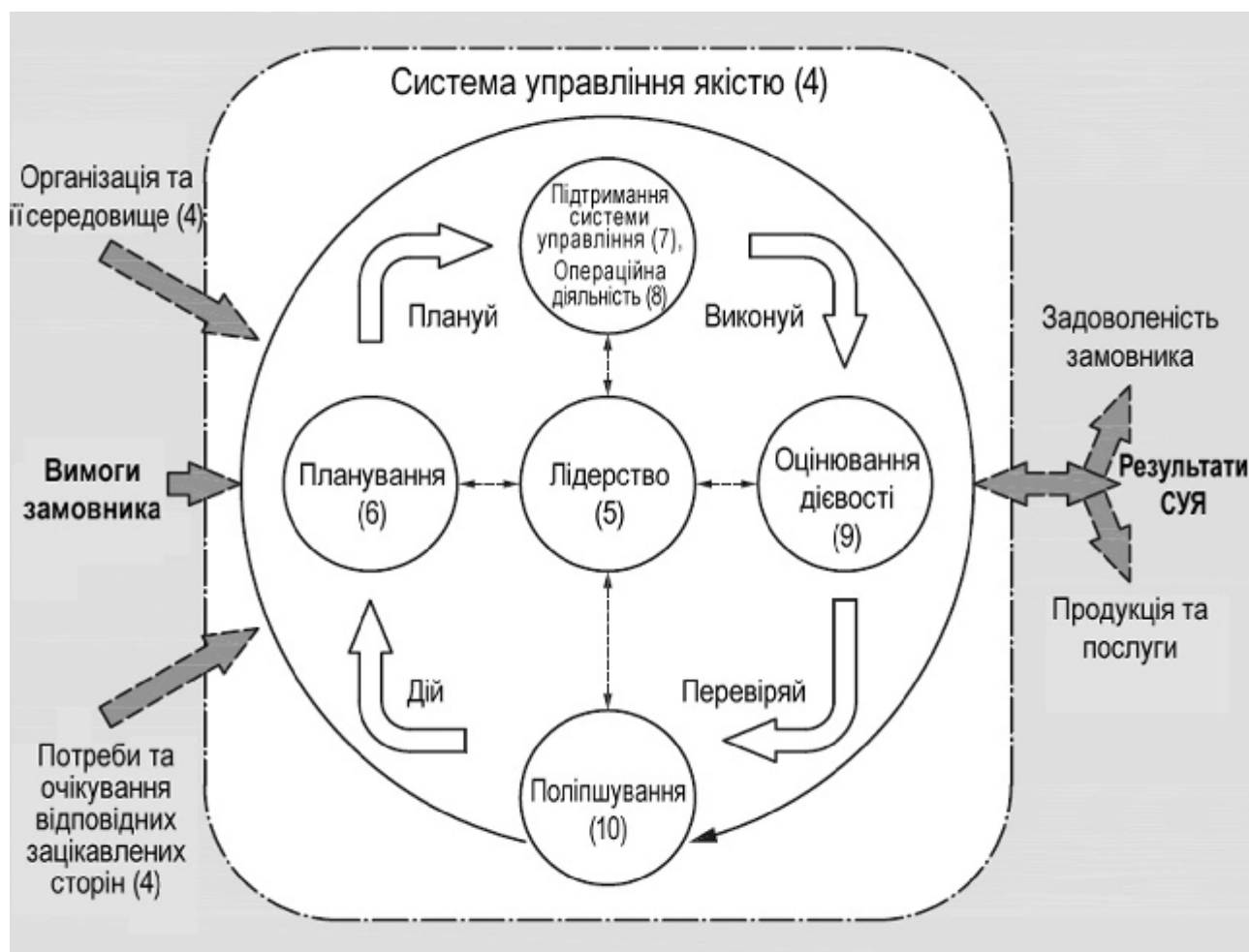


Рисунок 1.2 – Схема процесного підходу нового стандарту
ДСТУ ISO 9001:2015

Деякі пункти змінили свою нумерацію, наприклад, пункт 8.2.2 “Внутрішній аудит” змінено на пункт 9.2, а пункт 5.6 “Аналіз з боку керівництва” змінено на 9.3. Переважно розділи: 5 “Лідерство”, 6 “Планування”, 7 “Підтримка”, 8 “Операційна діяльність”, 9 “Оцінка діяльності” та 10 “Покращення” відображають вимоги розділів 4–8 чинної редакції стандарту ISO 9001: 2009 зі значними змінами і доповненнями.

Стосовно термінології, замість терміну “продукт” запропоновано термін “продукція та послуги”. Терміни документована процедура і записи замінені на термін “документована інформація”, яка охоплює ці два терміни. Для відповідності принципам управління якістю запропоновано використання терміна “покращення” замість “постійного покращення”. Розділ 4 “Система управління якістю” перетворився на пункт 4.4. Додано пункт 4.4.2 “Процесний підхід” у

розширеному варіанті, який як повторює підпункти процесного підходу версії 2009 року, так і вводить нові підпункти з термінами “ризик” і “показники результативності”. Тобто, тепер під час планування діяльності та впровадження змін організації необхідно оцінювати ризики та можливості для досягнення цілей та постійного покращення.

Відсутній розділ, який встановлює вимоги до керівництва за якістю. Вказаний пункт взагалі не згадується в новому стандарті. Пояснення і опис галузі застосування системи є в новому розділі 4.3 “Визначення області дії системи управління якістю”. Вказано, що галузь застосування повинна бути представлена як “документована інформація”.

Так, нова версія стандарту ДСТУ ISO 9001:2015 вносить деякі зміни в розуміння процесного підходу, застосування якого є невідкладною умовою для досягнення безперервного розвитку організації. Важливою зміною в новій версії стандарту ISO 9001:2015 є вимоги щодо оцінки ризиків, а також підхід, який ґрунтується на управлінні ризиками під час проектування та розроблення системи управління. Більшість змін у новому стандарті спрямовано на покращення розуміння вимог і зниження можливості неправильної інтерпретації [23, 24].

Як вже було згадано, процесний підхід є універсальним і може бути застосований під час впровадження будь-якої системи управління. Але стандарти ISO серії 9000 не містять вимог, специфічних для інших систем управління [25]. Проаналізуємо деякі з них, вибравши, наприклад, вимоги щодо автомобільної та медичної галузі.

1.1.2. Стандарти автомобільної промисловості

Розроблення галузевих стандартів автомобільної промисловості спричинене необхідністю врахування таких специфічних властивостей автомобільної галузі [28]:

- тенденція до зменшення термінів розроблення і початок виробництва нової продукції;

- складність конструкції автомобіля, що містить великий обсяг номенклатури комплектувальних деталей;
- форма організації відносин між постачальниками і споживачами;
- підвищені вимоги до якості, безпеки, надійності і безвідмовності продукції;
- висока конкуренція на ринку і як наслідок жорсткі вимоги щодо зниження собівартості продукції.

Внаслідок вищевказаних причин найбільші автовиробники Європи та США сформували національні галузеві вимоги до СУЯ постачальників автокомплектуювальних, до яких належать:

- VDA 6.1 – німецький стандарт, який містить вимоги щодо проведення аудиту системи управління якістю виробників автомобільної промисловості;
- EAQF (французький) і AVSQ (італійський) стандарти;
- QS-9000 – стандарти американської “великої трійки” (General Motors, Ford і Chrysler).

У 1999 році з урахуванням досвіду наявних національних стандартів прийнято міжнародні технічні вимоги ISO/TS 16949, а в 2008 році для забезпечення сумісності з ISO 9001:2008 видано нову версію цих технічних вимог. В Україні міжнародний стандарт автомобільної галузі опублікований під назвою ДСТУ ISO/TS 16949:2009 “Системи управління якістю. Специфічні вимоги до виробників автотранспортних засобів та запасних частин і приладдя до них щодо застосування ISO 9001:2009” (ISO/TS 16949:2008, IDT) у 2009 році.

За основу ДСТУ ISO/TS 16949:2009 взято міжнародний стандарт ISO 9001, розширений додатковими вимогами, серед яких [28, 29]:

- вимоги щодо розроблення бізнес-плану і внесення в нього цілей у галузі якості;
- документування плану заходів у разі виникнення непередбачуваних обставин;
- задоволення вимог споживача стосовно управління ключовими параметрами продукції/процесів;

- управління виробничими інструментальними засобами;
- обов’язкове застосування ідентифікації та відстежуваності продукції;
- управління складськими запасами;
- навчання всього персоналу основним статистичним методам і термінам.

Характерною особливістю стандарту ДСТУ ISO/TS 16949:2009 є встановлення обов’язкових для виконання інструментів управління якістю, в перелік яких входять [29, 30]:

- метод FMEA (Failure Mode and Effects Analysis) – “Аналіз видів й наслідків потенційних дефектів” (часто його називають “Аналіз потенційних невідповідностей і їхніх наслідків”);
- методи статистичного управління процесами (SPC);
- дозвіл на виробництво автомобільних компонентів (PPAP);
- аналіз вимірних і контрольних систем (MSA);
- управління якістю під час планування, розроблення і підготовки виробництва автомобільних компонентів (APQP).

Для дисертаційного дослідження, серед перелічених методів, найцікавішими є методи, спрямовані на ефективне управління виробничими процесами, тобто FMEA и SPC.

Метод FMEA (Аналіз видів і наслідків потенційних дефектів) є одним із найпоширеніших і найефективніших методів управління якістю. Вказаний метод спрямований на запобігання виникненню дефектів або зменшення негативних наслідків від них. Це виконуються за рахунок передбачення групою експертної комісії можливих дефектів і супроводжуючих наслідків.

Розрізняють декілька видів FMEA-аналізу: FMEA – конструкції, процесу і системи [33, 34]. Незважаючи на те, що об’єкти аналізу різні, загальні підходи до проведення аналізу є однаковими:

- ідентифікація можливих дефектів;
- визначення можливих наслідків кожного потенційного дефекту, оцінка важливості дефекту (Н);

- визначення причини кожного потенційного дефекту й оцінка ймовірності виникнення кожної причини (П);
- оцінка можливості виявлення потенційного дефекту (В);
- кількісна оцінка ризику невідповідності через пріоритетне число ризику (ПЧР) = $H \times \Pi \times B$;
- планування корегувальних / попереджувальних дій;
- оцінка проведених корегованих попереджувальних дій.

Перевагою FMEA є порівняна простота цього методу, використання міжфункціональної команди, до складу якого входять експерти різних підрозділів та зовнішні експерти (зокрема представники виробника клієнта), а також висока ефективність отриманих результатів. Проте використання винятково експертної оцінки має недоліки: суб'єктивізм думок експертів та обмеженість їхньої критики.

1.1.3. Стандарти медичних виробів

Підвищені вимоги споживачів до якості, великий вибір та вартість медичних виробів іноземного виробництва змушують шукати нових способів покращення якості вітчизняного виробника, який може успішно конкурувати з виробами іноземних фірм [35].

Сьогодні особливо актуальними постають питання забезпечення відповідності медичних виробів безпеці та ефективності їхньої дії з метою збереження здоров'я та захисту пацієнтів і лікарів. Медичні вироби зараховують до потенційно небезпечних, тому є сферою законодавчого регулювання [36, 37].

У сфері медичних виробів чинними є такі стандарти:

- ДСТУ 3627:2005 “Вироби медичні. Розроблення і ставлення на виробництво. Основні положення”;
- ДСТУ 4388:2005 “Вироби медичні. Класифікація залежно від потенційного ризику застосування. Загальні вимоги”;
- ДСТУ 4659-1:2006 “Клінічні дослідження медичних виробів для людей. Частина 1. Загальні вимоги (ISO 14155-1:2003)”;

– ДСТУ 4659-2:2006 “Клінічні дослідження медичних виробів для людей. Частина 2. Плани клінічного дослідження (ISO 14155-2:2003)”;

– ДСТУ ISO 13485:2005 “Вироби медичні. Системи управління якістю”.

Особливістю медичних приладів, порівняно з іншими виробами, є складність виготовлення та необхідність проведення додаткових випробувань (доклінічних, клінічних) для забезпечення насамперед безпеки їх використання [38].

Аналіз вимог міжнародного стандарту ДСТУ ISO 13485:2005 “Вироби медичні. Системи управління якістю” підтверджує необхідність СУЯ процесів [39]:

- п. 4.1 встановити, задокументувати, проводити та підтримувати систему управління якістю і підтримувати її результативність відповідно до вимог стандарту;
- п. 4.1, *e* здійснювати моніторинг, вимірювання та аналізування процесів;
- п.4.1, *f* вживати заходів, необхідних для досягнення запланованих результатів та підтримування результативності процесів;
- п. 5.6.2 вхідні дані аналізування з боку керівництва повинні містити інформацію щодо функціонування процесів і відповідності продукції;
- п. 5.6.3 вихідні дані аналізування з боку керівництва повинні містити будь-які рішення та дії, пов’язані з поліпшенням, необхідним для підтримування результативності системи управління якістю та її процесів;
- п. 8.1 визначення застосовних методів, зокрема статистичних методів, а також сфери їхнього застосування;
- п. 8.4 організація повинна встановити задокументовані методики для визначання, збирання та аналізування відповідних даних, щоб продемонструвати придатність та результативність системи управління якістю, а також оцінити можливість поліпшення результативності системи управління якістю;

- п. 8.4, с характеристики і тенденції відхилень процесів та продукції, зокрема можливості запобіжних дій.

Так, вимоги, що перелічені в стандарті, потребують від підприємств зосередження уваги не на якості продукції, а на якості функціонування процесів, і, як результат такого управління, підприємство отримує продукцію, відповідну вимогам споживача.

Недоліком стандарту медичної галузі ДСТУ ISO 13485:2005 порівняно з галузевим стандартом автомобільної галузі ДСТУ ISO/TS 16949:2009 є відсутність інформації про встановлення обов'язкових для виконання інструментів управління якістю.

У результаті проведеного аналізу вимог міжнародних стандартів, можемо стверджувати, що беззаперечною перевагою стандартів ISO серії 9000 є їхня “універсальність” для підприємств будь-якого типу і масштабу. Як показує досвід, стандарт ISO 9001 є основою для специфічних галузевих стандартів, формуючи тим самим їхню структуру.

Недоліками стандартів ISO серії 9000 є розмитість формулювання стандартів внаслідок їх “універсальності”, а також те, що підтвердження вимог стандартів ISO серії 9000 не забезпечує лідерства організації на ринку. Це є наслідком доволі низького рівня цих вимог, оскільки для опублікування міжнародних стандартів необхідно ухвалення 75 % комітетів-членів, які беруть участь у голосуванні. Комітети можуть представляти як країни, що розвиваються (Ангола, Зімбабве), так і економічно розвинуті країни (США, Японія), тому стандарти є певною мірою компромісом між цими двома різними за розвитком і економікою типами країн.

1.2. Управління якістю виробничих процесів в умовах сучасного виробництва

Статистичні методи – важливий інструмент підвищення якості в будь-якому сучасному виробництві, тим більше у серійному виробництві. Усі провідні компанії застосовують статистичні методи практично на всіх стадіях життєвого

циклу, як для аналізу та контролю якості виробничих процесів і виробленої продукції, так і для розробок нових технологій і прийняття правильних управлінських рішень.

Управління якістю охоплює частину функцій управління, спрямованих на досягнення цілей у сфері якості. Цілі в сфері якості передбачають створення на підприємстві умов, у яких можливо контролювати, регулювати якість, забезпечувати відповідність прийнятим вимогам і гнучко змінювати встановлені вимоги.

Управління якістю – аспекти виконання функції управління, які визначають політику, цілі та відповідальність у сфері якості, а також здійснюють їх за допомогою таких засобів, як планування якості, оперативне управління якістю, забезпечення якості та поліпшення якості в межах системи якості [40].

До складу поняття “управління якістю” входять такі аспекти:

1. Загальні:

- планування на рівні вищого керівництва;
- систематизація і документальне оформлення діяльності у вигляді методик, протоколів, інструкцій тощо;
- залучення всіх виробничих ресурсів і всього персоналу;
- широке використання стандартизації, зокрема і міжнародних стандартів, в управлінні якістю;
- регулярні перевірки, вивчення зворотного зв'язку і коректування дій;
- безперервне навчання персоналу прийомів і методів управління якістю.

2. Технічні:

- використання у виробництві останніх світових стандартів або стандартів, що перевищують рівень світових;
- контроль продукції на кожному етапі під час виробництва з використанням необхідних засобів контролю;
- діагностика обладнання;

- забезпечення керованості всіма процесами і простежування кожної одиниці продукції;
- регулярний перегляд технологій.

3. Економічні:

- управління економікою якості;
- планування капіталовкладень у якість (витрати на функціонування системи якості, навчання персоналу, вивчення ринку, контроль, діагностику, переоснащення виробництва, залучення незалежних експертів, особисті премії персоналу та ін.).

4. Управлінські:

- визначення політики у сфері якості та конкретний розподіл обов'язків і повноважень кожного працівника;
- розроблення формалізованої методології управління якістю з використанням різних методів і прийомів управління якістю та контроль виконання методик;
- планування необхідного кошторису капіталовкладень в якість у річному бюджетному плані;
- орієнтація виробництва на використання останніх науково-технічних розробок і вимог;
- контроль за виконанням норм екології та безпеки праці.

Фірмі, до складу якої входить до десяти осіб, для досягнення цілей у сфері якості досить просто забезпечити координацію дій усього персоналу, чіткість виконання всіх процедур та процесів. Фірмі з великою кількістю працівників необхідно формалізоване визначення обов'язків і відповідальності щодо якості на рівні працівників, підрозділів і підприємства загалом. Такий фірмі необхідно передбачити механізм гнучкого зміни обов'язків і відповідальності. Для ефективного управління процесами забезпечення і підвищення якості продукції та продуктивності праці у світовій практиці добре зарекомендували себе системи управління якістю. Ці системи належать до розряду інтегрованих механізмів

управління програмно-цільового типу, що їх застосовують для управління складними, динамічними об'єктами. За допомогою таких механізмів організація управління якістю орієнтується на мінімізацію всіх видів втрат і на узгоджене функціонування всіх елементів виробничо-збутової системи.

Під час побудови системи управління якістю переслідується мета організаційного об'єднання всіх управлінських функцій, від реалізації яких залежать забезпечення та підвищення якості. У межах структур такого типу координуються всі роботи, пов'язані з дослідженнями, розробками й освоєнням нової продукції, підвищенням продуктивності праці, ефективності виробництва та якості. Такі структурні схеми дають змогу створювати організаційні умови для об'єднання зусиль усього персоналу, спрямованих на підвищення економічних і виробничих показників діяльності всієї компанії.

Виробничий процес – це сукупність взаємопов'язаних ресурсів і діяльності від моменту отримання матеріальних ресурсів до відправлення готової продукції споживачеві [41].

Виробничі процеси, які розробляють, мають бути прогресивними, відповідати сучасному рівню досягнень науки і техніки, забезпечувати підвищення продуктивності праці, якості продукції, скорочення трудових і матеріальних витрат на їхню реалізацію, зменшення шкідливих впливів на людину та довкілля.

Враховуючи ці завдання, основними процесами системи якості на цій стадії є:

- аналіз наявного рівня організації робіт із забезпечення якості продукції у виробництві та його відповідності вимогам сертифікації продукції та систем якості;
- формування комплексу заходів, спрямованих на вдосконалення рівня організації робіт із забезпечення якості продукції;
- вибір, розроблення та впровадження прогресивних технологічних процесів та операцій;

- розроблення з подальшим впровадженням прогресивних засобів і процесів контролю та випробувань, встановлення статусу продукції за результатами контролю та випробувань;
- планування та затвердження виробничих процесів;
- оснащення виробництва необхідним обладнанням, технологічним оснащенням та інструментом, контрольно-вимірювальними приладами, засобами механізації та автоматизації, оргтехнікою, а також обслуговувальним обладнанням;
- регулювання параметрів процесів;
- забезпечення виконання вимог документації на всі елементи виробничо-технологічного циклу – персонал, документацію, обладнання, оснащення, інструмент, системи енергопостачання, виробниче середовище, сировину, матеріали, напівфабрикати, комплектувальні деталі, складальні одиниці;
- встановлення та підтримка методів ідентифікації продукції;
- аналіз технічного рівня робіт із забезпечення якості у виробництві;
- підготовка технічної документації та доведення її до відома персоналу;
- перевірка підготовленості та знань персоналу;
- перевірка підготовленості виробництва за такими параметрами: вхідний контроль та випробування; технології виробництва; контроль та випробування у процесі виробництва; остаточний контроль та випробування; забезпечення проведення достовірних вимірювань під час контролю та випробування;
- відновлення та доопрацювання продукції; відбракування, ізоляція та утилізація продукції неналежної якості; зберігання продукції; маркування, пакування та постачання продукції;
- атестація системи контролю та випробувань;
- формування та використання фонду нормативних і нормативно-правових документів у сфері якості;

- проведення заходів із підготовки персоналу, встановлення критеріїв виконання та якості робіт.

Останніми роками технологія виробництва досягла значного прогресу, тому для виготовлення продукції заданого рівня якості у багатьох випадках виникає низка альтернативних процесів. Після вибору виробничого процесу потрібно розробити план виробництва, який міститиме схему послідовності операцій процесу, позначення виробничого обладнання та апаратури, які будуть використані під час виробництва, а також контролю та випробувань продукції. До планування виробничого процесу належить ідентифікація інструментів, приладів, калібрів та вимірювального обладнання, які можуть бути потрібні для окремих операцій процесу.

Перед тим, як виробничий процес буде затверджений для запуску в масове виробництво, необхідно забезпечити гарантії того, що цей процес здатний на виході давати продукцію, яка відповідає технічним умовам або стандартам, а також вимогам замовника.

Дослідження можливостей виробничого процесу необхідно проводити тільки після підтвердження того, що вхідні матеріали відповідають заданим вимогам, обладнання придатне для експлуатації, а персонал має необхідний рівень кваліфікації. Процес має затверджуватись тільки після отримання висновку про те, що його можливості відповідають вимогам, поставленим до виробництва виробу з заданими технічними вимогами, або кращі за них.

Будь-яка система якості, яка діє у визначених умовах, має тенденцію відхилення від цих стандартних умов роботи внаслідок різних причин. Це призводить до появи порушень, відхилень, невідповідностей, дефектів та браку. Тому підприємство (постачальник) повинно мати затверджену систему поточного контролю виробничої діяльності або процесів виробництва для здійснення коригувальних дій з метою повернення системи якості в стандартні чи звичайні для цієї системи умови у разі виявлених порушень, відхилень, невідповідностей, дефектів та браку.

Особливо важливим є здійснення коригувальних дій процесів виробництва для забезпечення виробництва продукції необхідної якості. Необхідно проводити збирання та систематизацію поточних даних стосовно порушень, відхилень, невідповідностей, дефектів та браку у процесах виробництва для систематичного аналізу невідповідності та відхилень. Під час вивчення дефектів та невідповідностей треба враховувати, що вони можуть виникати як через недоліки в управлінні виробничими процесами, так і через упущення в організації проектування, матеріально-технічного забезпечення, нормативно-технічного забезпечення та ін. Деякі причини можуть бути очевидні, враховуючи особливості частоти виникнення порушень.

Можна виділити такі типові причини порушень, відхилень, невідповідностей, дефектів та браку [42]:

а) в проекті:

- неточні чи недостатні відомості про виробництво або нечітке креслення;
- проект, який не можна виконати (наприклад, несумісні деталі);
- застарілі креслення;

б) в обладнанні:

- неправильно розроблене технологічне оснащення; зношені інструменти, оснащення верстатів, штампи та ін.; відсутність вимірального обладнання; погана профілактика обладнання;
- шкідлива для обладнання дія умов довкілля (наприклад, температура, вологість);

в) у матеріалах:

- використання матеріалів, які не пройшли випробування; заміна матеріалів;
- некондиційні матеріали, які прийняті з відхиленнями від вимог через відсутність необхідних матеріалів;

г) в діях персоналу:

- оператори не володіють відповідними фаховими навичками, необхідними для роботи з обладнанням;
- оператори не розуміють креслень чи інструкцій до цього процесу;
- персонал, який займається налагодженням обладнання, не може його здійснити;
- недостатній контроль з боку контролерів; досягнення кількісних показників за рахунок якісних;

г) управління процесом та контроль:

- відсутність необхідного випробувального обладнання;
- порушення перевірки випробувального обладнання;
- неточні інструкції з проведення контролю та випробувань;
- недостатня кваліфікація контролерів.

Якщо аналіз процесу виробництва, який дає дефектний вихід, виконується достатньо кваліфіковано, то заходи щодо усунення порушень, відхилень, невідповідностей, дефектів та браку розробляють, враховуючи їхні причини. Деякі способи виправлення дефектів можуть бути зовсім простими і здійснити їх можна швидко (наприклад, заміна креслень). Інші заходи виправлення дефектів можуть потребувати значно більших зусиль. До прийняття остаточного рішення необхідно розглянути декілька можливих заходів:

- альтернативний спосіб виготовлення;
- вибіркове складання;
- 100 % контроль деталей для виявлення та відбракування дефектних одиниць;
- повторне проектування деталей для забезпечення ширших допусків.

Рішення щодо вибору заходів повинно враховувати складність їх вживання заходів та економічність різних варіантів.

Після вжиття необхідних заходів виріб необхідно ретельно контролювати, щоб установити факт ліквідації невідповідності. Якщо знову буде виявлено невідповідність, то процедури розроблення, прийняття та вживання необхідних

заходів повторюють, доки не буде вирішена проблема виникнення порушень, відхилень, невідповідностей, дефектів та браку.

Зміни, що є наслідками коригувальних дій, фіксуються у документації на продукцію, процеси, систему якості.

Для коригувальних дій використовують статистичні методи управління і регулювання якості. Статистичні методи управління якістю потрібно використовувати під час:

- аналізу потреб ринку та конкурентоспроможності продукції;
- визначення технічних вимог до надійності, довговічності та строків служби;
- управління технологічними процесами;
- визначення рівня якості;
- приймального контролю;
- аналізу зміни характеристик продукції під час експлуатації;
- аналізу дефектів;
- аналізу витрат на якість.

Статистичні методи є економічно вигідним засобом аналізу даних, оцінювання якості, контролю та управління процесами.

Найширше використовують вибірковий контроль. Він часто застосовується для підтвердження якості партії за зразком. Але останнім часом акцент змістився на превентивні аспекти управління якістю. Для досягнення цієї мети широко використовують сім статистичних методів (контрольний листок; аналіз за скороченням; гістограма; причинно-наслідкова діаграма; стратифікація; діаграма розсіювання; графіки та контрольні карти), які не потребують багато статистичних підрахунків, можуть бути легко зрозумілими та застосовуваними на виробництві [9, 43–45].

Статистичні дані про витрати на якість повинні містити:

- статистичну оцінку витрат на усунення браку і претензій споживачів за видами продукції та основними винуватцями;

- статистичну оцінку витрат на запобігання невідповідностям продукції вимогам за видами продукції та виконавцями;
- статистичну оцінку та співвідношення між витратами на якість і отриманим ефектом від її поліпшення. Цю оцінку можна давати у вигляді співвідношень середніх витрат на одиницю отриманого економічного ефекту за рахунок підвищення якості.

Статистичні методи вибирають залежно від виробу, складності процесу та обсягу продукції.

1.3. Статистичне управління технологічними процесами

Ефективне управляти якістю неможливо без статистичного аналізу стану технологічного процесу. Найбільше поширились статистичні методи управління якістю спочатку в Японії, яка стала активно застосовувати їх з 1949 р. У японських корпораціях усі – від голови ради директорів до рядового робітника в цеху – зобов'язані знати хоча б основи цих методів [43].

У промисловому виробництві нагромаджено великий досвід використання статистичного контролю та регулювання якості продукції та виробничих процесів. Статистичні методи дають можливість оптимізувати пошук причин невідповідності, підвищити точність і ймовірність висновків, ефективність розроблених заходів щодо усунення виявлених причин відмов, дефектів. Використання статистичних методів у виробничій практиці призводить до суттєвого зниження витрат і підвищення якості продукції.

Статистичні методи рекомендовані стандартами ISO серії 9000 як обов'язковий елемент систем управління якістю на будь-якому підприємстві. Сукупність сучасних статистичних методів контролю та управління якістю підрозділяється за ступенем складності на три категорії. Розглянемо їх.

1. Елементарні статистичні методи, що охоплюють діаграму Парето, причиново-наслідкову діаграму Ісікави, контрольний листок, гістограму, діаграму розкиду, метод стратифікації, контрольну карту. Ці методи, відомі як сім інструментів управління якістю, усі використовують на японських підприємствах.

К. Ісікава стверджує, що 95 % проблем фірми можна вирішити за допомогою цих семи принципів управління якістю.

Елементарні статистичні методи покладено в основу всіх інших статистичних методів. Вони призначені для ефективного виявлення та аналізування проблем і є основою для підготовки коригувальних заходів. Ці методи можна застосовувати також під час керування робочими процесами в органах зі сертифікації та випробувальних лабораторіях.

2. Проміжні статистичні методи, до складу яких входять: теорія вибіркового дослідження, статистичний вибірковий контроль, різноманітні методи проведення статистичних оцінок і визначення критеріїв. Ця група методів розрахована на інженерів і фахівців у галузі управління якістю.

3. Передові статистичні методи, до яких належать: методи планування експериментів, багатофакторний аналіз, різні методи дослідження операцій. Ці методи застосовують фахівці з досить високим рівнем підготовки. Їх використовують під час проведення складних аналізів процесів управління якістю.

Нижче наведено опис семи статистичних методів.

Контрольний листок – форма для реєстрації даних під час контролю чи перевірки, на якій заздалегідь надруковані контрольовані параметри для того, щоб можна було легко і точно записати дані вимірювань і упорядкувати їх для подальшого використання. Є допоміжним механізмом під час побудови і використання контрольних карт, гістограм.

Гістограма – вертикальна стовпчикова діаграма частотності розподілу даних. Сприяє звуженню кола пошуку проблемних ділянок за рахунок показу моделей зміни відхилення від бажаного середнього рівня та наявності ймовірної причини зміни, яку необхідно виявити та усунути.

Діаграма Парето – стовпчикова діаграма даних, отримана за кожною ознакою, яка перевіряється. Здебільшого дефекти і пов'язані з ними втрати мають декілька причин. Діаграма Парето допомагає встановити головні причини (фактори), з яких слід починати діяти. На рис. 1.4 подано гістограму розподілу

питомої ваги дефектів залежно від їхнього типу за ступенем зниження питомої ваги. На ній показано розподіл дефектів за типами: 1 – неправильне обертання; 2 – шум; 3 – коливання, 4 – тиск, 5 – викривлення, 6 – інші причини.

Дані розміщують у порядку значущості і будують кумулятивну криву. Завдяки цьому зосереджується увага на усуненні дефектів, що спричиняють найбільші втрати. Порівнюючи діаграми Парето, побудовані за даними до і після поліпшення процесу, можна оцінити ефективність вжитих заходів. Згідно з цим методом, близько 20 % всіх причин формує 80 % наслідків.

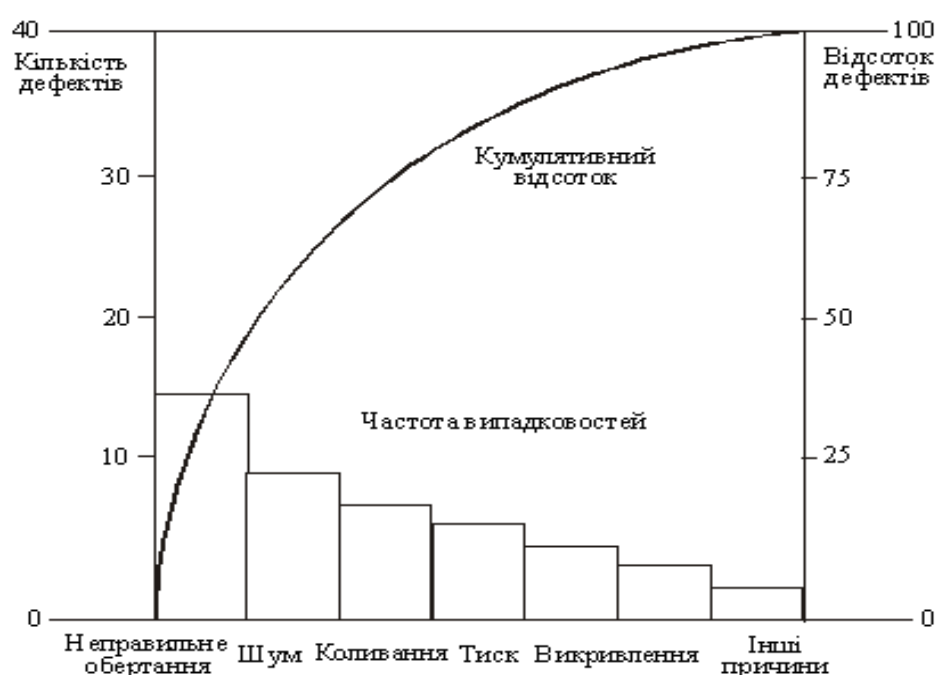


Рисунок 1.3 – Діаграма Парето розподілу питомої ваги дефектів

Причинно-наслідкова діаграма (діаграма Ісікави) – розроблена у 1943 році і одержала назву “риб’ячий кістяк” або “риб’яча кістка” (рисунок 1.5) широко використовується не тільки в Японії [43, 51].

Структура у вигляді “ялинки”, в якій проблемна характеристика якості є стовбуром, а основні фактори (матеріали, методи, персонал, машини), які спричиняють проблему, подані у вигляді стрілок, які розташовані під нахилом від стовбура. Діаграма дає можливість виявити і систематизувати різні чинники й умови, що впливають на досліджувану проблему. За її допомогою можна

вирішувати широкий спектр завдань, зокрема конструкторські, організаційні, технологічні, економічні, соціальні та інші.

Діаграма надає можливість виявити ключові взаємозв'язки між різними чинниками та достеменніше зрозуміти досліджуваний процес, а також визначає головні чинники, які спричиняють найбільший внесок до розглядуваної проблеми, та усуває їхні дії або запобігає їм.

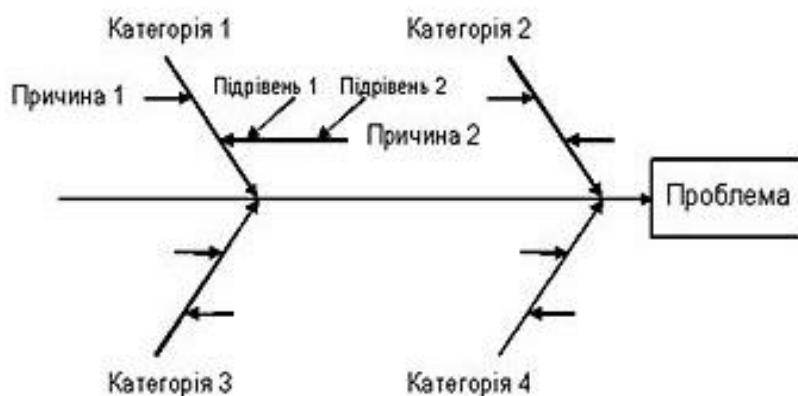


Рисунок 1.4 – Причинно-наслідкова діаграма

Стратифікація (розшарування) – поділ одержаних даних на окремі групи (шари) залежно від обраного стратифікувального чинника за категоріями, щоб звузити цю проблему. Стратифікувальним чинником можна обрати будь-який параметр, що визначає особливості умов виникнення й одержання даних. Приклади стратифікації наведено на рисунку 1.5.

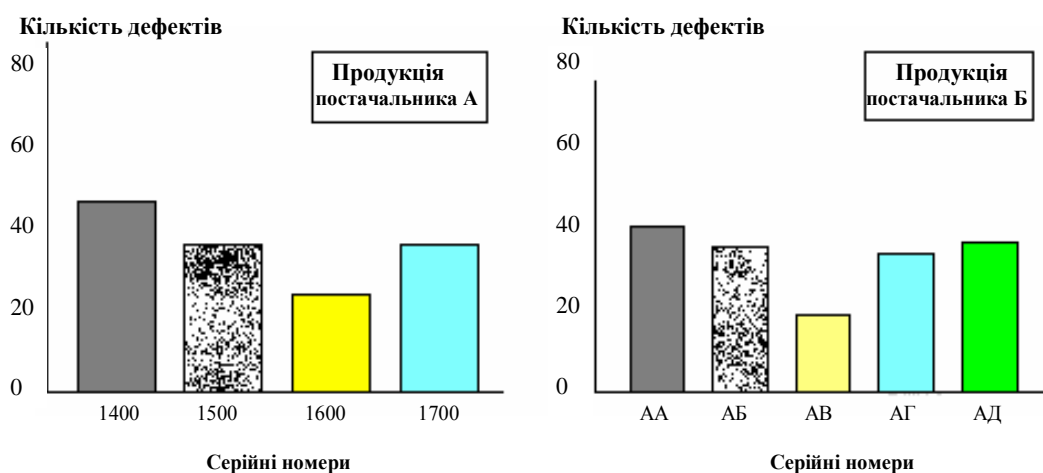
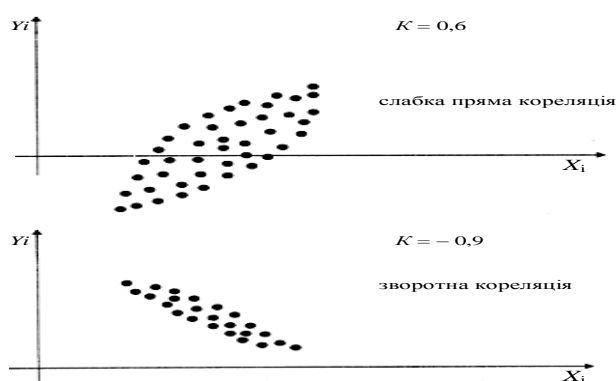


Рисунок 1.5 – Стратифікація дефектності виробів за різними ознаками (кількість дефектів на кожену тисячу готових виробів)

Діаграму розсіювання використовують для дослідження і відображення залежності між двома показниками якості та факторами процесу для визначення кореляційної залежності між факторами, є графічним методом вивчення залежності між двома пов'язаними наборами даних (наприклад, x і y – по одному від кожного набору). Дані, які відображаються діаграмою розкиду, утворюють поле кореляції. Залежність між пов'язаними наборами даних встановлюється на

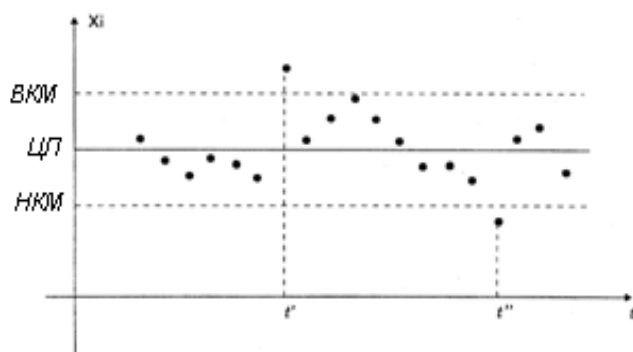


основі форми поля. Що ближче точки розташовуються до діагональної лінії, то більша є залежність двох зазначених параметрів. Взаємозв'язок буває позитивний, негативний або відсутній взагалі (рисунок 1.6).

Рисунок 1.6 – Приклади поведінки “хмари експериментальних точок” за різних значень коефіцієнта кореляції K

Графіки та контрольні карти. Графіки – це прості схеми характеристики якості стосовно часу. Контрольні карти мають центральну лінію (ЦЛ), яка є бажаним середнім рівнем, та дві лінії з назвами: верхня контрольна межа (ВКМ) і нижня контрольна межа (НКМ) (рисунок 1.7).

Досліджуючи зміну даних з плином часу, стежать, щоб точки графіка не



вийшли за контрольні межі. Якщо є викид однієї або декількох точок за контрольні межі, це сприймається як інформація про відхилення параметрів чи умов процесу від встановленої норми [9, 25, 43, 50, 51].

Рисунок 1.7 – Контрольна карта з однією вибіркою

Для вирішення конкретних задач з аналізу якості виробничих процесів велику увагу надають практичному використанню методів математичної статистики, використовуючи електронні таблиці Excel, системи Statistica.

Додатково до цих семи методів є ще деякі інші статистичні методи, які можна застосувати для оптимізації конструкції виробу, виправлення процесів. Деякі з частково використовуваних методів наведені нижче.

Статистичне встановлення допусків – для отримання реальних допусків до деталей чи для досягнення необхідних рівнів допуску у збірних вузлах.

Вибірковий контроль – для оцінювання якості партії за допомогою контролю зразка з використанням установлених критеріїв приймання.

Викреслювання графіка ймовірності – для підтвердження характеру даних та оцінювання таких характеристик, як відхилення, середня величина тощо, на підставі невеликої кількості спостережень за допомогою накреслення графіка.

Основні статистичні методи управління якістю є стандартизовані. Огляд статистичних методів, які рекомендуються до застосування в разі впровадження стандартів ISO серії 9000, наведено в ДСТУ ISO/TR 10017:2005 “Настанови щодо застосування статистичних методів згідно з ISO 9001:2000 (ISO/TR 10017:2003, IDT)” [52].

ДСТУ ISO/TR 10017:2005 регламентує застосування 12 найпоширеніших статистичних методів, а саме: описова статистика (1); планування експериментів (2); перевірка гіпотез (3); вимірвальний аналіз (4); аналіз можливостей процесу (5); регресійний аналіз (6); аналіз надійності (7); вибірковий контроль (8); моделювання (9); карти статистичного контролю процесу (карти СКП) (10); статистичне призначення допуску (11); аналіз часових рядів (12) [11].

Аналіз положень стандартів ISO серії 9000 (зокрема ДСТУ ISO 9001:2015 “Системи управління якістю. Вимоги”) підтверджує необхідність застосування статистичних методів. Розділом 9.1 нового стандарту ДСТУ ISO 9001:2015 вимагається здійснення моніторингу, вимірювання, аналізування та оцінювання показників якості процесів, однак самі методи не вказуються [19].

У таблиці 1.1 наведено галузі застосування статистичних методів, вказаних в ДСТУ ISO/TR 10017:2005 відповідно до показників якості процесів за ISO 9001. Назва граф відповідає номеру статистичного методу зі зазначених вище [43, 52].

Можливості процесу – для визначення закладеної змінності процесу з випадкових причин.

Перевірка значущості – для вирішення питання, чи є коливання всередині вибірки причиною відмінностей, що виникають.

Таблиця 1.1 – Статистичні методи, які застосовуються під час управління якістю виробничих процесів

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
А	+				+			+		+		
Б	+							+				
В	+	+	+	+	+			+		+		+
Г	+	+	+	+	+	+	+	+		+		+

Аналіз дисперсії – порівняння більше ніж двох вибірових середніх значень чи оцінювання внеску різних факторів у загальне змінювання.

Аналіз множинної регресії – ідентифікація важливих факторів, які впливають на одержання даних у відповідь, та їхня кількісна дія.

Методи надійності – спрямовані на поліпшення надійності, яка визначається як ймовірність того, що обладнання виконуватиме свої функції протягом визначеного часу у визначених умовах довкілля.

План експериментів – визначає оптимальні параметри процесу та їх застосування для поліпшення роботи.

Вивчення операцій – оптимізує ефективність операцій та видів діяльності.

Послідовність застосування методів визначається цілями, які висуваються перед системою.

Методи статистичного управління технологічних процесів засновані на тому, що у визначені моменти часу фіксуються параметри цього процесу

наприклад, кількісні значення або якісні ознаки невідповідностей, що виявлені в разі внутрішнього аудиту.

Перед початком збору даних необхідно чітко визначити, для чого вони потрібні і як їх будуть надалі використовувати. Після визначення мети збору даних визначають тип даних і характер їх порівняння.

Наприклад, якщо якість змінюється протягом робочої зміни або залежно від того, хто виконує операцію, потрібно провести вимірювання показників якості в різні моменти часу або для різних операторів. У такий спосіб можна виявити розходження та усунути їх.

Застосування статистичних методів потребує добре задокументованих методик для вибору, збирання та аналізу даних, а також для прийняття рішень. Зайнятий персонал потребує також відповідної підготовки із застосування статистичних методів.

Плануючи застосування статистичних методів для управління процесом, треба провести ретельне дослідження, щоб переконатися у необхідності таких методів. Доки не проаналізовані статистичні дані, не вжито необхідних коригувальних дій, статистичні методи як такі не дають поліпшення якості.

Ефективність застосування статистичного управління технологічного процесу підвищується, якщо розроблена система управління якістю передбачає постійне нагромадження даних про перебіг процесу та його вплив на якість продукції.

Виявлення систематичних тенденцій у поведінці контрольованих параметрів і чинників, що визначають цей вплив, дає необхідні відомості для оптимізації технологічного процесу і поліпшення системи управління якістю.

1.4. Нормативно-методичне забезпечення статистичних методів

Сьогодні у світовій практиці статистичні методи набули широкого застосування, стандартизовані та рекомендуються для використання в роботі, спрямовані на підвищення якості, що відображено у міжнародному стандарті ISO 9004:2012. В Україні з метою контролю якості прийнято ДСТУ ISO 9004:2012

“Управління задля досягнення сталого успіху організації. Підхід на основі управління якістю”. Професор К. Ісікава зазначає: “Базуючись на досвіді своєї діяльності, можу сказати, що 95 % усіх проблем фірми можуть бути вирішені за допомогою семи прийомів” [51].

Із вступом України в Світову організацію торгівлі питання контролю якості набули особливої актуальності. З метою вирішення проблеми в Україні прийнято низку законодавчих і нормативно-правових актів: Закони України: “Про захист прав споживачів” [53], “Про метрологію та метрологічну діяльність” [54], “Про стандартизацію” [55], “Про безпечність та якість харчових продуктів” [56], Указ Президента України “Про заходи щодо вдосконалення діяльності у сфері технічного регулювання та споживчої політики” [57].

Усе більше освоєння нового для нашої країни відтворення економічного середовища, тобто ринкових відносин, диктує необхідність постійного поліпшення якості з використанням для цього всіх можливостей, всіх досягнень прогресу в галузі техніки й організації виробництва.

Найповніше та всебічне оцінювання якості забезпечується, коли враховані всі властивості аналізованого об’єкта, які виявляються на всіх етапах його життєвого циклу: під час виготовлення, транспортування, зберігання, застосування, ремонту, технічного обслуговування.

Про статистичний контроль та застосування статистичних методів описано в нормативних документах та алфавітному покажчику за ДК 004-2008, які, своєю чергою, поділяються на три групи:

- перша група – належить НД, що стосуються статистичного контролю [58–94];
- друга група – НД які стосуються статистичного опрацювання даних [95–101];
- третя група – низка НД, які не ввійшли до складу першої та другої груп [102–111].

Жодне управління якістю як продуктом, так і процесом, неможливе без використання вже наявних статистичних методів. Це залишається справедливим і за загального управління якістю.

Тому в стандартах ISO серії 9000, де розглядаються системи управління якістю, записано: “У разі необхідності постачальник має розробляти процедури, що забезпечують вибір статистичних методів, необхідних для перевірки можливості технологічного процесу і прийнятності характеристик продукції”.

Для вирішення проблем, що стосуються якості продукції, широко застосовують сім традиційних методів.

Саме ці методи стандартизовані і є рекомендованими для використання в роботі щодо підвищення якості [21].

Висновки до розділу 1

Стан економічного розвитку України залежить від вирішення багатьох проблем, зокрема проблеми забезпечення якості продукції на всіх етапах її життєвого циклу. Процеси інтеграції України до ЄС диктують нові вимоги до діяльності вітчизняних підприємств. Прагнучи вийти на світові ринки з жорсткою конкурентною боротьбою, на вітчизняних підприємствах необхідно активніше впроваджувати системи управління якістю виробничих процесів, які б відповідали визнаним міжнародним вимогам та стимулювали постійне покращення продукції.

Зростаюче значення якості продукції є наслідком розвитку науки і техніки, поліпшення умов і вдосконалення методів виробництва. Це спричинено внаслідок:

- ускладнення виробничих процесів, впровадження новітніх технологій, сучасного обладнання, засобів автоматизації;
- зростання обсягів виробництва, випуску однорідної продукції;
- розширення галузевої та міжгалузевої спеціалізації;
- розширення міжнародної торгівлі та техніко-економічної співпраці між країнами;
- постійно зростаючих вимог споживачів до якості продукції та послуг.

Необхідною умовою досягнення успіху підприємства щодо виробництва якісної, а відтак, конкурентоспроможної продукції, є створення та налагодження виробничої системи на всіх його рівнях. Матеріали, сировина, комплектувальні вироби (деталі) стають частиною продукції, що виробляється. Якість технологічного обладнання, приладів, засобів контролю тощо також безпосередньо впливають на якість продукції, що виробляється. Проте найважливішим завданням будь-якого підприємства є налагоджена система виробничих процесів, адже саме в цьому закладено окрему науку про найекономічніші способи перероблення сировинних матеріалів та отримання якісної готової продукції.

Ефективне управління якістю виробничими процесами неможливе без використання статистичних методів, здатних своєчасно, оперативно та об'єктивно відображати зміни в процесі.

Однак, у вимогах міжнародних стандартів ISO серії 9000 самі методики застосування не регламентовані. Згідно зі стандартом ДСТУ ISO 9001:2015, одним з найважливіших принципів в управлінні якістю є його постійне покращення, для реалізації якого підприємство повинно: встановлювати методи, які дають можливість вимірювати показники кожного процесу (пп. 8.5.2), здійснювати моніторинг, вимірювання, аналізування та оцінювання процесів (пп. 9.1), проводити аналіз з боку керівництва, який містить інформацію про показники функціонування процесів (пп. 9.3). Це все можливо здійснити за допомогою використання як стандартних статистичних методів, так і новітніх статистичних методів та методологій.

Процесний підхід є універсальним і його можна застосувати під час впровадження будь-якої системи управління. Але, як відомо, стандарти ISO серії 9000 не містять вимог, специфічних для інших галузей. Автор проаналізував деякі специфічні СУЯ процесів, звернувши увагу на вимоги щодо застосування інструментів управління якістю.

У розділі наведено результати аналізу науково-технічної літератури щодо стану розвитку статистичних методів управління якістю. На основі порівняння

характеристик статистичних методів, визначено перелік їхніх переваг та недоліків з погляду їх застосування в управлінні якістю виробничими процесами. Проте сьогодні ще не розроблено чіпкої методології щодо статистичних методів управління якістю. Забезпечення високої якості продукції, яка виробляється в умовах автоматизованого виробництва потребує значного оновлення нормативного забезпечення щодо статистичних методів управління якістю.

Крім того, необхідно провести численні дослідження з аналізу і виявлення моделей розподілу показників якості продукції під час її механічного опрацювання і розробити методику їх ідентифікації. Важливим є дослідити придатний процес чи ні, використовуючи закономірності розподілу дійсних показників якості.

Сьогодні існує актуальне науково-технічне завдання, що полягає у необхідності створення нормативного і методичного забезпечення статистичного контролю виробничих процесів та якості продукції. Необхідно розробити системний підхід до безперервного покращення виробничих процесів, зосередивши свою увагу на ключових завданнях, вирішення яких суттєво покращить якість виробленої продукції. Такими ключовими завданнями, на думку автора, є:

- 1) проаналізувати стан виробничих процесів в управлінні якістю, які найбільше потребують застосування статистичних методів контролю та з'ясувати можливості застосування нових методологій в управлінні виробничими процесами;
- 2) проаналізувати моделі часових розподілів та їхні основні характеристики, які дають змогу оцінити керований процес чи ні;
- 3) запропонувати алгоритм структурної послідовності для організаційно-методичного та технічного забезпечення статистичного контролю виробничих процесів та якості продукції;
- 4) дослідити виробничий процес та проаналізувати можливості виникнення дефектів під час виробництва продукції з метою впровадження нових методологій управління якістю на цих процесах;

- 5) виконати експерименти та дослідно-виробничі випробування з перевірки отриманих теоретичних результатів і одержати довідково-нормативні дані для створення нормативно-методичного забезпечення;
- 6) запропонувати методику дослідження придатності виробничих процесів за результатами спостережень нормованих показників якості.

Вирішення цих питань описано в наступних розділах цієї роботи.

РОЗДІЛ 2

СТРУКТУРНИЙ АНАЛІЗ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СТАТИСТИЧНОГО КОНТРОЛЮ ВИРОБНИЧИХ ПРОЦЕСІВ ТА ЯКОСТІ ПРОДУКЦІЇ

Промислове виробництво є важливою сферою діяльності сучасного суспільства, у якій задіяна основна частина всіх трудових, матеріальних, енергетичних, фінансових, інтелектуальних ресурсів, що є основою забезпечення життєздатності суспільства та функціонування всіх його соціальних інститутів. Від стану промислового виробництва, його результативності, технологічного та технічного рівня, організованості, ефективності управління, ресурсного і фінансового забезпечення залежать характер і темпи розвитку суспільства. Дієво виконувати свої функції може тільки те виробництво, яке забезпечує максимальну результативність.

Досягти високої ефективності виробництва у сучасних умовах – це складне завдання, яке залежить від багатьох чинників, які мають різну природу, джерела та причини виникнення. До основних таких факторів належать: технологія виробництва, показники продуктивності, ресурсоємності; технічні засоби виробництва (машини, обладнання), рівень кваліфікації робітників, рівень організації і управління виробничими процесами, умови здійснення виробництва.

2.1. Класифікація методів статистичного аналізу

Методи статистичного аналізу, що їх використовують в умовах сучасного виробництва, умовно можна розподілити на дві групи (рисунок 2.1):

- методи статистичного приймального контролю (вибірковий контроль) – використовують для оцінки відповідності продукції вимогам нормативних документів та спрямовані на економічні та організаційні покращення;
- методи статистичного управління якістю виробничих процесів – використовують органи зі сертифікації, а також на підприємствах під час виробництва продукції. Ці методи швидко налагоджують виробничі процеси, знижують витрати і собівартість, підвищують якість продукції, послуг.

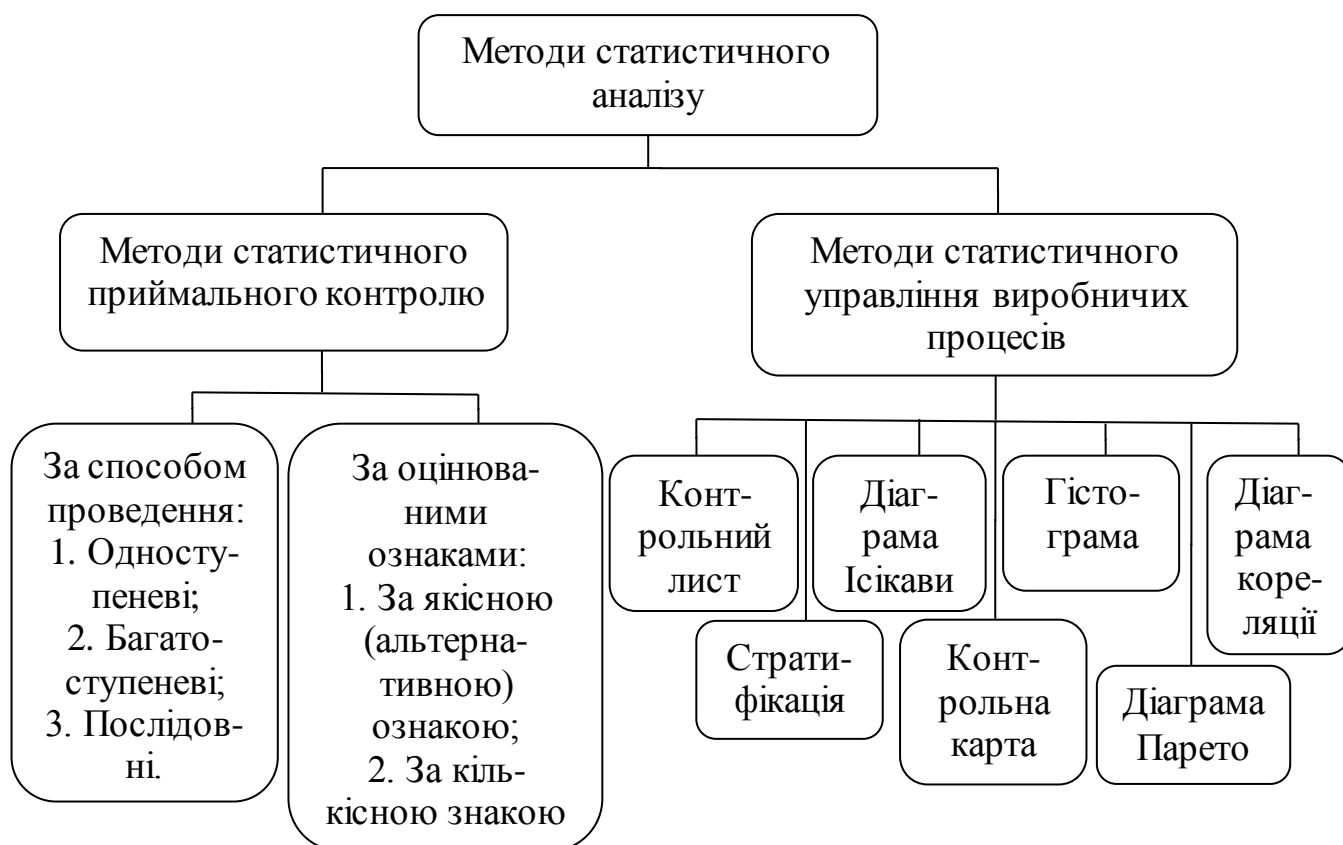


Рисунок 2.1 – Класифікація статистичних методів управління якістю

В основу цих методів належать сім інструментів управління якістю, до яких зараховують: контрольний листок, схему Ісікави, гістограму, діаграму кореляції, стратифікацію, контрольну карту, діаграму Парето [25, 43, 51].

Під статистичним приймальним контролем якості продукції розуміють вибірковий контроль, що заснований на застосуванні методів математичної статистики для перевірки відповідності якості продукції встановленим вимогам. Основна ідея такого контролю полягає у тому, що про якість контрольованої партії продукції роблять висновки за вибірковими характеристиками, які обчислюються за даними малої вибірки з цієї партії.

Залежно від обраного принципу оцінювання класифікують приймальний контроль за якісною і кількісною ознаками. Під час контролю за якісною ознакою кожен одиницю продукту, що перевіряється, зараховують до визначеної групи, а подальше рішення приймають залежно від співвідношення числа її одиниць, що опинилися в різних групах. Зазвичай розглядають дві групи (категорії): придатні

та дефектні одиниці продукції. У цьому разі вид контролю називається альтернативним. Під час контролю за кількісною ознакою визначають значення одного або декількох параметрів одиниць продукції, а подальше рішення приймають залежно від цих значень.

З метою організації приймального контролю необхідно встановити контрольні параметри, тобто критерії для ухвалення рішення за результатами контролю (приймальне число, бракувальне число), і задати умови (вказівки), які призначені для ухвалення рішень щодо прийняття партії продукції за результатами її контролю. Найбільшого практичного розповсюдження одержали три типи приймального контролю (див. рисунок 2.1):

- одноступеневий – рішення про прийняття або бракування партії продукції приймають за результатами контролю однієї вибірки або проби;
- багатоступеневий – рішення про прийняття або бракування партії приймається на підставі послідовних випробувань $k \geq 2$ вибірок або проб, максимальна кількість яких встановлена заздалегідь (зазвичай $k = 2$);
- послідовний – рішення про прийняття партії, бракування або продовження випробувань приймається після оцінювання кожної одиниці продукції (вибірки або проби), що перевіряється одна за одною.

Під час розгляду особливостей різних видів статистичного приймального контролю необхідно врахувати план контролю, інформацію про вид контролю, обсяги контрольованої продукції, вибірок або проб, контрольні параметри та задані умови.

За суцільного контролю партії маємо ідеальну оперативну характеристику $L(q)$ (рисунок 2.2, а), під час якої приймають усі партії з $q \leq q_{кр}$ і бракують усі партії з $q > q_{кр}$ [112]:

$$L(q) = \begin{cases} 1 & \text{при } q \leq q_{кр} \\ 0 & \text{при } q > q_{кр} \end{cases} \quad (2.1)$$

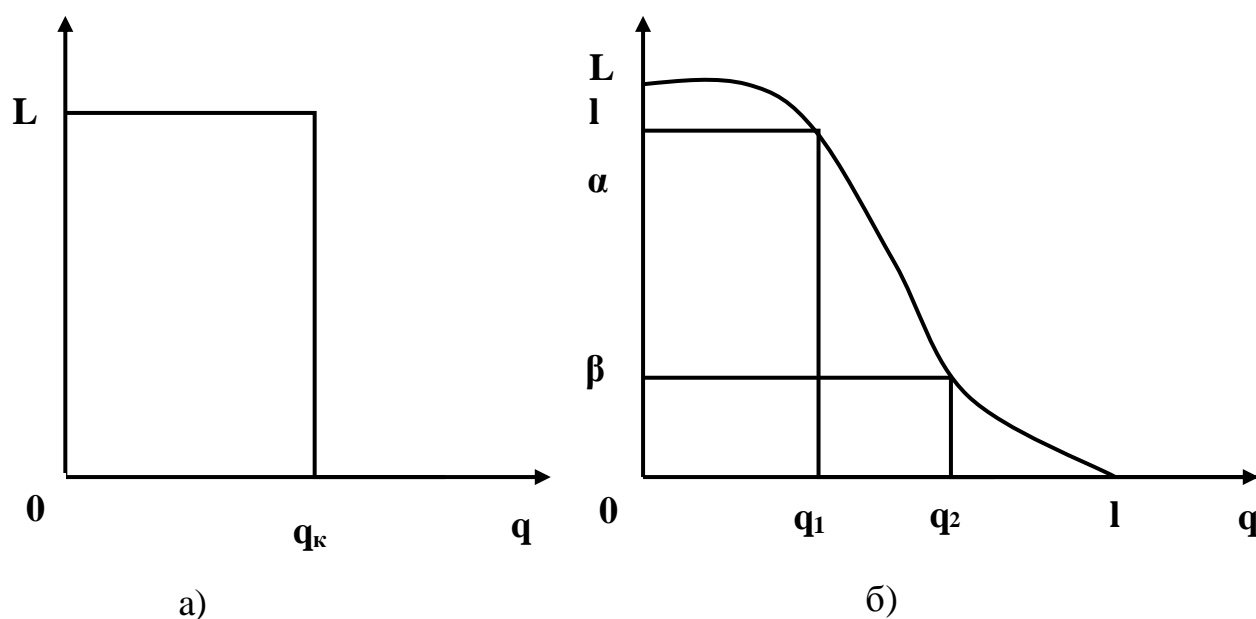


Рисунок 2.2 – Графіки оперативних характеристик: а) при 100 % контролі;
б) при вибірковому контролі

Оперативну характеристику $L(q)$ за вибіркового контролю подано на рис. 2.2, б. Що ближча ця характеристика до ідеальної, то доцільність результатів контролю краща (забезпечує більшу впевненість у результатах). Однак зі збільшенням крутості оперативної характеристики у середній її частині (між q_1 і q_2) зростає обсяг вибірки, тобто вартість контролю. Тому зазвичай необхідно шукати компромісне рішення.

За необхідності доцільно застосувати статистичний приймальний контроль з коригувальним планом. Під час такого контролю його план підлягає зміні залежно від результатів перевірки визначеного числа попередніх партій продукції. У такому разі може здійснюватися перехід від нормального режиму контролю до послабленого або посиленого.

Нормальний режим зберігається, якщо результати перевірки заданого числа попередніх партій продукції не дають підстави зробити висновок про те, що дійсний рівень дефектності істотно відхиляється від приймального. Якщо результати контролю свідчать, що дійсний рівень дефектності нижчий за приймальний, то необхідно перейти до послабленого контролю з меншим обсягом

вибірки, ніж за нормального. Якщо ж дійсний рівень дефектності вищий за приймальний, необхідно перейти до посиленого контролю з чіткішими контрольними параметрами.

Одноступеневий контроль – рішення приймається за результатами перевірки тільки однієї вибірки або проби. Ця вибірка повинна бути випадковою та відповідно добре відображати властивості всієї партії. Випадкову вибірку одержують за рахунок відбору одиниць продукції з різних частин партії або перемішуванням одиниць продукції у партії під час відбору.

Планом одноступеневого контролю встановлюють обсяг вибірки n з партії обсягом N , приймальне число c . Партія вважається придатною, якщо кількість дефектних одиниць продукції у вибірці $X \leq c$, відповідно, якщо $X > c$, партія затримується. Крім того, партія вважається придатною, якщо виконується одна з таких подій: $X = 0, X = 1, \dots, X = c$. Тому ймовірність якісної партії дорівнює сумі ймовірностей цих подій:

$$L(q) = P\{X \leq c\} = \sum_{k=0}^c P\{X = k\}. \quad (2.2)$$

Доданки у формулі (2.2) залежать від виду закону розподілу випадкової величини X – кількості дефектних одиниць продукції у вибірці з n одиниць продукції.

Багатоступеневий контроль – із загальної кількості N одиниць продукції з партії відбираються послідовно декілька вибірок або проб, максимальна кількість яких встановлена заздалегідь. Необхідність відбору наступної вибірки або проби залежить від результатів контролю попередніх вибірок або проб.

Якщо у першій вибірці обсягом n_1 одиниць продукції число дефектних одиниць $X_1 \leq c_1$, то партія вважається придатною. Якщо $X_1 \geq d_1$ партію затримують. Якщо $c_1 \leq X_1 \leq d_1$, приймають рішення про призначення другої вибірки обсягом n_2 . Для другої вибірки також є контрольні параметри c_2 і d_2 , з якими порівнюють сумарне число дефектних одиниць продукції у першій і другій вибірках $X_1 + X_2$. Якщо $X_1 + X_2 \leq c_2$, партія пропускається; при $X_1 + X_2 \geq d_2$

партію затримують; якщо $c_2 < (X_1 + X_2) < d_2$, приймається рішення про призначення третьої вибірки. Така процедура триває до того часу, поки не буде прийнято рішення про прийняття або затримання партії. Прийняття партії виробів за двоступеневого контролю можна розглядати як суму двох несумісних випадкових подій:

A – партія прийнята за результатами контролю одиниць продукції першої вибірки;

B – партія прийнята за результатами контролю одиниць продукт, першої та другої вибірок.

Ймовірність прийняття партії $L(q) = P\{A\} + P\{B\}$. Ймовірність прийняття партії за першою вибіркою:

$$P\{A\} = \sum_{k=0}^{c_1} P_{n_1}\{X = k\}. \quad (2.3)$$

Для прийняття партії за другою вибіркою необхідне об'єднання подій:

B1 – кількість дефектних одиниць продукції у першій вибірці знаходиться у межах $c_1 < X < d_1$;

B2 – сумарне число дефектних виробів в обидвох вибірках $(X_1 + X_2) < c_2$.

Враховуємо, що якщо у першій вибірці є k дефектних виробів, причому $c_1 < k < d_1$, то партія буде пропущена, якщо число дефектних виробів у другій вибірці виявиться не більше, ніж $c_2 - k$. У такому разі:

$$P\{B\} = \sum_{k=c_1+1}^{d_2-1} P_{n_1}\{X = k\} \sum_{l=0}^{c_2-k} P_{n_2}\{X = l\}. \quad (2.4)$$

Ймовірність прийняття партії:

$$L(q) = \sum_{k=0}^{c_1} P_{n_1}\{X = k\} + \sum_{k=c_1+1}^{d_2-1} P_{n_1}\{X = k\} \sum_{l=0}^{c_2-k} P_{n_2}\{X = l\}. \quad (2.5)$$

Перший доданок у (2.2) є ймовірність прийняття партії за першою вибіркою, другий ймовірність прийняття партії за другою вибіркою за умови, що

рішення про пропуск або затримання партії за першою вибіркою не було прийнято.

Послідовний контроль – розглядають як граничний вид багатоступеневого контролю. Обсяг вибірки не фіксується, а окремі одиниці продукції вибирають з партії випадково і перевіряють. Після кожної перевірки приймають одне з трьох рішень: пропускати партію, продовжити перевірку, затримати партію.

Під час контролю за кількісною ознакою вимірюють числові значення контрольованого параметра одиниць продукції, обчислюють середнє арифметичне значення та оцінюють його відхилення від однієї або одночасно від двох заданих границь.

Перевага контролю за кількісною ознакою – малі обсяги вибірок (у 10–20 разів менше, ніж під час контролю за альтернативною ознакою). Це пов'язано з тим, що кожна вибірка має обсяг інформації, що складається з n чисел. У разі контролю за альтернативною ознакою обсяг інформації складається з кількості дефектних одиниць продукції у вибірці (одного числа). Недоліками цього методу є те, що вимірювання є дорогим і плани контролю складніші.

Ймовірність виготовлення дефектного виробу залежить від меж допуску, математичного сподівання M_x і середнього квадратичного відхилення σ_x параметра виробу.

Мета вибіркового контролю полягає у тому, щоб за результатами аналізу оцінок числових характеристик: арифметичного значення \bar{x} і стандартного відхилення s зробити висновок щодо прийняття або затримання партії.

2.2. Статистичні оцінки характеристик якості виробничих процесів

Застосування методів статистичного контролю та аналізу під час сертифікації зумовлено загальним визнанням цих інструментів у забезпеченні якості продукції та послуг. Одним із критеріїв акредитації органів з сертифікації та випробувальних лабораторій є також використання статистичних методів під час проведення робіт оцінки відповідності.

Відповідно до міжнародних стандартів ISO серії 9000 статистичні методи є невід'ємною частиною систем управління якістю [1, 20, 25, 43]. Вони знаходять широке застосування у світовій практиці з оцінки відповідності продукції, послуг.

На цей час у промисловості нагромаджено великий досвід використання статистичного контролю та регулювання якості продукції та технологічних процесів. З урахуванням специфіки сертифікації він успішно застосовується під час сертифікаційних випробувань, інспекційного контролю, аудиту систем управління якістю, заходів щодо здійснення коригувальних впливів та ін.

Статистичні методи дають можливість оптимізувати пошук причин невідповідності, підвищити точність і ймовірність висновків, ефективність розроблювальних заходів щодо усунення виявлених причин відмов, дефектів. Використання статистичних методів у виробничій практиці призводить до суттєвого зниження витрат і підвищенню якості продукції, про що свідчать результати діяльності відомих закордонних фірм.

Збирання та опрацювання статистичних даних під час аналізу виробничих процесів ґрунтуються на застосуванні вибіркового методу. Термінологічні засади в цієї галузі закладено у стандарті ДСТУ 3514-97 “Статистичні методи контролю та регулювання. Терміни та визначення” [47].

Вибірка – це одиниці продукції (спостережувані значення), відібрані з контрольованої партії чи потоку продукції для контролю та прийняття – рішення про відповідність встановленим вимогам.

Репрезентативною або представницькою вибірка є в тому випадку, якщо вона достатньо добре представляє характеристики генеральної сукупності.

Генеральна сукупність – однорідна сукупність даних, щодо якої роблять висновки для прийняття рішень на підставі результатів аналізу вибірки. Поняття генеральної сукупності є математичною абстракцією, тому що воно передбачає необмежену кількість результатів спостережень, які проведені у заданих умовах.

Так, відібрана частина елементів генеральної сукупності (вибірка) надаватиме уявлення про всю сукупність із припустимою точністю під час виконання двох умов: 1) вона повинна бути представницькою, щоб у ній могли

проявитися закономірності, які існують у генеральній сукупності; 2) елементи вибірки потрібно відібрати об'єктивно, так, щоб кожний з них мав однакові шанси бути відібраним.

Збирання даних – це не ціль, а засіб одержання фактів, необхідних для прийняття правильних рішень.

Відповідно до теорії ймовірностей вибірка правильно відобразить властивості всієї сукупності, якщо вибір робиться випадково, тобто кожна з можливих вибірок має однакову ймовірність бути фактично відбраною.

Для одержання упорядкованого ряду $X = X_1, \dots, X_n$ статистичних даних роблять ранжування, тобто розташовують отримані дані в порядку зменшення або зростання їх значень. Тут n – обсяг вибірки.

Зміни випадкової величини, що спостерігаються (у цьому випадку – контрольованого параметра), можуть бути дискретними і безперервними.

Безперервною називається така зміна випадкової величини, за якої значення її упорядкованого ряду, що знаходяться поряд, відрізняються на будь-яку малу величину. У практиці вимірювань і контролю безперервні випадкові величини найчастіше описуються за допомогою, так званого, нормального закону розподілу (закону Гаусса) [9, 48, 49]:

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_x} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{x - M_x}{\sigma_x}\right)^2\right], \quad (2.6)$$

де M_x – математичне очікування; σ_x – середнє квадратичне відхилення, які є числовими характеристиками закону розподілу.

Дискретною називається така зміна випадкової величини, за якої значення її упорядкованого ряду, що знаходяться поряд, відрізняються на деяку кінцеву величину. Воно описується біноміальним і пуассонівським законами.

За результатами вибірових значень випадкової величини одержують оцінки числових характеристик, тому що на основі обмеженого обсягу даних неможливо визначити дійсні значення числових характеристик закону розподілу випадкової величини.

Статистичні (вибіркові) оцінки числових характеристик поділяються на точкові та інтервальні.

Точкові оцінки містять характеристики положення центра розподілу і характеристики розсіювання випадкової величини.

Основними характеристиками положення центра розподілу є:

- середнє арифметичне значень, що спостерігаються, яке визначається з виразу:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i. \quad (2.7)$$

- мода – значення, що найчастіше трапляється у статистичному ряді;
- медіана – значення параметра, що поділяє упорядкований ряд на дві рівні за обсягом частини.

○ До характеристик розсіювання зараховують:

- розмах $R = X_{\max} - X_{\min}$ – різниця між найбільшим і найменшим значеннями випадкової величини;
- вибіркова дисперсія – величина, що вказує, наскільки тісно групуються значення навколо середнього арифметичного або як вони розсіюються навколо нього. Вибіркова дисперсія визначається як:

$$S^{*2} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2. \quad (2.8)$$

- стандартне відхилення S^* – оцінка СКВ;
- коефіцієнт варіації – відносна міра розсіювання окремих значень навколо середнього арифметичного.

Отримані з виразів (2.7) і (2.8) середнє арифметичне та вибіркова дисперсія є оцінками відповідних числових характеристик: математичного очікування m_x і дисперсії σ_x . За малих обсягів вибірки, що часто наявні у практиці сертифікації, оцінка дисперсії S^{*2} є зміщеною. Для отримання незміщеної оцінки дисперсії, тобто такої, математичне очікування якої дорівнює дійсному значенню досліджуваної величини, використовується співвідношення:

$$S^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2. \quad (2.9)$$

Відповідно (2.9) стандартне відхилення визначатиметься як:

$$S = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}. \quad (2.10)$$

Якщо процес налагоджений і контролюється, то розподіл значень спостережуваного параметра якості буде близьким до закону Гауса (нормального закону). Нормальний закон виникає, якщо сумарна похибка вимірювання утворюється кількома незалежними складовими випадковими величинами за умови, що серед них відсутні величини зі стандартними відхиленнями, що різко відрізняються від інших. Кожна з випадкових величин, що впливають на параметр якості, може підкорятися будь-якому іншому закону розподілу ймовірностей.

Як відомо, площа під функцією щільності розподілу ймовірностей випадкової величини, відповідно до правила нормування, дорівнює одиниці, тобто відображає ймовірність усіх можливих значень випадкової величини.

Якщо задатися певним інтервалом значень випадкової величини, можна визначити ймовірність її появи у цьому інтервалі (рисунок 2.3). Зазначені характеристики відповідно називають довірчим інтервалом і довірчою ймовірністю, а разом вони складають інтервальну оцінку випадкової величини.

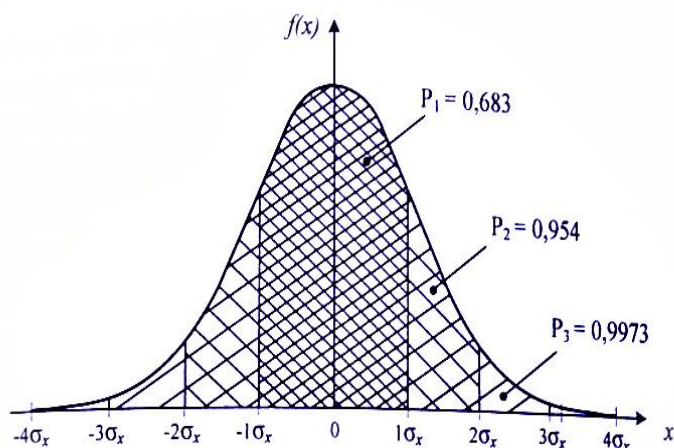


Рисунок 2.3 – Інтервальна оцінка випадкової величини

У практиці контролю і вимірювань часто користуються довірчим інтервалом від $-3\sigma_x$ до $+3\sigma_x$, для якого довірна ймовірність $P = 0,9973$ або $99,73\%$. Зі зменшенням довірчого інтервалу знижується ймовірність появи випадкової величини в ньому. Так, в інтервалі $\pm 2\sigma_x$ випадкова величина знаходиться з ймовірністю $P = 0,954$, а в інтервалі $\pm 1\sigma_x$ – з ймовірністю $P = 0,683$. Інтервальні оцінки використовують у вибірковому контролі під час завдання границь допуску контрольованого параметра, а також у технічних вимірюваннях для визначення випадкової похибки результату вимірювання.

У тих випадках, коли поява значень контрольованого параметра за границями довірчого інтервалу може привести до істотних витрат або виробник приймає зобов'язання з підвищення якості продукції (послуг), довірчий інтервал розширюють, наприклад до $\pm 4\sigma_x$. Ступінь довіри до такого результату відповідно підвищується до $P = 0,999936$ ($99,9936\%$) [51].

2.3. Аналіз стану виробничих процесів управління якістю

Однією з основних задач забезпечення ефективності виробничих процесів є обґрунтований вибір допустимих відхилень від номінальних значень відповідних первинних чинників, які в умовах серійного виробництва будуть гарантувати отримання вихідних характеристик виробу у передбачених ТУ межах.

Описані в літературі методи розв'язку вказаної задачі можна поділити на три основні групи, що відповідають еволюції підходів до її постановки. Розроблення і розвиток методів, що стосуються кожної групи, історично були зумовлені зростанням рівня складності систем, їхньої конструкції і, відповідно, виробничих процесів їх виготовлення, ускладненням умов експлуатації і задач, що ними виконуються, а також досягнутим на відповідному етапі рівнем розвитку обчислювальної техніки, засобів виробництва і ступенем автоматизації. Характерною відмінністю методів однієї групи від іншої є конкретні цілі, що ставляться перед дослідниками і розробниками об'єктів на тому чи іншому етапі, а також методи їхнього досягнення.

Охарактеризуємо методи кожної з цих груп. Для отримання найкращого уявлення про стан проблеми технологічності виробів і ефективності виробничих процесів їх виробництва разом з методами синтезу допусків розглянемо і методи їх аналізу, а також інші питання, пов'язані з особливостями практичної реалізації кожного типу вказаних методів.

До першої групи можна зарахувати методи одержання будь-якого з можливих сполучень допусків на первинні фактори об'єктів, їхніх конструкцій і процесів їх виготовлення, що забезпечують їхню працездатність, точність, надійність та інші характеристики якості. Відповідно до способів одержання розв'язку представників цієї групи можна поділити на розрахунково-експериментальні, розрахунково-аналітичні та статистичні методи.

До розрахунково-експериментальних зараховують методи граничних і матричних випробувань.

Метод граничних випробувань [113–115] дає змогу розв'язувати як задачу аналізу, так і синтезу допусків, ґрунтується на визначенні розрахунковим шляхом граничного параметра, тобто того з первинних факторів, який найбільше впливає на вихідну характеристику, і побудові за результатами випробувань сфери працездатності в просторі двох первинних факторів (граничного параметра і будь-якого з решти факторів). Цей метод отримав широке застосування завдяки порівняно простій реалізації. Тим не менше, він має суттєвий недолік – проведення досліджень значень вихідної характеристики за одночасної зміни лише двох первинних факторів.

Метод матричних випробувань позбавлений цього недоліку і вважається вдосконаленням попереднього методу [113]. Суть полягає в моделюванні сфери сталої роботи виробу під час випробування за всіх значень первинних факторів. Перевагою цього методу є можливість поділу допусків на первинні фактори з врахуванням їхнього взаємного впливу на вихідну характеристику. До недоліків слід зарахувати трудомісткість обчислень під час дослідження вихідних характеристик, які залежать від великої кількості первинних факторів.

Загальним недоліком розрахунково-експериментальних методів є те, що в разі їх використання визначення допусків починається на підготовчому етапі і продовжується на всіх етапах проектування, а подальше уточнення допусків проводиться під час серійного виробництва й експлуатації. З розвитком складних об'єктів деякі етапи налаштування, на яких забезпечувалась відповідність вихідних характеристик заданим вимогам, стають взагалі нездійсненним.

Отже, вимоги визначення допусків на етапі вибору і розрахунок конструкції виробу зумовили перехід від емпіричного способу їх встановлення до розрахункового.

Розрахунково-аналітичний метод визначення допусків зумовлює встановлення залежностей, по-перше, між вихідними характеристиками об'єкта і їхніми первинними факторами (математичних моделей), і, по-друге, зміни вихідних характеристик виробів або їхніх вузлів від розкиду первинних факторів. Зупинимось докладніше на способах встановлення кожного з вказаних видів залежностей.

Питання побудови математичних моделей об'єктів і технологічних процесів їх виготовлення, що відображають залежності їхніх вихідних характеристик від первинних факторів, висвітлено у значній кількості робіт, наприклад [116], а також звернуто на них увагу практично в кожній роботі, в якій розглянуто проблеми проектування, точності, надійності технічних виробів [113, 117], адже адекватність математичних моделей реальним об'єктам і процесам є однією з основних умов ефективного використання будь-яких розрахункових методів забезпечення якості на етапах проектування і виробництва.

У роботах [118–120] досліджено загальні проблеми моделювання, розглянуто різноманітні варіанти класифікації математичних моделей, основні принципи їхньої побудови, головні властивості, вимоги до них та інші питання. Поклавши в основу класифікації способи побудови математичних моделей, їх можна поділити на аналітичні (детерміновані) та статистичні.

Аналітичні моделі, одержання яких потребує знань особливостей внутрішніх процесів досліджуваного об'єкта або процесу, можна запозичити з

літератури або з уже розроблених схем аналогічних об'єктів, або ж вони потребують проведення спеціальних досліджень.

Основними напрямками проблеми точності виробничих процесів є дослідження виробничих похибок, обґрунтування розрахунку допусків, конструктивне і технологічне забезпечення розрахункових методів. Розв'язок цих питань потребує передовсім дослідження законів розподілу виробничих процесів.

Треба зазначити, що дослідження законів розподілу становить важливу проблему. Її доводиться вирішувати в разі ідентифікації виробничих процесів, розроблення нормативної документації, контролю якості продукції, що випускається, прогнозування ресурсів виробів, що експлуатуються і в низці інших задач забезпечення якості виробів, причому значення величин, що контролюються, визначають випробовуючи дослідні зразки з подальшим обробленням експериментальних матеріалів методами математичної статистики.

Найзагальнішою задачею математичної статистики є вибір статистичної моделі розподілу досліджуваних ознак, що містить оцінку невідомих законів розподілу і їхніх параметрів, перевірку статистичних гіпотез тощо. Метою побудови статистичної моделі є представлення даних спостережень через підбір апроксимувального розподілу. Історично склалося так, що нормальний розподіл вважався майже всеосяжною статистичною моделлю через достатньо загальні умови його появи [121]. Тому більшість статистичних критеріїв, методів і оцінок розроблені саме для цього закону.

Водночас таке судження не завжди відповідає реальності. Так, наприклад, у [122] вказано, що нормальний закон розподілу нормованих значень можна отримати лише під час виконання значної кількості умов: у вибірці представлено одну партію виробів, немає доміантних причин виникнення похибок, не змінюється в часі кількість випадкових чинників, які зумовлюють виникнення похибок, усі випадкові чинники є взаємонезалежними тощо.

Наприклад, під час виробництва часто відбувається зміщення партій деталей або відбір деталей або готових виробів із виробничих партій, що призводить до спотворення характеру розподілів [113, 122].

У роботі [122] представлено види таких розподілів і розв'язано задачу визначення виду і параметрів результуючої кривої за заданими видами і параметрами складових законів розподілу. Однак під час побудови статистичних моделей розподілу найважливішою є зворотна задача, оскільки структура отриманих за вибіркових спостережень даних, як правило, невідома. Це задача визначення кількості, частки і параметрів кожної із підвбірок (партій, що змішуються) в загальній вибірці (змішаному розподілі).

У нечисленних літературних джерелах, у яких розглянуто питання визначення параметрів змішаних складових розподілів [123], трапляються два протилежні судження. Так, якщо у [121] стверджується, що багатомодальні розподіли поки що не вдавалось апроксимувати відомими законами, то у [123] вказано, що для змішуваних відомих розподілів можливо для цієї емпіричної функції розподілу дібрати відповідну їй аналітичну функцію, щоправда, без опису способу такого добору.

У важливості і необхідності вміння обробляти статистичні матеріали, які підпорядковуються багатомодальним законам розподілу, впевнені багато авторів [118, 123, 124], оскільки невміння працювати з такими статистичними матеріалами наносить колосальну шкоду виробництву через складність застосування науково-обґрунтованих статистичних методів контролю і керування якістю продукції та перешкоджає впровадженню статистичних методів розрахунку виробів [113].

У роботах [125–126] розглянуто питання заміни ненормальних законів розподілу порівняно невеликою кількістю нормальних складових для обчислення імовірності працездатності виробу, вираженої багатомірним інтегралом за ділянкою працездатності від спільної функції розподілу імовірностей первинних факторів виробу. У [125] розбиття окремих законів розподілу ймовірностей на складові запропоновано проводити за допомогою прирівнювання моментів емпіричної та припустимої аналітичної функції розподілу ймовірностей.

У [122] той самий нормальний розподіл пропонують здійснювати на основі умови мінімальної кількості складових так, щоб забезпечити задовільне

узгодження суміші нормальних розподілів з результатами експерименту на основі критерію X^2 або інших статистичних критеріїв.

Усі запропоновані підходи мають недоліки. По-перше, розглянуто змішування тільки нормальних законів, тоді як можна було б змішувати і будь-які інші одномодальні закони розподілу ймовірностей. По-друге, застосування ідеї, викладеної в [125], важко реалізується через складність визначення оцінок моментів третього і вище порядків, які, до того ж, дуже чутливі до крайніх елементів вибірки і зазнають суттєвих коливань від вибірки до вибірки, тобто побудовані на їхній основі статистичні моделі виявляються чутливими до індивідуальних особливостей вибірки. Вказаних недоліків позбавлений метод, в основу якого покладено наближення емпіричної функції розподілу аналітичній на основі критерію максимальної правдоподібності [127].

Незважаючи на високу теоретичну цінність, при розв'язку практичних задач всі описані методи зазвичай не застосовують, оскільки змішування густини ймовірностей, як правило, задають не графіками, а деякими кінцевими вибірками реалізацій випадкової величини, що їх подають у зручному для оброблення вигляді, наприклад, у вигляді гістограми. Сама по собі гістограма дає можливість прогнозувати величину досліджуваного параметра лише на обмеженому інтервалі. Для побудови статистичної моделі розподілу й обґрунтованого прогнозування малих ймовірностей необхідно наблизити її деякій аналітичній функції з продовженням останньої на числову вісь. Отже, вибір статистичної моделі розподілу визначається видом гістограми, який, своєю чергою, суттєво залежить від способу її побудови, і, особливо, від вибраного кроку інтервалу значень.

Рекомендації з вибору кроку розбиття інтервалу значень досліджуваної випадкової величини, які є в літературі з теорії ймовірностей і математичної статистики, є винятково емпіричними. Зокрема, Е. С. Вентцель [128] зазначає, що кількість кроків не має бути занадто великою (тоді ряд розподілу стає невиразним, і частоти виявляють в ньому нерівномірні коливання); з іншого боку вона не має бути занадто малою (за малої кількості кроків властивості розподілу

описано статистичним рядом занадто загально). У роботах [121, 125, 129] теж подано рекомендації із вибору кількості інтервалів, але незважаючи на широке практичне використання вказаних рекомендацій, залишається відкритим питання обґрунтування вибору кроку розбиття інтервалу значень досліджуваної випадкової величини так, щоб побудований статистичний ряд і гістограма відповідали дійсній структурі даних і забезпечували розуміння цієї структури, зокрема, наявності змішування розподілів.

Враховуючи основні напрями теорії точності, необхідно розглянути принципи побудови рівнянь похибок, на яких, своєю чергою, ґрунтуються методи розрахунку меж допусків виробничих процесів.

2.4. Закономірності розподілу дійсних значень показників якості

Серед найпоширеніших нормованих показників якості виробництва є точність розміру та точність форми. Ці показники переважно визначають якість виробу, якість роботи технологічного обладнання і якість виробничих процесів на виробництві, тому доцільно буде розглянути моделі розподілу їхніх значень.

Для виробничого процесу механічного опрацювання деталей характерними є такі особливості: велика кількість чинників, які впливають на якість деталей, велика різноманітність окремих чинників, складність управління більшістю чинників у зв'язку з їхнім випадковим характером змін. Вплив на перебіг виробничого процесу великої кількості керованих і некерованих чинників призводить до розкиду показників процесу.

Загалом можна виділити такі властивості відповідної моделі того чи іншого чинника, який може бути зростаючим, спадаючим або емпічним.

1. Відомий або випадковий – мається на увазі те, що чинник змінюється за вже відомим законом або випадково. Так, наприклад, за наявності вібрації товщина зрізаної деталі змінюється випадково, хоч і підпорядковується нормальному закону розподілу.

2. Монотонний або нестійкий. Мається на увазі те, що закон зміни чинника може бути як безперервним, так і мати розриви. Зміна швидкості стинання,

товщини стинання під час наточування вважається безперервною. Під час оброблення переривчастих поверхонь (“стинання–відпочинок”), закон зміни товщини стинання має ділянки розриву. Аналогічно, під час оброблення поверхні різного походження матеріалів, коли в законі зміни механічних властивостей виробничого матеріалу є точки, в яких ці властивості вимірюється стрибкоподібно.

3. Залежний або незалежний. Властивість характеризує залежність конкретного чинника від іншої кількості чинників, які його визначають. Так, параметри стинання будуть залежати не тільки від вибраної кінематики стинання, але і від розмірів і стану поверхні елемента який ми стинаємо.

4. Керований або некерований. Ця властивість характеризує можливість безпосереднього впливу одних чинників на закони зміни інших чинників. Так, наприклад, можна вказати геометрію леза інструменту, перелік приладів, зовнішні умови, але неможливо вибрати матеріал продукції, його властивості і закони їхнього розподілу (вказує розробник).

Так, модель розподілу показників якості оброблення загалом може залежати від будь-якого із чинників: зміни швидкості стинання, товщини стинання, геометрії леза, властивостей матеріалу і приладу.

Вплив на перебіг виробничого процесу значної кількості керованих і некерованих чинників вимагає для його об’єктивного аналізу й ефективного управління застосування статистичних методів контролю та ефективного управління якістю. Порівняння різних кількісних показників, причиново-наслідковий аналіз дії різних чинників, з’ясування причин тенденцій зміни показників у різні періоди або в інакших умовах, встановлення на цій основі прогнозованої норми поведінки, а відтак передбачення можливих результатів визначених фіксованих значень – в цьому і полягає цінність статистичних методів управління якістю.

Ефективність і економічність статистичних методів управління якістю визначається достовірністю визначення статистичних характеристик процесу розподілу показників якості виробів згідно з даними з вибірки.

Розкид дійсних значень показників якості описується моделлю розподілу, яка характеризується параметрами і її числовими характеристиками. Визначення моделі розподілу випадкових величин показників якості, займає одне із перших місць під час управління якістю статистичними методами.

Модель розподілу дійсних значень показників якості виробів зумовлена, в крайньому випадку, такими видами розкиду [156]:

Розкид внаслідок налаштування параметрів інструменту. Спостерігається під час налаштування інструменту і пояснюється неточністю приладу та індивідуальними помилками працівника. Такий розкид може належати до закону близького до нормального закону розподілу.

Внаслідок розкиду в разі налаштування (під час оброблення пробних деталей у разі налаштування приладу). Тут до випадкових похибок, вказаних вище, додаються похибки, зумовлені неоднорідністю заготовок пробних деталей, а також деякі систематичні змінні похибки, наприклад нагрівання приладу або початок його зношування, які виникають у період налаштування.

Розкид, який залежить від впливу випадкових похибок під час оброблення різних деталей партії. Для різних деталей партії розкид значень є різним.

Розкид у межах партії – є наслідком впливу, крім випадкових, так і систематичних похибок.

Розкид під час розгляду сукупності деталей, оброблених за різних налаштувань і навіть на різних приладах. У цьому випадку розкид спричинений впливом похибок усіх видів, зокрема систематичних постійних похибок, у межах кожного налаштування. Цей розкид є найбільший порівняно з попередніми розкидами. Без урахування інформації моделі розподілу показників якості продукції та виробничих процесів її виготовлення неможливо ефективно управляти їхньою якістю, оскільки знання про модель розподілу становить сукупність інформації, яка дає можливість зменшити ступінь невизначеності під час пошуку оптимальних рішень.

2.5. Часові розподіли показників якості виробничого процесу

Важливим критерієм оцінювання виробничого процесу є його поведінка з плином часу. З цього може бути прийняте рішення про те, чи процес керований чи ні, адже передумовою для цілеспрямованого поліпшення процесу є отримання керованого процесу [130, 132, 145].

Процес можна вважати керованим, якщо він має сталу поведінку (режим роботи), і з плином часу ця поведінка слідує попередньо визначеній закономірності, а якщо і змінюється, то ці зміни не виходять за зазначені межі [50].

Моделі часових розподілів можна зарахувати до однієї з чотирьох груп залежно від того, є чи є параметри дисперсії і розташування постійними чи змінними (таблиця 2.1) [50, 131]:

а) Модель А – описує процес, у якого параметри розташування і дисперсії є постійними в часі. Тільки в цьому разі всі миттєві розподіли збігаються з розподілом об'єднаної вибірки;

б) Модель В – описує процес, у якого параметри дисперсії процесу змінюються в часі, а параметр розташування залишається сталим;

с) Модель С – описує процес, у якого параметр дисперсії є сталим, а параметр розташування змінюється в часі;

д) Модель D – параметри дисперсії процесу і параметри розподілу змінюються в часі, процес є некерованим.

Таблиця 2.1 – Моделі часових розподілів

Характеристики розподілу	Розташування $\mu_m(t)$ постійна	Розташування $\mu_m(t)$ змінна
Дисперсія $\sigma_m(t)$, постійна	А	С
Дисперсія $\sigma_m(t)$, змінна	В	D

Крім того, моделі можна класифікувати за типом змін моментів розподілу залежно від того, є зміни випадковими і / або систематичними.

Розрізняють також підкласи моделей розподілу А і С, через їх широке практичне застосування. Моделі відрізняються за типом розподілу і наявністю / відсутністю стану статистичної керованості. У таблиці 2.2 наведено основні характеристики часових моделей розподілу. Їхні графічні зображення наведено на рисунках 2.4 – 2.11, у яких для кожної часової моделі розподілу зображено декілька миттєвих розподілів [131].

Таблиця 2.2 – Основні характеристики часових моделей розподілу

Характеристика розподілу	Моделі залежності розподілу від часу							
	A1	A2	B	C1	C2	C3	C4	D
розташування ^{a)}	C	C	C	R	R	S	SR	SR
дисперсія ^{a)}	C	C	SR	C	C	C	C	SR
миттєвий розподіл ^{b)}	ND	1M	ND	ND	ND	AS	AS	AS
отриманий розподіл ^{b)}	ND	1M	1M	ND	1M	AS	AS	AS
Графічне представлення часового розподілу (№ рис.) ^{c)}	2.4	2.5	2.6	2.7	2.8	2.9	2.10	2.11

де

a) – розташування/дисперсія:

C – параметр залишається сталим (постійним);

R – параметр змінюється в випадковому порядку;

S – параметр змінюється систематично;

SR – параметр змінюється як систематично, так і в випадковому порядку;

b) миттєвий/об'єднаний розподіл:

ND – нормальний розподіл;

1M – не нормальний розподіл;

AS – розподіл будь-якого іншого типу.

c) вибір моделі є результатом аналізу процесу.

Для часової моделі процесу A1 (рисунок 2.4) характерними є такі особливості (наприклад, розподіл результатів вимірювань характеристики якості продукції, процес виготовлення якої перебуває в стані статистичної керованості):

- параметр розміщення: постійний;
- параметр варіації (зміни): постійний;
- миттєвий розподіл: нормальний розподіл;
- отриманий розподіл: нормальний розподіл

Процес знаходиться в статистично-керованому стані.

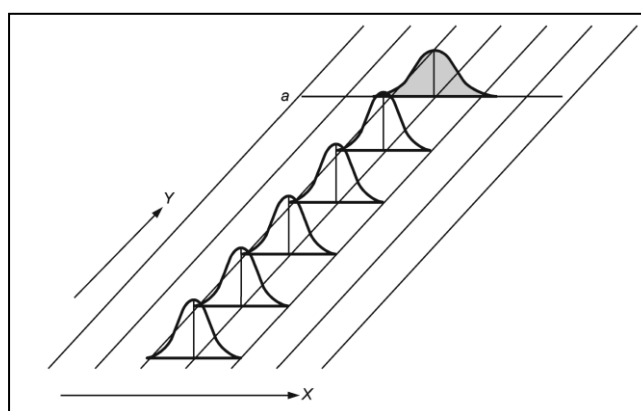


Рис. 2.4 – Графічне представлення залежності розподілу від часу (модель A1), де X – результат спостереження; Y – час; a – результат розподілу

Для моделі A2 (рисунок 2.5) характерні такі особливості (наприклад, визначення ворсистості поверхні в якості контролюваної характеристики):

- параметр розміщення: постійний;
- параметр варіації (зміни): постійний;
- миттєвий розподіл: не у вигляді нормального розподілу;
- отриманий розподіл: не у вигляді нормального розподілу.

Процес статистично-керований.

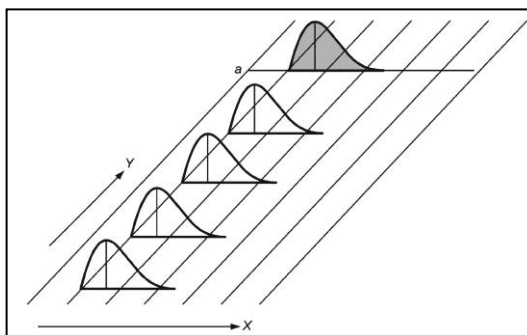


Рисунок 2.5 – Графічне представлення залежності розподілу від часу (модель А2), де X – результат спостереження; Y – час; a – результат розподілу

Для моделі В (рисунок 2.6) характерно:

- параметр розміщення: постійний;
- параметр варіації (зміни): змінюється систематично або випадково;
- миттєвий розподіл: нормальний;
- отриманий розподіл: не у вигляді нормального розподілу.

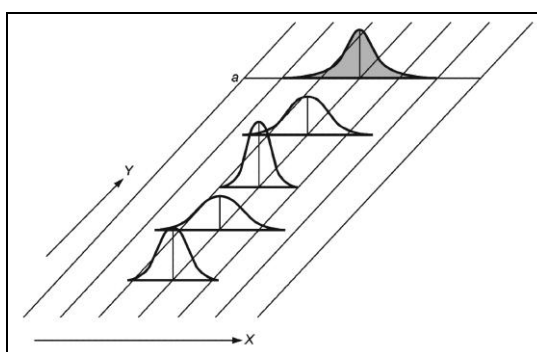


Рисунок 2.6 – Графічне представлення залежності розподілу від часу (модель В), де X – результат спостереження; Y – час; a – результат розподілу

Для часової моделі С1 (рисунок 2.7) характерно (наприклад, за різного налаштування номінального значення виробничої продукції):

- параметр розміщення: несиметричне;
- параметр варіації (зміни): постійний;
- миттєвий розподіл: нормальний;
- отриманий розподіл: нормальний розподіл.

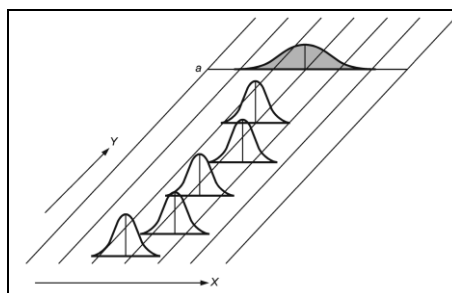


Рисунок 2.7 – Графічне представлення залежності розподілу від часу (модель С1), де X – результат спостереження; Y – час; a – результат розподілу

Для моделі С2 (рисунок 2.8) характерно (наприклад, не закручується гайка):

- параметр розміщення: несиметричне (систематичні зміни);
- параметр варіації (зміни): постійний;
- миттєвий розподіл: нормальний;
- отриманий розподіл: не у вигляді нормального розподілу.

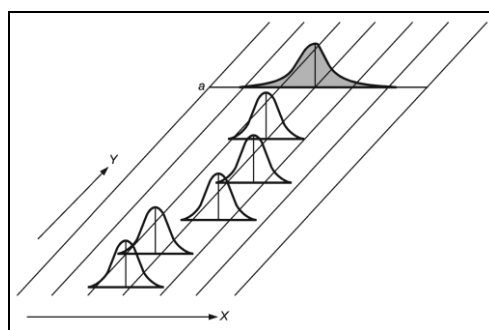


Рисунок 2.8 – Графічне представлення залежності розподілу від часу (модель С2), де X – результат спостереження; Y – час; a – результат розподілу

Для часової моделі процесу С3 (рисунок 2.9) характерними є такі особливості (наприклад, у разі зношування інструмента):

- параметр розміщення: функція часу;
- параметр варіації (зміни): постійний;
- миттєвий розподіл: будь-який;
- отриманий розподіл: будь-який.

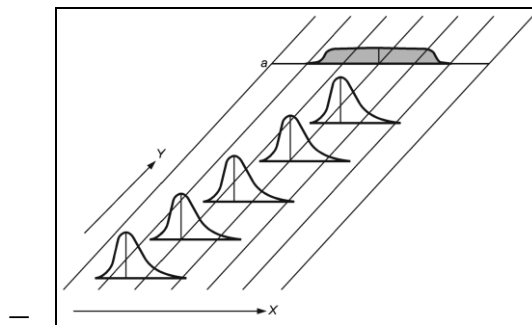


Рисунок 2.9 – Графічне представлення залежності розподілу від часу (модель С3), де X – результат спостереження; Y – час; a – результат розподілу

Для моделі С4 (рисунок 2.10) характерно (наприклад, різні партії):

- параметр розміщення: змінюється систематично або випадково;
- параметр варіації (зміни): постійний;
- миттєвий розподіл: будь-який;
- отриманий розподіл: будь-який.

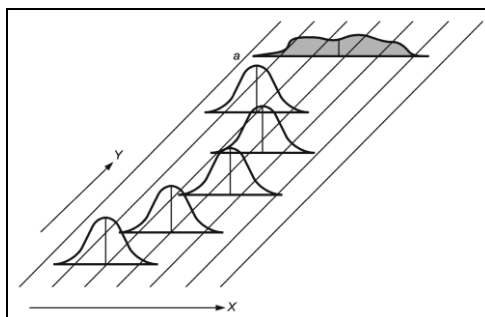


Рисунок 2.10 – Графічне представлення залежності розподілу від часу (модель С4), де X – результат спостереження; Y – час; a – результат розподілу

Для часової моделі процесу D (рисунок 2.11) характерними є такі особливості (наприклад, при багатофункціональних процесах):

- параметр розміщення: змінюється систематично або випадково;
- параметр варіації (зміни): змінюється систематично або випадково;
- миттєвий розподіл: будь-який;
- отриманий розподіл: будь-який.

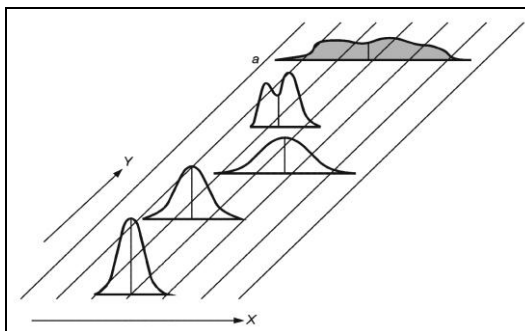


Рисунок 2.11 – Графічне представлення залежності розподілу від часу (модель D), де X – результат спостереження; Y – час; a – результат розподілу

2.6. Сучасні методики статистичного управління та оцінка якості продукції, процесів та послуг

Розвиток промислового виробництва привів до того, що сучасні промислові підприємства в організаційному аспекті стали масштабними та складними виробничо-технологічними системами [129, 134]. Це призводить до складностей у прогнозуванні, плануванні й управлінні діяльністю таких систем для досягнення максимальної ефективності їхнього функціонування. Високі технології, високоточне технічне забезпечення та належний рівень підготовки робітників, самі по собі ще не гарантують досягнення високих економічних результатів. Для цього необхідно забезпечити належну організацію їхнього функціонування у комплексі як єдиної системи. Ця система діє у певних техніко-економічних умовах, які формують відповідні технічні й економічні обмеження виробництва та зумовлюють необхідність узгодження його технології, можливостей та параметрів, рівня підготовки кадрів і обсягів фінансового забезпечення з рівнем складності умов виробництва і вимог до його технічних та економічних результатів.

Таке узгодження здійснюється під час організаційно-технологічної підготовки виробництва, під час якої вирішують такі питання: за якою методологією необхідно здійснювати виробництво; які повинні бути задіяні технічні засоби виробництва (машини, обладнання), у якій кількості і з якими характеристиками; як повинна бути організована система управління

виробництвом; які необхідні спеціалісти, їхні професії, кваліфікаційний рівень, кількість; як усі ці елементи виробництва повинні взаємодіяти у виробничому процесі (послідовність їх включення у процес, зв'язки між ними). Тобто, це задачі управління виробничими процесами. Крім того, підприємства які прагнуть покращення вважають якість процесу виробництва одним з найвпливовіших параметрів [135, 136, 145–147].

Управління виробничими процесами становить комплекс дій, які повинна виконувати організація з метою отримання якісної, бездефектної продукції.

Підвищення конкурентноспроможності на всіх етапах виробництва відображається в постійному прагненні до покращення виробничих процесів та їхніх методик управління. Останнє передбачає організаційний та науковий інтерес до теорії обмежень (ТОС), ощадливого виробництва та шести сигм, що їх застосовують для покращення виробництва.

Теорія обмежень

Теорія обмежень (ТОС) – універсальна філософія управління, яку розробив фізик Еліях Голдратт і представив у 1984 році в його книжці під назвою “Ціль”. Відповідно до “Цілі”, теорія обмежень – це логічно-послідовний підхід, який зосереджується на покращенні цілісної системи. [137]. Це працює на рівні причинно-наслідкового ланцюга, який визначає найслабші ланки чи обмеження в будь-якій частині виробничого процесу чи системи загалом (рис. 2.12) [135, 138, 145, 147].

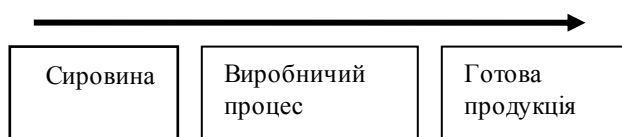


Рисунок 2.12 – Межі виробничого процесу

Згідно з теорією обмежень (ТОС) підприємство розглядають як систему (сукупність взаємопов'язаних елементів), що створюється для досягнення певної цілі. Тому перш ніж покращувати окремі складові системи, потрібно визначити

глобальну ціль і показники, за допомогою яких можна судити про вплив кожної підсистеми і кожного локального рішення на глобальну ціль.

Обмеження (“вузьке місце”) – це те, що заважає системі досягти вищої ефективності на шляху до поставленої цілі.

Теорія обмежень Голдратта виходить з того, що в кожен конкретний момент часу в системі є тільки одне обмеження. “Вузьким місцем” може бути будь-яка ділянка підприємства – цех, склад, верстат і навіть конкретна людина. Якщо б не було обмежень, то прибуток компанії був би безмежним.

Водночас обмеження є ключем до управління системою. За правильного управління обмеження може вивести усю систему на новий рівень. Направивши зусилля саме на обмеження, можна зробити істотний “прорив” у результатах діяльності компанії. Згідно з методикою, завдання управління полягає у виявленні, максимальному використанні та “розширенні” цього “вузького місця”.

Управління системою реалізується через наступні п’ять кроків, які в теорії обмежень називають “процесом безперервного вдосконалення” [9, 137]:

- 1) виявлення та ідентифікація обмежень, “вузьких місць”, критичних ресурсів системи;
- 2) визначення способів найбільш ефективного використання “вузького місця”;
- 3) використання системних обмежень як засобів моніторингу та контролю;
- 4) здійснення комплексу дій по розширенню використання “вузького місця”;
- 5) повторення першого кроку з метою запобігання інерційного ефекту, що не дасть змогу старим методам управління, а також новим (розробленим на другому і третьому кроках) методам перетворитися на нове обмеження.

Теорія обмежень успішно працює і розвивається вже протягом більше ніж тридцяти років. Компанії по всьому світу взяли її як основний управлінський підхід до управління своїми організаціями загалом або до управління певним функціональним підрозділом всередині організації (наприклад, виробництвом, логістикою, поставками або проектами). ТОС дає змогу розширити можливості практичного втілення системного підходу до проблем управління господарською діяльністю на конкретних підприємствах у реальному ринковому середовищі.

Теорія обмежень допомагає керівникам знайти ключову проблему – обмеження підприємства – і правильно керувати нею. Цей підхід істотно відрізняється від загально прийнятих, твердо ґрунтуючись на здоровому глузді. Теорія обмежень, на відміну від інших підходів, які діють локально, аналізує та керує підприємствами системно, постійно покращуючи його діяльність і формуючи конкурентні переваги.

Практику теорії обмежень в Україні становлять такі компанії, як: ВАТ “Дніпротехсервіс” (машинобудування), ЗАТ “Галичина”, ВАТ “Житомирський маслозавод” (виробники молочної продукції), Carlsberg Ukraine (виробник пива), ЗАТ “Чумак” (виробник продуктів харчування) (FMCG), ВАТ “Pharmacy” і “Аптеки гормональних препаратів” (фармація), Elit Group (дистрибуція запчастин для легкових автомобілів) ТОВ “Новий канал”, компанія “Рудь” тощо [140].

Ощадливе виробництво

Останніми роками у багатьох країнах світу активно досліджують японську систему управління підприємством, адже швидкий та успішний розвиток економіки цієї країни дав їй можливість зайняти передове місце у світі. Інтерес до японських методів управління зумовлений тим, що підприємства Японії стали лідерами у виробництві та збуті найрізноманітніших товарів: від складних електронних виробів до виробів побутового призначення.

“Ощадливе виробництво” (Lean production) – це система організації та управління розробленням продукції, виробництвом, взаємовідносинами з постачальниками і споживачами, коли продукція виготовляється в точній відповідності до запитів споживачів і з меншими втратами у порівнянні з масовим виробництвом великими партіями. “Ощадливе виробництво” – це філософія управління, започаткована в Toyota Production System [141].

Мета “Ощадливого виробництва” – позбутися всіх видів затрат та домогтися максимальної ефективності використання ресурсів через безперервне вдосконалення всіх процесів організації, спрямованих на підвищення задоволеності споживачів. Впровадити систему “ощадливе виробництво” можна завдяки значному скороченню або навіть позбавленню процесів, що не ефективні.

До прикладу таких процесів можна зарахувати: транспортування, зберігання, очікування, контроль, а також дефекти, зайві рухи, переміщення та інші. Усунення цих процесів з виробництва є достатньо складною справою. Але якщо добитися зменшення частки цих процесів в організації виробництва, можна значно зменшити витрати на виробництво і тим самим – собівартість виробленої продукції без втрати її якості.

Повністю вилучити видатки на забезпечення якості не можливо, але їх можна увідповіднити прийнятному рівню.

Шість сигм

Шість сигм – методологія, що використовується для вдосконалення якості та усунення дефектів, розроблена компанією Моторола в 1985 [9, 44, 45, 142–145, 147].

Це підхід до удосконалення бізнесу, мета якого знайти й усунути причини помилок або дефектів у процесах за допомогою зосередження на тих вихідних параметрах, які виявляються критично важливими для споживача.

Буква грецького алфавіту “сигма” в статистиці означає середнє квадратичне (стандартне) відхилення індивідуальних значень ознаки в сукупності від деякого середнього значення. Середнє квадратичне відхилення – це корінь квадратний із дисперсії.

Сутність концепції “шість сигм” полягає у зменшенні варіацій, зниженні процесів і стабілізації характеристик продукції.

Історично (з 20-х років ХХ ст.) відтворюваність процесів пов’язана з трьома сигмами. Це означає, що в процесі з фіксованим середнім значенням (математичним сподіванням) μ і середнім квадратичним відхиленням σ (СКВ) інтервал від $\mu - 3\sigma$ до $\mu + 3\sigma$ містить 99,73 % усіх можливих значень. Тут маємо на увазі, що значення процесу підпорядковані нормальному закону розподілів. Відповідно, за межами цього інтервалу залишається 0,27 % вихідних значень, які є дефектними.

Основну ідею цього підходу влучно сформулювала компанія General Electric: “Наші споживачі чутливі до розкиду, а не до середнього значення”.

Справді споживача більше цікавлять не середні статистичні дані, а якість конкретного товару, який він придбав.

Особливостями методології “Шість сигм” є: широке застосування статистичних методів, спрямованість на задоволення потреб споживача, використання інженерних методів для досягнення відчутних результатів, орієнтація на кінцевий результат.

Шість сигм концентрує всю функцію на “процесах”. Кожен процес має “середній” очікуваний вимір. Кожен вимір має деяке відхилення. Знаходження цього відхилення називають сигмою. Відповідно до цього, завданням під час виробничого процесу є скоротити відхилення за допомогою методології шість сигм, що зображено на рис. 2.13:

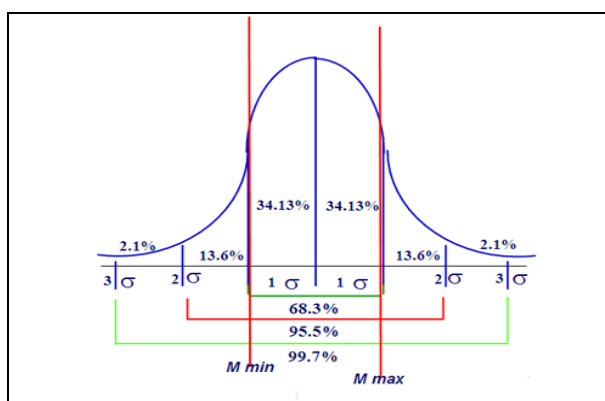


Рисунок 2.13 – Зменшуючи відхилення, зменшуємо дефекти

Ціллю шести сигм є створення процесів з надвисоким рівнем якості, а саме не більше 3,4 % дефектів на 1 мільйон (PPM – parts per million), відомими як Дефекти на мільйон можливостей (DPMO – Defects Per Million Opportunities).

Методологія “Шість сигм” з боку статистики

Нехай ми аналізуємо показник якості на виході процесу і середнє значення цього показника дорівнює μ . Практично всі проблеми якості пов’язані з варіацією процесу, навіть якщо він перебуває в статистично-керованому стані (стабільний). Значення показника розсіяні в межах середнього значення μ . Щоб виміряти цей розкид, необхідно визначити вибірку дисперсію σ^2 , яку знаходять за:

$$\sigma^2 = E(x_i - \mu)^2, \quad (2.11)$$

де E – математичне сподівання.

Значення σ – середнє квадратне відхилення може бути обґрунтоване за допомогою нерівності Чебишева, а саме, якщо деяка випадкова величина x має математичне сподівання μ і дисперсію σ^2 , то ймовірність того, що x відхилиться від свого середнього значення більше ніж на $k \sigma$ не перевищує $1/k^2$, тобто $P(x - \mu > k \sigma) \leq 1/k^2$. Така сама формула може бути в іншому, інколи зручнішому вигляді: $P(x - \mu \leq k \sigma) > 1/k^2$

Застосуємо цю формулу для різних значень k .

Отримаємо, що:

між $\mu - 2\sigma$ і $\mu + 2\sigma$ знаходяться не менше ніж 75 % усіх значень x ;

між $\mu - 3\sigma$ і $\mu + 3\sigma$ знаходяться не менше ніж 88,89 % усіх значень x ;

між $\mu - 4\sigma$ і $\mu + 4\sigma$ знаходяться не менше ніж 93,75 % усіх значень x ;

між $\mu - 5\sigma$ і $\mu + 5\sigma$ знаходяться не менше ніж 96 % усіх значень x ;

між $\mu - 6\sigma$ і $\mu + 6\sigma$ знаходяться не менше ніж 97,2 % усіх значень x .

Відповідно, для іншої інтерпретації отримаємо:

за межами $(\mu - 2\sigma; \mu + 2\sigma)$ знаходиться не більше ніж 25 % значень;

за межами $(\mu - 3\sigma; \mu + 3\sigma)$ знаходиться не більше ніж 11,11 % значень;

за межами $(\mu - 4\sigma; \mu + 4\sigma)$ знаходиться не більше ніж 6,25 % значень;

за межами $(\mu - 5\sigma; \mu + 5\sigma)$ знаходиться не більше ніж 4 % значень;

за межами $(\mu - 6\sigma; \mu + 6\sigma)$ знаходиться не більше ніж 2,77 % значень.

Проте, якщо змінна процесу має нормальний розподіл, то отримані значення можуть бути суттєво покращені.

Для нормального розподілу ймовірність того, що випадкова величина потрапить в інтервал $(\mu - k\sigma, \mu + k\sigma)$ дорівнює, як можна вирахувати, подвійному значенню інтегралу похибок Гаусса для значення аргументу, що дорівнює k .
Відповідно:

за межами $(\mu - 2\sigma; \mu + 2\sigma)$ знаходиться не більше ніж 4,55 % значень;

за межами $(\mu - 3\sigma; \mu + 3\sigma)$ знаходиться не більше ніж 0,269992% значень;

за межами $(\mu - 4\sigma; \mu + 4\sigma)$ знаходиться не більше ніж 0,0063372 % значень;

за межами ($\mu-5\sigma$; $\mu+5\sigma$) знаходиться не більше ніж 5,7421 % значень;
за межами ($\mu-6\sigma$; $\mu+6\sigma$) знаходиться не більше ніж 19,80242 % значень.

Зменшуючи відхилення і середнє значення – суть Шести сигм, Дефекти на мільйон можливостей для різних значень сигм, подані в табл. 2.3 [148].

Таблиця 2.3 – Сигма і відповідні значення PPM

Sigma	Per cent Yield	PPM
6	99,9997%	3,4
5	99,98%	233
4	99,4%	6,210
3	93,3%	66,807
2	69,1%	308,537
1	30,9%	691,462

Основною метою методології “шість сигм” є зменшення відхилення процесу і впорядкування характеристик продукції.

Основну ідею цього підходу влучно сформулювала компанія General Electric: “Наші споживачі чутливі до розкиду, а не до середнього значення”. Справді, споживача більше цікавлять не середні статистичні дані, а якість конкретного товару, який він придбав.

Широке застосування статистичних методів, спрямованість на задоволення потреб споживача, використання інженерних методів для досягнення відчутних результатів, орієнтація на кінцевий результат є основною ідеєю методології “шість сигм”.

Найвідомішими світовими компаніями, які використовують культуру шість сигм є:

General Electric Co., General Motors Co., Honeywell Inc., Ford Motor Co., Tyco Electronics Corp., Motorola Inc, та інші [149–150].

Ці три методи (таблиця 2.4) орієнтовані на клієнта і спрямовані на забезпечення кращих результатів. Однак ці підходи керуються до поліпшення з різних сторін. Хоч це не означає, що вони не сумісні, радше, можна сказати, що вони доповнюють один одного.

Необхідно визначити з трьох методів один, який працюватиме найкраще в конкретній ситуації, замість того, щоб використовувати тільки один метод.

Таблиця 2.4 – Нові методології для покращення якості виготовлення продукції і контролю виробничих процесів

Методологія	Опис
Теорія обмежень (ТОС)	Логічно-послідовний підхід, який зосереджується на покращенні цілісної системи. Працює на рівні ланцюга, який визначає найслабші ланки чи обмеження в будь-якій частині виробничого процесу чи системи загалом
Ощадливе виробництво	Підхід скорочення або позбавлення процесів, які не є ефективні, завдяки якому можна значно зменшити витрати на виробництво, а відповідно і на собівартість виробленої продукції без втрати її якості
Шість сигм	Підхід, який концентрує всю увагу на зменшенні відхилень параметрів процесу. Кожному процесу відповідає “середній” очікуваний вимір. Кожен вимір має деяке відхилення. Знаходження цього відхилення приводить до величини, яку називають сигмою. Відповідно до цього, завданням під час виробничого процесу є скоротити відхилення за допомогою методології шість сигм

Іноді проблема або проблеми поширені і видимі, де вибір одного з цих методів не є великою проблемою. Але час від часу деякі питання є складнішими і вимагають належної оцінки та переоцінки ключових процесів, що потребує більш ніж одну методологію, яка буде інтегрована. У таких ситуаціях ТОС, Lean і Six Sigma може виступати як повний набір інструментів. Як вирішити, яку і коли методологію використовувати для поліпшення? У більшості частини підприємства є обмеження. Таким чином ініціативи покращення мають бути оцінені і розподілені за пріоритетами в контексті їхнього впливу на послідовні обмеження компанії. Тут ТОС забезпечує основу для вимірювання та визначає і дає змогу визначити, де потрібно зосередитись (Додаток Б).

Теорія обмежень надає підхід, щоб знайти і визначити вузьке місце на виробництві і дає змогу краще впровадити Lean або Six-Sigma. Це призведе до чіткої орієнтації під час визначення фази Six-Sigma і гарантує, що проект стартує

в правильному напрямку і з кінцевою метою для вирішення основних питань діяльності компанії.

Крім того, вибір будь-якої такої методології залежить від виду проблеми і культури організації. Якщо проблема потребує аналітичного і систематичного підходу, комбінація ТОС і Six-Sigma може працювати краще, а якщо необхідно візуальні зміни в короткий проміжок, то застосовуючи системний підхід, можна об'єднати Lean і ТОС. Отже, коли необхідно збільшити пропускну здатність і водночас відповідати очікуванням клієнтів разом з додаванням цінності для споживача – потрібно правильне поєднання цих методів поліпшення. Однак, перш ніж почати з таких проектів вкрай важливо, щоб виробництво було готове прийняти його. Крім того, треба визначити час, з яким обраний спосіб буде прийнято на підприємстві.

Якщо один з цих методологій вже використовується, або ще не використовується але планується, в будь-якому випадку завдяки правильному поєднанні цих трьох методологій можна отримати значно кращі результати, ніж використовуючи одну з них. Найпотужніший спосіб інтеграції ТОС, Lean і Six-Sigma починається з правильної стратегії. Теорія обмежень може отримати кращий ефект використання в поєднанні з методологією шість сигм, використовуючи методологію ощадливого виробництва можна значно зменшити витрати на виробництво.

Методи ТОС, Lean і Six-Sigma сумісні один з одним і доповнюють один одного. За допомогою правильного інструменту, роботу можна зробити, відповівши правильно на запитання. Такий комплексний підхід забезпечує можливість сфокусованого і довготривалого покращення, що підвищить ефективність роботи організації чи підприємства та виробничих процесів в цілому.

Висновки до розділу 2

1. Здійснено системне дослідження методів статистичного аналізу та їх складових з метою визначення їх доцільності використання залежно від цілей СУЯ процесів.

2. Проаналізовано статистичні методи згідно з їхньою класифікацією для контролю виробничих процесів і якості продукції та визначено їхні особливості. Встановлено, що досліджувані методи мають суттєві економічні та організаційні переваги, сприяють швидкому покращенню виробничих процесів, підвищенню якості продукції, послуг.

3. Проаналізовано стан виробничих процесів в управлінні якістю. У результаті аналізу встановлено, що основними напрямками проблеми точності виробництва є ідентифікація законів розподілу показників якості виробничих процесів та вибір статистичної моделі розподілу досліджуваних ознак.

4. Досліджено моделі часових розподілів та їхні основні характеристики, які дають можливість отримати розподіл вибірки продукції для відповідного процесу і описати його в вигляді моделі залежності розподілу від часу, яка відображає:

- миттєвий розподіл досліджуваної характеристики;
- зміну параметрів розташування, зміни і форми під час спостереження за процесом.

5. Розглянуто та охарактеризовано сучасні методології з забезпечення якості виробничих процесів і продукції, та доведено доцільність комплексного застосування методологій Теорії обмежень, Ощадливого виробництва та Шести сигм для покращення якості виготовлення продукції і контролю виробничих процесів в умовах сучасного розвитку виробництва.

РОЗДІЛ 3

МЕТОД ДОСЛІДЖЕННЯ ПРИДАТНОСТІ ВИРОБНИЧИХ ПРОЦЕСІВ ДЛЯ ВИМІРНИХ ХАРАКТЕРИСТИК

Якість деталей, та відповідно виробничих процесів, оцінюють на основі отриманих значень розподілу під час виробничого процесу, що дає можливість оцінити, спрогнозувати і керувати виробничим процесом. Розкид отриманих значень показників якості, як випадкових величин, описується моделлю розподілу, яка характеризується параметрами і її числовими характеристиками. Побудова та ідентифікація моделей згідно отриманих даних займає одне з перших місць при управлінні якістю статистичними методами.

Завданням дослідження є:

1. Розроблення математичної моделі виробничого процесу з урахуванням інтегральної функції розподілу, за допомогою якої можна було б прогнозувати розвиток поведінки процесів в часі.
2. Побудова адекватної моделі розподілу комплексного показника якості як випадкової величини і знаходження її числових характеристик;
3. Розроблення методики знаходження та ідентифікації моделей розподілу показників якості як випадкового значення.

3.1. Математичне моделювання в забезпеченні контролю якості процесів

Метою математичного моделювання в забезпеченні контролю за процесами є отримання, обробка, представлення і використання інформації про об'єкти, які взаємодіють між собою і зовнішнім середовищем, а модель тут виступає як засіб пізнання властивостей і закономірностей поведінки об'єкту. Методи моделювання широко використовуються в різних сферах людської діяльності, особливо в сферах прогнозування, проектування і управління, де основними є процеси ухвалення ефективних рішень на основі інформації, що отримується.

На сьогоднішній день найбільш ефективними математичними моделями, за допомогою яких можна прогнозувати розвиток процесів, є ті, під час побудови яких використовуються часові ряди.

Нагадаємо, що часовий ряд – це сукупність значень випадкового процесу, взятих через рівні проміжки часу t .

Необхідною умовою контролю процесами є знання функції, що визначає час роботи об'єкта, в якому згідно з вимогами споживача об'єкт спроможний виконувати необхідну функцію відповідно до експлуатаційних умов.

Цю функцію можна представити як залежність від множини незалежних випадкових величин у формі:

$$T = f(x_1, \dots, x_n), \quad (3.1)$$

де T – час роботи об'єкту, після якого настає втрата якості нижче від встановленого рівня, наприклад, це може бути період міцності;

x_1, \dots, x_n – множина незалежних випадкових величин (параметрів процесу).

Необхідно наголосити, що випадковість змінних x_1, \dots, x_n пов'язано з тим, що складові величини є параметрами з допусками, а допуск кожного з них визначає одночасно інтервал їх змінності. Знаючи розподіли випадкових змінних x_1, \dots, x_n , можна визначити розподіл ймовірної випадкової функції T . У практичному застосуванні запропоновано користуватися інтегральною функцією розподілу параметрів виробничого процесу. Вид такої функції наведений на рисунку 3.1 [153].

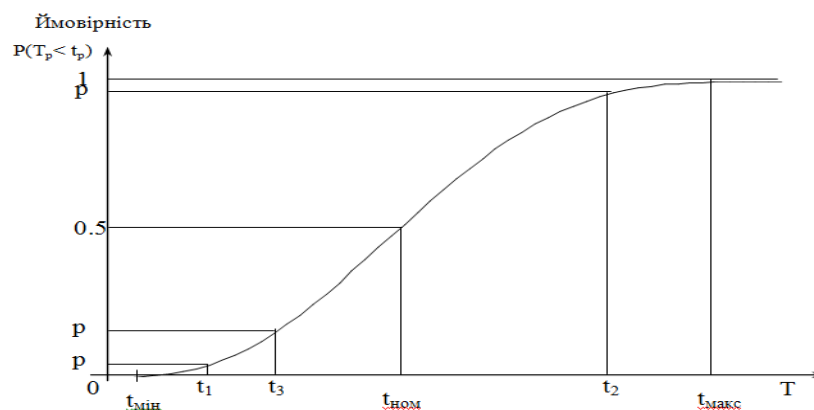


Рисунок 3.1 – Графічна залежність виробничого процесу з урахуванням інтегральної функції розподілу ймовірності випадкової функції незалежних величин в часі

На рисунку можна виділити три особливі точки: t_{\min} , $t_{\text{ном}}$, і t_{\max} :

t_{\min} – час роботи об'єкта, в якому вірогідність його відмови дорівнює нулю.

$t_{\text{ном}}$ – час роботи об'єкта що відповідає формулі (3.1), якщо замість x_1, \dots, x_n підставити їх номінальні значення. Якщо ці значення симетричні в областях зміни кожної з цих множин, то значення $t_{\text{ном}}$ близьке до математичного сподівання.

t_{\max} – максимальний час роботи об'єкта, після закінчення якого настане неминуче погіршення якісних параметрів нижче допустимих меж.

Значення t_p – час нормальної роботи об'єкта, після якого може статися недопустима відмова з вірогідністю “P”. З цього виходить, що [153] :

$$P(T < t_{\min}) = 0 ; P(T < t_{\text{ном}}) = 0.5 ; P(T < t_{\max}) = 1 ; \text{ а також}$$

$$P(T < (t_{p1} - t_{p2})) = p2 - p1.$$

Застосування функції розподілу дуже просте і вимагає тільки початкового знання теорії ймовірності, що є істотно важливим для практичного застосування цього методу.

3.2. Ідентифікація розподілу показників якості виробничого процесу

Як видно з рисунків 2.4 – 2.11 зміни параметрів процесу з плином часу описані з використанням статистичних показників розташування та дисперсії миттєвого розподілу значень, миттєвого середнього значення μ_m і миттєвого стандартного відхилення σ_m .

Якщо процес налагоджений і контролюється, то розподіл значень спостережуваного параметра якості буде близьким до закону Гаусса (нормального закону). Нормальний закон має місце, якщо сумарна похибка вимірювання утворюється кількома незалежними складовими випадковими величинами за умови, що серед них відсутні величини зі стандартними відхиленнями, що різко відрізняються від інших. При цьому кожна з випадкових величин, що впливають

на параметр якості, може підкорятися будь-якому іншому закону розподілу ймовірностей [153].

Як відомо, площа під функцією густини розподілу $f(x)$ ймовірностей випадкової величини, відповідно до правила нормування, дорівнює одиниці, тобто відображає ймовірність усіх можливих значень випадкової величини (рис.3.2).

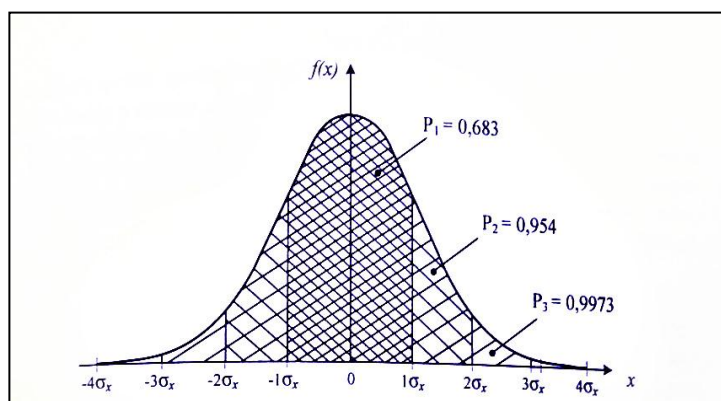


Рисунок 3.2 – Інтервальна оцінка випадкової величини

Якщо задатися певним інтервалом значень випадкової величини, можна визначити ймовірність її появи у цьому інтервалі (рис.3.3). Зазначені характеристики відповідно називають довірчим інтервалом і довірчою ймовірністю, а разом вони складають інтервальну оцінку випадкової величини.

У практиці контролю і вимірювань часто користуються довірчим інтервалом від -3σ до $+3\sigma$ (рис.3.2), для якого довірна ймовірність $P = 0,9973$ або 99,73% [142, 146]. Зі зменшенням довірчого інтервалу знижується ймовірність появи випадкової величини в ньому. Так, в інтервалі $\pm 2\sigma$ випадкова величина знаходиться з ймовірністю $P = 0,954$, а в інтервалі $\pm \sigma$ – з ймовірністю $P = 0,683$. Інтервальні оцінки використовуються у вибірковому контролі при заданні границь допуску контрольованого параметра, а також у технічних вимірюваннях для визначення випадкової похибки результату вимірювання .

У тих випадках, коли поява значень контрольованого параметра за границями довірчого інтервалу може привести до істотних витрат або виробник приймає зобов'язання з підвищення якості продукції (послуг), довірчий інтервал

розширюють, наприклад до $\pm 4\sigma$. При цьому ступінь довіри до такого результату відповідно підвищується до $P = 0,999936$ (99,9936 %).

Нормальний розподіл займає важливе місце в теорії ймовірностей і математичній статистиці.

Математичне сподівання Mx_0 і СКВ (середнє квадратичне відхилення) σ_0 визначають на основі відомих експериментальних даних:

$$Mx_0 = \bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i, \quad \sigma_0 = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}, \quad (3.2)$$

де n – кількість вимірювань, x_i – відхилення значення параметра від середнього значення вимірювального параметра ($i = 1, 2, \dots, n$).

Випадкова величина x нормально розподілена з параметрами a і σ (СКВ), $\sigma > 0$, якщо її густина розподілу $p_{\xi}(x)$ має відповідно вигляд [130]:

$$p_{\xi}(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-a}{\sigma}\right)^2} \quad M\xi = Mx = a, \quad D\xi = \sigma^2. \quad (3.3)$$

де a – довільне дійсне число, $\sigma > 0$.

Відповідна модель нормального закону розподілу зображена на рисунку 3.3.

Експоненціальний (показниковий) розподіл наведений на рисунку 3.4.

Неперервна випадкова величина x має розподіл з параметром $\lambda > 0$, якщо вона набуває тільки позитивних значень (рисунк 3.3), а її густина розподілу $p_{\xi}(x)$ і функція розподілу $F_{\xi}(x)$ мають відповідно вигляд:

$$p_{\xi}(x) = \begin{cases} \lambda e^{-\lambda x}, & x \geq 0, \\ 0, & x < 0, \end{cases}$$

$$F_{\xi}(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 0, \\ 1 - e^{-\lambda x}, & x > 0, \end{cases}$$

$$M\xi = \frac{1}{\lambda}, \quad D\xi = \frac{1}{\lambda^2},$$

$$M\xi = Mx, \quad \sigma = \sqrt{D\xi}. \quad (3.4)$$

де $M\xi$ – математичне сподівання; $D\xi$ – дисперсія для даного закону.

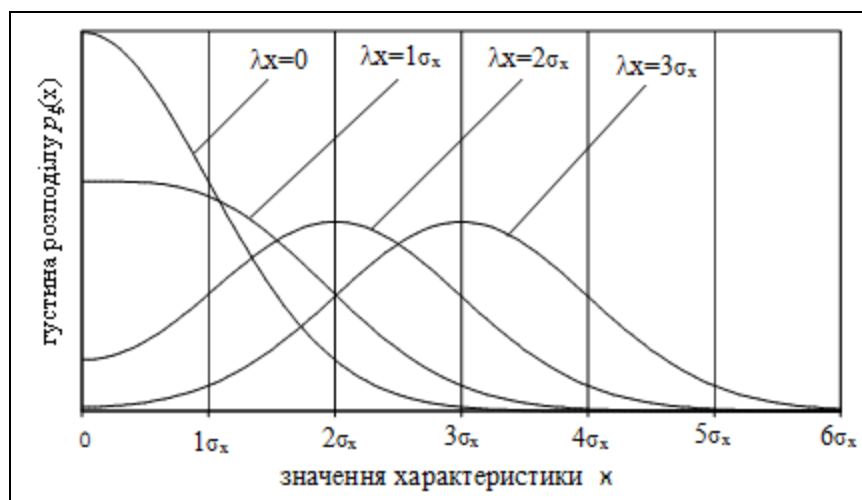


Рисунок 3.3 – Розподіл значень x при різних зсувах нульової точки

Як показано на рисунку 3.3, із збільшенням зсуву нульової точки, абсолютне значення експоненціального розподілу наближається до нормального розподілу. Отже, для випадку:

$$\frac{\mu}{\sigma} \geq 3 \quad (3.5)$$

абсолютне значення даного розподілу може бути замінене на нормальний розподіл.

Логарифмічний нормальний (логнормальний) розподіл описує Модель С1 (рисунок 2.7).

Випадкова величина x має логнормальний розподіл з параметрами a і σ , якщо випадкова величина $\ln x$ має нормальний розподіл з параметрами a і σ . Функція розподілу і функція густини ймовірності логнормального розподілу мають відповідно вигляд:

$$F_{\xi}(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \int_0^{\ln x} e^{-\frac{(z-a)^2}{2\sigma^2}} dz,$$

$$p_{\xi}(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma x} e^{-\frac{(\ln x - a)^2}{2\sigma^2}}.$$

Математичне сподівання і дисперсія обчислюються:

$$M\xi = e^{a + \frac{\sigma^2}{2}},$$

$$D\xi = e^{2a + \sigma^2} (e^{\sigma^2} - 1),$$

звідси:

$$M\xi = Mx, \quad \sigma = \sqrt{D\xi}. \quad (3.6)$$

На рисунку 2.6 зображено логістичний розподіл.

Функція розподілу і функція густини ймовірності мають відповідно вигляд:

$$F\xi(x) = \frac{1}{1 + \exp\left(-\frac{x - \alpha}{\beta}\right)},$$

$$p\xi(x) = \frac{1}{\beta} \cdot \frac{\exp\left(-\frac{x - \alpha}{\beta}\right)}{\left(1 + \exp\left(-\frac{x - \alpha}{\beta}\right)\right)^2}, \quad M\xi = Mx,$$

$$M\xi = \alpha, \quad D\xi = \frac{\pi^2 \beta^2}{3},$$

$$\sigma = \sqrt{D\xi}, \quad (3.7)$$

де α і β – параметри розподілу.

За своїми властивостями логістичний розподіл дуже подібний на нормальний.

Якщо ексцес деякого розподілу відмінний від нуля, то крива густини ймовірності цього розподілу відрізняється від кривої нормального розподілу:

- якщо ексцес додатній, то крива логістичного розподілу має вищу та гострішу вершину ніж крива нормального;
- якщо ексцес від’ємний, то крива розподілу має нижчу та плоскішу вершину ніж крива нормального розподілу.

При цьому вважається, що нормальний і теоретичний розподіли мають однакові математичні сподівання та дисперсії [130,158].

Розподіл Вейбулла зображено на рисунку 2.8.

Випадкова величина x має розподіл Вейбулла с параметрами λ_0 і α , якщо її функція розподілу і функція густини ймовірностей мають відповідно вигляд:

$$F_{\xi}(x) = 1 - \exp(-\lambda_0 x),$$

$$p_{\xi}(x) = \lambda_0 \alpha x^{\alpha-1} \exp(-\lambda_0 x^{\alpha}).$$

Математичне сподівання і дисперсія обчислюються:

$$M_{\xi} = \lambda_0^{-\frac{1}{\alpha}} \Gamma\left(1 + \frac{1}{\alpha}\right),$$

$$D_{\xi} = \lambda_0^{-\frac{2}{\alpha}} \left(\Gamma\left(1 + \frac{2}{\alpha}\right) - \Gamma^2\left(1 + \frac{1}{\alpha}\right) \right),$$

де

$$\Gamma(x) = \int_0^{\infty} z^{x-1} e^{-z} dz - \text{гамма-функція Ейлера.} \quad (3.8)$$

Середнє квадратичне відхилення:

$$\sigma = \sqrt{D_{\xi}}.$$

На рисунку 2.11 зображено бета-розподіл (β -розподіл).

Випадкова величина x має β -розподіл з параметрами a_1 і a_2 , якщо його функція густини ймовірностей має вигляд:

$$p_{\xi}(x) = \begin{cases} \frac{\Gamma(a_1 + a_2)}{\Gamma(a_1)\Gamma(a_2)} x^{a_1-1} (1-x)^{a_2-1}, & 0 \leq x \leq 1, \\ 0, & x \notin [0, 1], \end{cases}$$

$$M_{\xi} = \frac{a_1}{a_1 + a_2}, \quad D_{\xi} = \frac{a_1 a_2}{(a_1 + a_2)^2 (a_1 + a_2 + 1)}, \quad a_1 > 0, \quad a_2 > 0.$$

$$M_{\xi} = Mx, \quad \sigma = \sqrt{D_{\xi}}, \quad (3.9)$$

де a_1 і a_2 – довільні фіксовані параметри.

Форма кривої густини ймовірності бета-розподілу залежить від вибору параметрів a_1 і a_2 .

$a_1 < 1, a_2 < 1$ – графік опуклий і прямує до нескінченності на границях (червона крива);

$a_1 < 1, a_2 \geq 1$ чи $a_1 = 1, a_2 > 1$ – графік строго спадний (синя крива)

$a_1 = 1, a_2 > 2$ – графік строго опуклий;

$a_1 = 1, a_2 = 2$ – графік є прямою лінією;

$a_1 = 1, 1 < a_2 < 2$ – графік строго ввігнутий.

Критерій для застосування алгоритму порівняння та оптимізації на основі інформації про $M(x)$ та СКВ σ може мати вигляд [130]:

$$\zeta_1 \frac{\text{abs}(Mx - Mx_0)}{Mx_0} + \zeta_2 \frac{\text{abs}(\sigma - \sigma_0)}{\sigma_0} < \varepsilon, \quad (3.10)$$

де ζ_1, ζ_2 – безрозмірні коефіцієнти вагомості; ε – заданий малий параметр, який характеризує інтегральну похибку. Числові значення величин $\zeta_1, \zeta_2, \varepsilon$ задані, встановлюються на основі експертного методу.

Порівнюємо значення ε на основі співвідношення (3.10) для поданих в (3.3) – (3.9) розподілів. Мінімальне значення ε (із отриманих восьми) дає можливість підтвердити, що реальний розподіл відповідає теоретичному розподілу (наприклад розподілу Вейбулла).

Наступний етап – встановлення індексів придатності (відтворюваності) C_{pk} , C_p за співвідношеннями (2.6) – (2.7). C_{pk} – показник настроєності процесу (індекс налагодженості). З урахуванням розподілу показника якості продукції можна на основі індексів C_p, C_{pk} робити оцінювання рівнів невідповідностей.

Кількісну оцінку можливостей стабільного виробничого процесу можна проводити на основі індексів придатності при виконанні наступних необхідних умов: 1) процес знаходиться в статистично керованому стані (статистично стабільний); 2) розподіл індивідуального показника якості відповідає

нормальному закону; 3) технічні вимоги та інші встановлені нормативи точно представляють потреби споживача; 4) задано центр а також межі поля допуску.

Для оптимізації процедури вибору розподілу використаємо функціонал якості з урахуванням коефіцієнта чутливості K і оберненого зв'язку :

$$J(P_{\xi k}, FB(P_{\xi k})) = \frac{1}{t_k - t_0} \int_{t_0}^{t_k} f(\bar{y}, \bar{u}, \bar{s}, K) dt \Rightarrow opt, \quad (3.11)$$

де \bar{y} – вектор заданих впливів ($y_j(t)$ – компоненти вектора, $j = 1, 2, \dots, n$); \bar{u} – вектор керувань; \bar{s} – вектор невизначених збурень; $[t_0, t_k]$ – інтервал часу, в якому розглядається процес (формування оптимальних значень параметрів $P_{\xi k}$, які характеризують розподіл $k=1, 2, \dots, m$); m – кількість параметрів $P_{\xi k}$, які розглядаються в даній задачі (для нормального розподілу $m=2$; $P_{\xi 1} = a$; $P_{\xi 2} = \sigma$); $f(\bar{y}, \bar{u}, \bar{s}, K)$ – функція, що відображає показник якості; $FB(P_{\xi k})$ – функція, яка характеризує обернений зв'язок (*Feed-back*) між параметрами розподілу $P_{\xi k}$ і експериментальними даними з урахуванням коефіцієнта чутливості K і думок експертів.

Компоненти коефіцієнта чутливості (sensitiveness) (K_{sk}) для нормального розподілу у випадку стаціонарного стану, коли $f(\bar{y}, \bar{u}, \bar{s}, K)$ не залежить від часу, тобто

$$J_*(P_{\xi k}, FB(P_{\xi k})) = f(\bar{y}, \bar{u}, \bar{s}, K) \Rightarrow opt, \quad (3.12)$$

може бути розрахований за співвідношеннями, аналогічними [130]:

$$K_{s1} = \frac{\partial g_{\xi}(x)}{\partial a} \cdot \frac{a}{g_{\xi}(x)}, \quad K_{s2} = \frac{\partial g_{\xi}(x)}{\partial \sigma} \cdot \frac{\sigma}{g_{\xi}(x)}, \quad (3.13)$$

де $\frac{\partial g_{\xi}(x)}{\partial a}$, $\frac{\partial g_{\xi}(x)}{\partial \sigma}$ – середні в часовому інтервалі $[t_0, t_k]$ значення часткових похідних апроксимуючої функції, зокрема, $g_{\xi}(x, \lambda_1, \lambda_2)$ по відповідних аргументах a, σ .

Якщо у співвідношеннях (3.12) замість $g_{\xi}(x, \lambda_1, \lambda_2)$ вибираємо математичне сподівання чи дисперсію цього ж нормального розподілу, то отримаємо $K_{s1} = K_{s2} = 1$, що підтверджує достовірність (3.12). Тому для знаходження нормального розподілу з оптимальними значеннями a , σ запропоновано розглядати, наприклад, дві вітки розподілу, перша – зростаюча до максимального значення, відповідного C_S , друга – спадаюча від максимального значення функції розподілу (при C_S) в протилежну сторону. В першій області апроксимуємо функцією розподілу експоненціальною залежністю з математичним сподіванням λ_1 , в другій – апроксимуємо функцію розподілу експоненціальною залежністю з математичним сподіванням λ_2 . Тоді зображаємо результуючу функцію розподілу кусковою експоненціальною залежністю типу :

$$g_{\xi}(x, \lambda_1, \lambda_2) = g_{\xi_1}(x, \lambda_1) \cdot \theta_+ + g_{\xi_2}(x, \lambda_2) \cdot \theta_-. \quad (3.14)$$

Тут θ_+ , θ_- – одиничні функції Хевісайда. Така функція незручна для користування в обчислювальних процедурах з використанням ЕОМ і, крім того, має сумнівний фізичний зміст, оскільки в точці $x = C_S$ має гострий пік.

Наступним кроком буде апроксимація $g_{\xi_1}(x, \lambda_1)$ у вигляді $g_{\xi_1}(x, a_1, \sigma_1)$ і відповідно апроксимація $g_{\xi_2}(x, \lambda_2)$ у вигляді $g_{\xi_2}(x, a_2, \sigma_2)$.

На основі (2.7), (3.12) – (3.14) сформулюємо обернену задачу щодо оцінювання оптимальних значень компонент вектора \bar{u} , які відповідають оптимальним значенням C_S (центра розподілу ($C_S = a$ для нормального), чи k в (4)) і задовольняють умову (3.10). Компоненти вектора оптимальних керувань трактуємо як алгоритм послідовних наближень, з допомогою якого звужуємо межі допусків ($\pm 3\sigma$), прямуючи до діапазону 6σ (який є оптимальним, тобто відповідальним за рівень якості виробничого процесу).

Чому зразу недоцільно дві вітки розподілу апроксимувати залежностями $g_{\xi_1}(x, a_1, \sigma_1)$ і $g_{\xi_2}(x, a_2, \sigma_2)$? Та тому, що вони містять два невідомі параметри кожна на відміну від $g_{\xi_1}(x, \lambda_1)$ і $g_{\xi_2}(x, \lambda_2)$, які містять λ_1 і λ_2 .

Наступний крок алгоритму – використання співвідношень:

$$|a_1 - a_2| \Rightarrow \min, \quad |\sigma_1 - \sigma_2| \Rightarrow \min. \quad (3,15)$$

На основі (2.7), (3,10), (3.12) – (3.15) можна визначити оптимальні значення компонент вектора \bar{u} (вектора керувань), які відповідають оптимальним значенням C_{S^*} (центра розподілу ($C_{S^*} = a^*$ для нормального), чи k^* в (4)) і відповідно результуюче значення дисперсії σ^* .

Виходячи з початкових залежностей $g_{\xi_1}(x, \lambda_1)$ і $g_{\xi_2}(x, \lambda_2)$, які містять λ_1 і λ_2 , можна проводити аналогічну процедуру і для іншого розподілу, наприклад, розподілу Вейбулла (тобто визначати параметри λ_0 і α).

Встановлення оптимального розподілу непевностей вимірних величин відповідного виробничого процесу ґрунтується на аналітичних співвідношеннях (2.7), (3,10), (3.12) – (3.15).

Метод дослідження придатності процесів (рис.3.4) передбачає [130,132] (Додаток А):

- 1) стабілізувати процес;
- 2) розрахувати індекси придатності;
- 3) визначити стабільність процесу і зробити висновки про його придатність;
- 4) на основі оптимізаційної задачі (2.7), (3,10), (3.12) – (3.15) визначити компоненти вектора \bar{u} і параметри розподілу, який найбільш точно відповідає експериментальним даним.

Результатом задачі (2.7), (3,10), (3.12) – (3.15) також буде оптимальне значення функціоналу якості щодо встановлення оптимального розподілу.

Слід мати на увазі, що одноразовий контроль числових індексів може дати надійні результати тільки при вибірці понад 100.

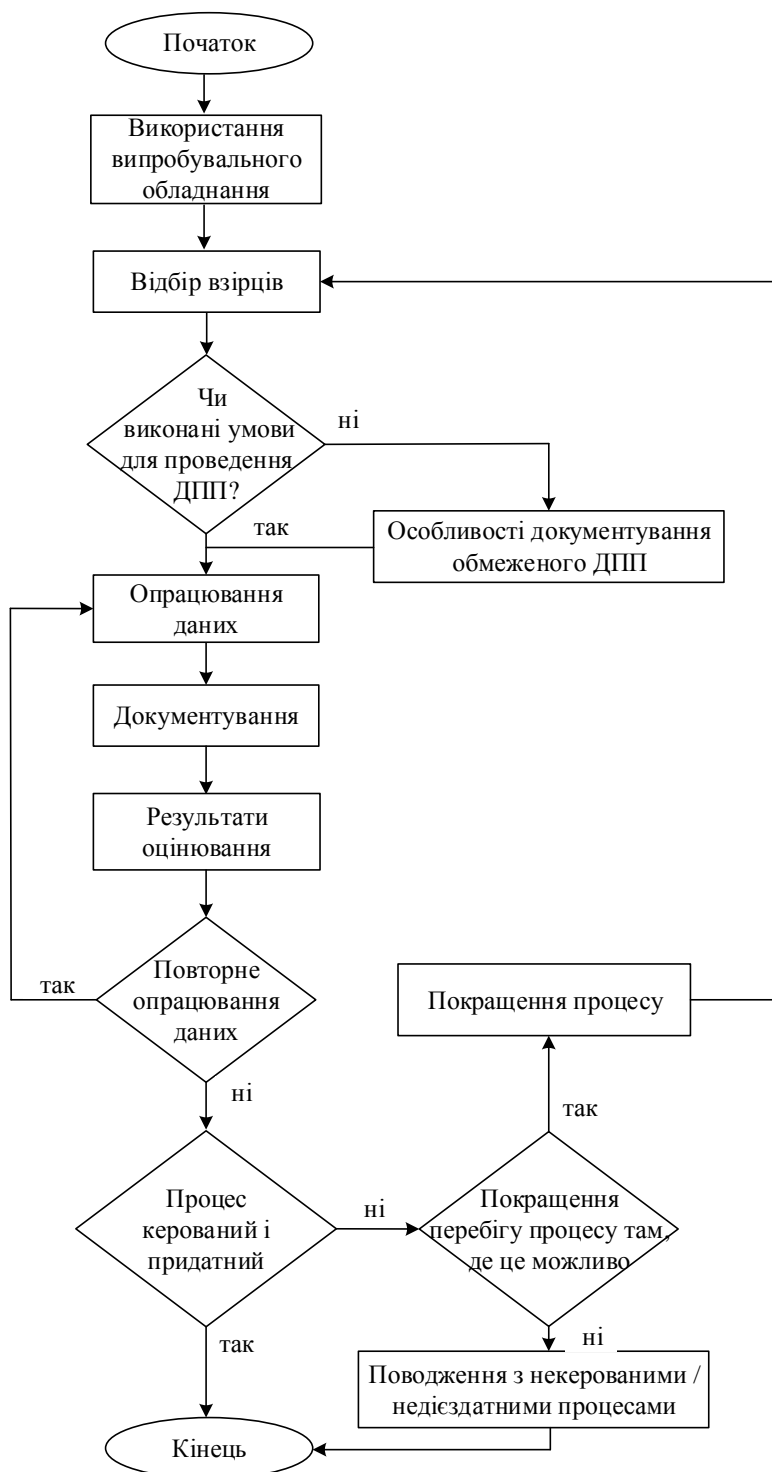


Рисунок 3.4 – Алгоритм дослідження придатності процесу

Слід також відзначити, що висока придатність процесу, як правило, призводить до зниженої собівартості продукції, якщо врахувати витрати на рекламацию, пов'язану з низькою якістю продукції, що випускається. Хоча досягнення високої якості продукції збільшує витрати виробництва, потрібно

пам'ятати, що збитки, викликані низькою якістю, втрати частки ринку і тому подібні наслідки можуть набагато перевищити витрати на контроль якості.

3.3. Принципи дослідження придатності виробничого процесу та його граничні значення

Індекси придатності C_p і C_{pk} визначають, наскільки добре результати процесу відповідають межам допуску певної характеристики. Значення C_p враховує дисперсію (розмах) процесу. Значення C_{pk} натомість враховує розташування процесу. Тому з одного боку, можемо сказати яке значення є можливим при ідеальному розташуванні процесу і, з іншого боку, порівняння цих двох значень робить дає можливість визначити наскільки розташування процесу відхиляється від заданих параметрів. Чим вищі значення отримуємо, тим кращий процес.

3.3.1. Визначення придатності для визначеної моделі розподілу

Індекс потенціальної придатності C_p параметра, який характеризує виробничий процес, визначається як відношення меж допуску $\pm 3\sigma$ до розмаху процесу 6σ і виражається так [130]:

$$C_p = \frac{G_o - G_u}{\hat{x}_{99,865\%} - \hat{x}_{0,135\%}}, \quad (3.16)$$

де G_o – верхня межа допуску ($+3\sigma$); G_u – нижня межа допуску (-3σ),

$\hat{x}_{99,865\%}$, $\hat{x}_{0,135\%}$ – очікувані значення меж діапазону дисперсії (розмах процесу 6σ), де $99,865\%$, $0,135\%$ – квантилі, нижче яких лежить задане відсоткове значення P вимірних значень.

Тобто, якщо дисперсія отриманих значень належить до нормального закону розподілу (рис. 3.5), то згідно [132] та методу “Шість сигм”:

$$\left. \begin{array}{l} \hat{x}_{99,865\%} \\ \hat{x}_{0,135\%} \end{array} \right\} = \hat{\mu} \pm 3\hat{\sigma}, \quad (3.17)$$

згідно до (2.6) і (2.7):

$$\hat{x}_{99,865\%} - \hat{x}_{0,135\%} = \hat{\mu} + 3\hat{\sigma} - (\hat{\mu} - 3\hat{\sigma}) = 6\hat{\sigma} \quad , \quad (3.18)$$

де $\hat{\mu}$ – очікуване середнє значення процесу.



Рисунок 3.5 – Дисперсія отриманих значень належить до нормального закону розподілу

Іншими словами, цей індекс може інтерпретуватися як та частина стандартної кривої нормального розподілу (розмах процесу 6σ), яка знаходиться усередині меж заданих допусків $\pm 3\sigma$ (за умови, що процес центрований).

$$C_P = \frac{ВМД - НМД}{\hat{x}_{99,865\%} - \hat{x}_{0,135\%}} = \frac{ВМД - НМД}{6\sigma}$$

Нецентрованість процесу виробництва можна виразити таким чином. Спочатку обчислити верхній та нижній показники придатності, щоб відобразити відхилення спостережуваного середнього процесу від верхньої межі допуску (ВМД) і нижньої межі допуску (НМД). Приймавши як розмах процесу межі $\pm 3\sigma$, обчислюємо такі показники відхилення [130]:

$$C_{Pk} = \min \left\{ C_{Pl} = \frac{ВМД - \hat{\mu}}{\hat{x}_{99,865\%} - \hat{\mu}}; C_{Pu} = \frac{\hat{\mu} - НМД}{\hat{\mu} - \hat{x}_{0,135\%}} \right\}, \quad (3.19)$$

Коригуючий множник k відповідає величині нецентрованості (заданий центр специфікації мінус середнє значення процесу) відносно ширини специфікації. Поправка на нецентрованість k дозволяє скоректувати індекс C_p .

Таким чином, маємо індекс, який характеризує підтверджену (демонстровану) якість (C_{pk}). C_p можна скоректувати, увівши поправку на нецентрованість за допомогою обчислення $C_{pk} = \min(C_{pl}; C_{pu})$ (2.9). Якщо процес центрований, то C_{pk} рівне C_p , але при зміщенні процесу індекс зміщується від свого номінального значення, і C_{pk} стає менше C_p .

Високий C_{pk} буде тільки у тому випадку, коли мета досягнута при мінімальному відхиленні від середнього.

У випадку нецентрованості можна подати значення C_p , обчисливши:

$$C_{pk} = (1 - k_s) \cdot C_p. \quad (3.20)$$

Якщо процес центрований, то k_s дорівнює нулю і C_{pk} рівне C_p . Зокрема, якщо, наприклад, $C_s = (ВМД - НМД) / 2$, то $k_s = 0$. Проте, якщо процес зміщується відносно заданого центру, k_s збільшується і C_{pk} стає менше C_p .

У таблиці 3.1 наведено приналежність результатів розрахунку індексів придатності до якості виробничого процесу.

Таблиця 3.1 – Характеристика якості процесу в залежності від індексів C_p , C_{pk}

Індекси придатності	Характеристика якості процесу
$C_{pk} = C_p$	Процес знаходиться в центрі допуску
$C_p < 1$	Процес має низьку точність
$1 \leq C_{pk} < 1,33$	Процес має достатню точність, і процедура його налаштування ведеться правильно
$C_p \geq 1,33$	Процес задовільний
$C_p \geq 1,66$	Процес ідеально налаштований
$C_{pk} \neq C_p$	Невідповідний процес

При використанні індексів придатності для оцінювання якості продукції досить часто виникає проблема, яка полягає в встановлених односторонніх межах

допусків. Наприклад, значення характеристики якості задається характеристикою із верхньою межею допуску та із звичайною нижньою “0” межею допуску [132]:

$$C_P = \frac{ВМД}{\hat{x}_{99,865\%} - \hat{x}_{0,135\%}}, \quad (3.21)$$

$$C_{Pk} = \frac{ВМД - \hat{\mu}}{\hat{x}_{99,865\%} - \hat{\mu}}, \quad (3.22)$$

та, відповідно, характеристика якості із нижньою межею допуску:

$$C_P = \frac{НМД}{\hat{x}_{99,865\%} - \hat{x}_{0,135\%}}, \quad (3.23)$$

$$C_{Pk} = \frac{\hat{\mu} - НМД}{\hat{\mu} - \hat{x}_{0,135\%}}. \quad (3.24)$$

3.3.2 Визначення придатності процесу для невизначеної моделі розподілу

Якщо до виробничої характеристики якості не може бути підібрана жодна модель розподілу (рис. 3.3 – 3.10) або отримані результати значень суперечать передбачуваний моделі розподілу, тоді необхідно провести дослідження індексів придатності за методом “ширини допуску”, в наступній модифікованій формі із врахуванням об’єму вибірки [130]:

показники придатності для характеристик з двосторонньою межею допуску (ВМД і НМД):

$$C_P = \frac{ВМД - НМД}{\hat{x}_{ВМД} - \hat{x}_{НМД}}, \quad (3.25)$$

$$C_{Pk} = \min \left\{ C_{Pl} = \frac{G_{ВМД} - \hat{x}_{50\%}}{\hat{x}_{ВМД} - \hat{x}_{50\%}}; C_{Pu} = \frac{\hat{x}_{50\%} - G_{НМД}}{\hat{x}_{50\%} - \hat{x}_{НМД}} \right\}. \quad (3.26)$$

Показники придатності для характеристик із верхньою межею допуску та із звичайною нижньою “0” межею допуску:

$$C_P = \frac{G_{ВМД}}{\hat{x}_{ВМД} - \hat{x}_{НМД}}, \quad (3.27)$$

$$C_{Pk} = \frac{G_{ВМД} - \hat{x}_{50\%}}{\hat{x}_{ВМД} - \hat{x}_{50\%}}. \quad (3.28)$$

Показники придатності для характеристик із нижньою межею допуску та із верхньою межею допуску “0”:

$$C_P = \frac{G_{НМД}}{\hat{x}_{ВМД} - \hat{x}_{НМД}}, \quad (3.29)$$

$$C_{Pk} = \frac{\hat{x}_{50\%} - G_{НМД}}{\hat{x}_{50\%} - \hat{x}_{НМД}}, \quad (3.30)$$

де $\hat{x}_{ВМД}, \hat{x}_{НМД}$ – значення ВМД і НМД,

$\hat{x}_{50\%}$ – значення 50% квантиля.

Якщо значення 50% квантиля, то:

$$\hat{x}_{50\%} = \tilde{x}, \quad (3.31)$$

де \tilde{x} – значення медіани (розташоване в середині впорядкованої послідовності вимірювань).

Звідси межі допуску обчислюємо за:

$$\left. \begin{array}{l} \hat{x}_{ВМД} \\ \hat{x}_{НМД} \end{array} \right\} = x_c \pm k \cdot \frac{R}{2}, \quad (3.32)$$

$$\text{де } x_c = \frac{x_{\max} + x_{\min}}{2},$$

$R = X_{\max} - X_{\min}$ – розмах,

X_{\max}, X_{\min} – максимальне і мінімальне значення із загальної кількості зразків.

Коригуючий множник k знаходимо з:

$$k = \frac{6}{d_n}, \quad (3.33)$$

де d_n – очікуване значення розподілу, яке обчислюється за:

$$d_n = 1,748 \cdot (\ln(n_g))^{0,693}. \quad (3.34)$$

Для деяких загальних кількостей випадкових зразків n_g очікуване значення розподілу d_n наведено в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Очікуване значення розподілу для деяких загальних кількостей випадкових зразків n_g

n_g	d_n
30	4,09
35	4,21
40	4,32
45	4,42
50	4,50
60	4,65
70	4,77
80	4,87
100	5,04
125	5,21
150	5,34
200	5,55
250	5,71

Індекси відтворюваності і придатності залежать лише від характеристик точності і налаштувань виробничого обладнання, за допомогою яких визначається належність до рівня придатності технологічного процесу.

Під час контролю системи якості потрібно розрізняти придатність процесу та обладнання. Обладнання є окремим елементом виробничого процесу. У той же час процес включає в себе сукупність персоналу, устаткування, методів виконання технологічних операцій, а також навколишнього середовища.

3.3.3 Визначення параметрів дослідження придатності процесу

Для визначення показників придатності виробничого процесу, необхідно забезпечити виконання наступних вимог, які стосуються граничних значень $C_{p;limit}$ і $C_{pk;limit}$.

Для характеристик з двосторонньою межею допуску:

$$\hat{C}_p \geq C_{p;limit} \quad \text{і} \quad \hat{C}_{pk} \geq C_{pk;limit}, \quad (3.35)$$

для характеристик із односторонньою межею допуску:

$$\hat{C}_{pk} \geq C_{pk;limit}, \quad (3.36)$$

та з загальною кількістю досліджуваних зразків $n_g \geq 125$. Якщо ці умови виконуються, застосовуються граничні значення придатності: $C_{pk;limit} = 1,33$; $C_{p;limit} = 1,33$.

У випадку проведення дослідження з кількістю досліджуваних зразків меншою 125, встановлене граничне значення індексу придатності буде іншим.

Встановлене граничне значення для числа випадкових зразків менше 125, пов'язано із дотриманням вимог для розкиду показників якості з ймовірністю 95 % (нижні межі довірчого інтервалу).

При припущенні що розкид значень належить до нормального розподілу, з стандартного відхилення верхньої межі довірчого інтервалу випливає, що:

$$\sigma_0 = \hat{\sigma} \cdot \sqrt{\frac{124}{X^2_{5\%;124}}}, \quad (3.37)$$

і враховуючи що дисперсія отриманих значень належить до нормального закону розподілу (3.17) отримаємо:

$$\left. \begin{array}{l} \hat{x}_{99,865\%} \\ \hat{x}_{0,135\%} \end{array} \right\} = \hat{\mu} \pm u_{99,865\%} \cdot \left(1 + \frac{1}{2 \cdot 125}\right) \cdot \sqrt{\frac{124}{X^2_{5\%;124}}} \cdot \hat{\sigma}, \quad (3.38)$$

де

$u_{99,865\%} = 3,0$ – квантиль стандартизованого нормального розподілу

$X^2_{5\%;124} = 99,3$ – квантиль розподілу X^2 із ступенем свободи $f = 124$.

Трансформували та замістивши отримані результати в (3.16) і (3.19) одержуємо граничні значення індексів придатності:

$$\hat{C}_p \geq C_{p;limit} \cdot \sqrt{\frac{X^2_{5\%;124}}{124}} = 0,895 \cdot C_{p;limit}, \quad (3.39)$$

$$\hat{C}_{pk} \geq C_{pk;limit} \cdot \frac{1}{1 + \frac{1}{250}} \cdot \sqrt{\frac{X^2_{5\%;124}}{124}} = 0,891 \cdot C_{pk;limit}. \quad (3.40)$$

Таким чином, для кількості досліджуваних зразків $n_g < 125$ результати визначення граничних значень індексів придатності:

$$\hat{C}_p \geq C_{p;\text{limit}} \cdot 0,895 \cdot \sqrt{\frac{f}{X^2_{5\%;f}}} , \quad (3.41)$$

$$\hat{C}_{pk} \geq C_{pk;\text{limit}} \cdot 0,891 \cdot \left(1 + \frac{1}{2 \cdot n_g}\right) \cdot \sqrt{\frac{f}{X^2_{5\%;f}}} , \quad (3.42)$$

зі ступенем свободи :

$$f = n_g - 1. \quad (3.43)$$

Наведемо приклад:

Для визначеної придатності процесу з нормованими значеннями $C_{p;\text{limit}} = 1,33$; $C_{pk;\text{limit}} = 1,33$; та загальної кількості випадкових зразків $n_g = 50$, відповідно до формул (3.41) – (3.43) знайдемо граничні значення придатності для характеристик із двосторонньою межею допуску:

$$\hat{C}_p \geq 1,33 \cdot 0,895 \cdot \sqrt{\frac{50-1}{33,9}} = 1,43 ,$$

$$\hat{C}_{pk} \geq 1,33 \cdot 0,891 \cdot \left(1 + \frac{1}{2 \cdot 50}\right) \cdot \sqrt{\frac{50-1}{33,9}} = 1,44 .$$

Оскільки, як вже зазначалося, для характеристик з двосторонньою межею допуску, C_p значення не може бути нижчим, ніж C_{pk} значення, в даному випадку, граничне значення для C_p прирівнюється до граничного значення для C_{pk} .

У таблиці 3.5 встановлено приналежність кількості випадкових зразків n_g до граничних значень індексів придатності C_{pk} , C_p .

Таблиця 3.3 – Приналежність кількості випадкових зразків n_g до граничних значень індексів придатності C_{pk} , C_p .

n_g	\hat{C}_p і $\hat{C}_{pk} \geq$
30	1,54
35	1,51
40	1,48
45	1,46
50	1,44
60	1,41
70	1,39
80	1,37
100	1,35
125	1,33

Ціль дослідження придатності процесу є регулювання виробничого процесу для забезпечення якісної, бездефектної продукції. Дослідження придатності процесу – це оцінка відповідності процесу вимогам до якості креслень, технічним вимогам, параметрам процесу, які використовують інформацію, отриману з допомогою статистичних методів. Результатом перевірки придатності процесу є рішення про остаточне встановлення контрольних заходів.

На рисунку 3.5 зображено алгоритм для уникнення дефектів, який передбачає:

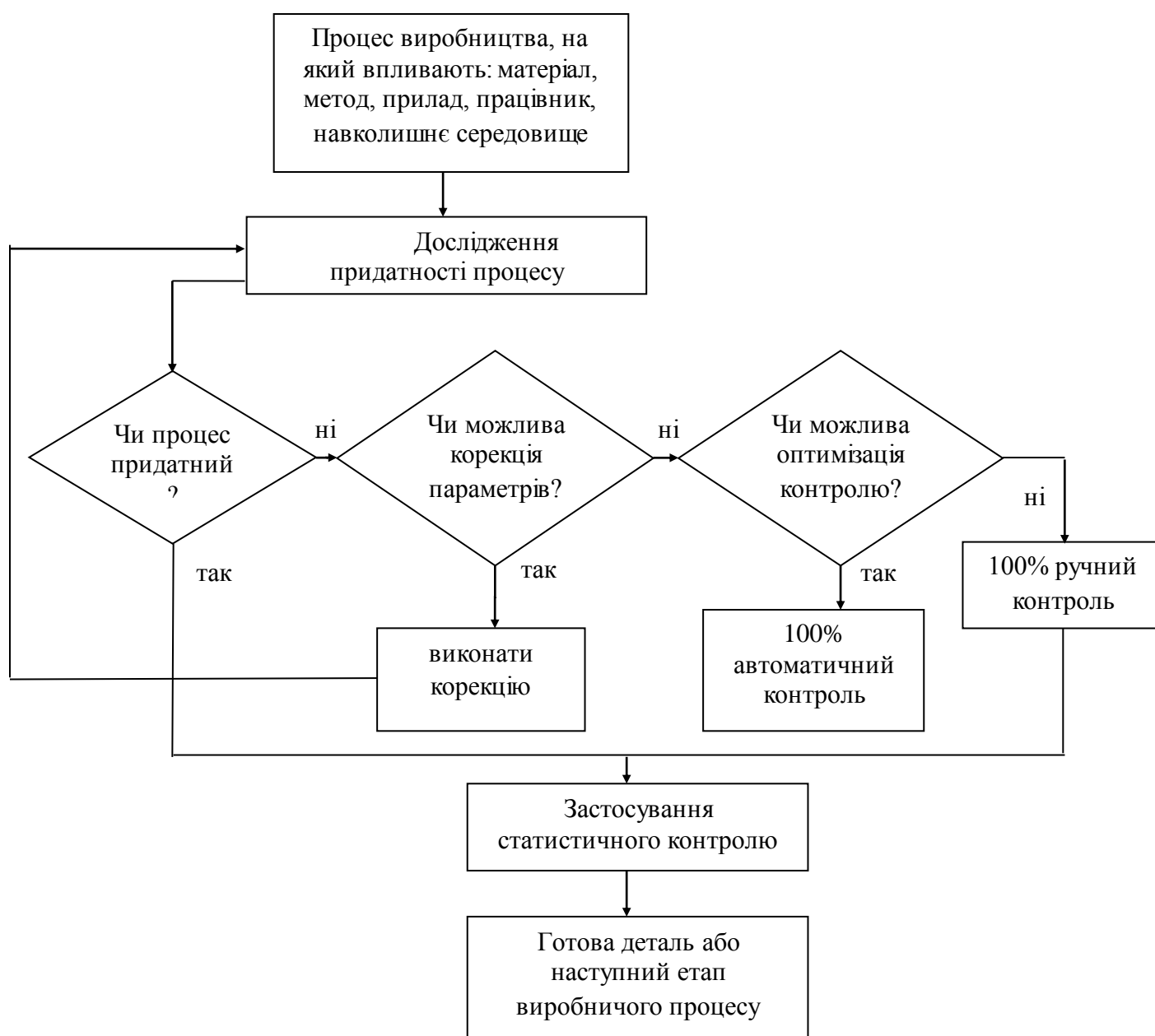


Рисунок 3.5 – Алгоритм уникнення дефектів

Висновки до розділу 3

1. Запропоновано математичну модель інтегральної функції розподілу, за допомогою якої можна прогнозувати розвиток поведінки процесів в часі.
2. Проведено аналіз закономірностей розподілу дійсних значень показників якості.
3. Встановлено взаємозв'язок між часовими розподілами та законами розподілів отриманих значень показників якості та удосконалення с-ну ідентифікації моделей розподілу показників якості, що дозволяє раціонально вибрати методи визначення показників якості для конкретного розподілу їхніх значень.
4. Обгрунтовано доцільність застосування індексів придатності процесу та розробити алгоритм методики дослідження придатності процесу відповідно до моделі розподілу нормованих показників якості як випадкового значення, ціль якого:
 - стабілізувати процес;
 - розрахувати індекси придатності;
 - визначити стабільність процесу і зробити висновки про його придатність.

РОЗДІЛ 4

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРИДАТНОСТІ ВИРОБНИЧОГО ПРОЦЕСУ

Будь-який процес потребує постійного покращення з використанням ефективних методів. Інформацію про реальну ефективність процесу можна отримати при вивченні виходу виробничого процесу, але найбільш корисною є інформація про характеристики перебігу самого процесу. Тому нам необхідно визначити цільові значення для цих характеристик, які приведуть до найбільш продуктивної роботи процесу і далі визначити наскільки близько чи далеко від них ми знаходимося. Якщо ця інформація визначається та інтерпретується правильно, то з її допомогою можна діагностувати хід процесу і, таким чином, своєчасно вносити коригувальні та запобіжні дії в виробничий процес при його відхиленні.

Експериментальні дослідження виробничих процесів проводились на спільному українсько-німецькому підприємстві ТзОВ “Бадер Україна”, яке займається виробництвом шкіряних автомобільних чохлів для автомобілей марки Audi та BMW.

4.1. Вибір показників якості процесу

Кожен виробничий процес на підприємстві може бути обраний за низкою показників, вибір яких залежить від складності процесу, його важливості, функціонального призначення. В результаті, було встановлено показники якості виробничих процесів під час виробництва шкіряних автомобільних чохлів (таблиця 4.1), які в свою чергу класифіковано на три групи: показники продукту процесу, показники функціонування процесу, показники задоволеності споживача (водія).

Таблиця 4.1 – Показники якості виробничих процесів під час виробництва
шкіряних автомобільних чохлів

Показники продукту процесу	
Точність процесу	Товщина
	Точність геометричних розмірів
	М'якість
	Вологість

	Пропускна здатність повітря
	Сила розривання
Стабільність процесу	Коефіцієнт розсіювання показника якості процесу
	Коефіцієнт миттєвого розсіювання показника якості процесу
	Коефіцієнт запасу розсіювання показника якості процесу
	Коефіцієнт миттєвого запасу розсіювання показника якості процесу
	Коефіцієнт зміщення
	Коефіцієнт точності виробничого процесу
	Коефіцієнт запасу точності
	Індекс придатності
Надійність процесу	Рівень довговічності продукції при використанні її за призначенням
	Ремонтпридатність
Продуктивність процесу	Час виконання замовлення
	Рівень проектної продуктивності виробничого процесу щодо базових виробничих процесів
	Рівень фактичної продуктивності виробничого процесу щодо проектного
Показники функціонування процесу	
Керованість процесом	Реакція процесу на керуючі впливи
	Рівень дисципліни на робочому місці
	Відповідність режимів виробничих процесів і виготовлення вимогам до якості продукції
	Швидкість виконання коригувальних дій щодо усунення невідповідностей
Безпека процесу	Пожежна безпека (відсутність іскор, підвищення температури, наявність небезпечних факторів вибуху і токсичних продуктів у межах норми)
	Електробезпека
	Дотримання на виробництві правил охорони праці та техніки безпеки за видами робіт, які виконуються при реалізації процесу
	Рівень виробничого навчання та кваліфікації персоналу
Ергономічність процесу	Освітлення
	Вібрація
	Шум
	Гігієна праці
	Важкість праці
	Напруженість праці
Екологічність процесу	Наявність потенційної небезпеки для навколишнього

	середовища при реалізації виробничих процесів
	Відповідність оцінюваної технологічної документації (ТД) вимогам діючої державної та галузевої (нормативної документації) НД в галузі охорони навколишнього середовища
	Дотримання під-час виробництва правил щодо захисту навколишнього середовища
	Планування і контроль заходів у галузі забезпечення екологічної безпеки виробництва
Економічність процесу	Витрати на оплату праці
	Витрати на тепло- і енергоносії
	Витрати на навчання та підвищення кваліфікації працівників
	Вартість сировини та матеріалів
	Витрати на транспортування сировини та матеріалів
	Витрати на транспортування працівників
Показники задоволеності споживачів	
Показники задоволеності внутрішніх споживачів	Забезпечення наявної сировини та матеріалів
	Рівень бракованої продукції
	Фактичний рівень дефектної продукції після проведення коригувальних дій
	Рівень дотримання термінів передачі інформації про результати впровадження коригувальних дій, інформації про функціонування процесу аналізу, тощо
Показники задоволеності зовнішніх споживачів	Загроза безпеці користувача (втрата здоров'я/ життя)
	Кількість рекламацій, скарг, зауважень
	Швидкість виконання замовлення від дати замовлення (4 дні)
	Кількість повернень виготовленої продукції з складальних цехів підприємства
	Кількість зарекламованої споживачем продукції
	Кількість дефектної продукції, виявленої замовником при застосуванні за призначенням без оформлення рекламацій

Вибираючи виробничий процес, ми керувались важливістю його вихідних показників якості продукції, що є важливою умовою для забезпечення належного виконання всіх наступних виробничих операцій. В нашому випадку беззаперечним буде вибір показника задоволеності споживача, а саме його безпека.

В автомобілі під безпекою розуміється наявність подушок безпеки Airbag. У разі контакту з іншим транспортним засобом або перешкодою подушка безпеки протягом десятих часток секунди наповнюється газом, заповнює простір попереду пасажирів і водія, таким чином значно знижуючи ймовірність і тяжкість пошкоджень під час аварії. Airbag подушки у складеному вигляді розміщують під панеллю приладів або вшивають збоку в автомобільний чохол. Шов де до автомобільного чохла пришивається подушка безпеки називається SAB швом (Side Airbag).

4.2. Застосування Теорії обмежень для визначення ключових недоліків виробничого процесу

Для визначення “ключових” недоліків що можуть бути причинами розривання SAB шва в автомобільному чохла виконуємо аналіз виробничого процесу (ТзОВ ”Бадер Україна”) пришиття AIRBAG подушки, використавши методику Теорії обмежень, запропоновану Е. Голдраттом та описану під назвою “дерево поточної реальності”. Дерево поточної реальності (ДПР) – це причинно-наслідкова діаграма, яка дозволяє наочно представити поточний стан системи. ДПР встановлює причинно-наслідкові зв'язки між наочними проявами невідповідного стану системи і причинами, що знаходяться в їх основі. Дане дерево використовуються для графічного опису логіки причинно-наслідкових зв'язків які існують в даний час у системі, і дозволяє виявити найменшу, найпростішу зміну у системі, що дає найбільший позитивний ефект.

Для виявлення основних негативних явищ, які можуть бути причинами розривання SAB шва в автомобільному чохла, проведемо аналіз виробничого процесу пришиття AIRBAG подушки із застосуванням підходів ТОС.

На початку побудови встановимо зону контролю та сферу впливу на систему. Зоною контролю є конструктивне рішення з пошиття автомобільного сидіння (рис.4.1). Сферою впливу є технологічні параметри виготовлення та експлуатації автомобільного чохла.



Рисунок 4.1 – Автомобільне сидіння

Взявши 8 небажаних явищ (НЯ) з функціонального та структурного аналізу розривання SAB швів в автомобільних сидіннях, що були зафіксовані під-час їх монтажу, та типові відхилення під час виробничих процесів, сформулюємо їх у формі запитання “Чому”:

- невідповідна ширина шва – 1-ше НЯ;
- складки, зморщення – 2-ге НЯ;
- невідповідний контур – 3-тє НЯ;
- загустий стібок – 4-те НЯ;
- зарідкий стібок – 5-те НЯ;
- невідповідний натяг нитки – 6-те НЯ;
- затонка шкіра – 7- ме НЯ;
- затовста шкіра – 8-ме НЯ.

Далі приступаємо безпосередньо до побудови діаграми. Розташовуємо 8 вибраних небажаних явищ у верхній частині діаграми в рядок (рис. 4.2).

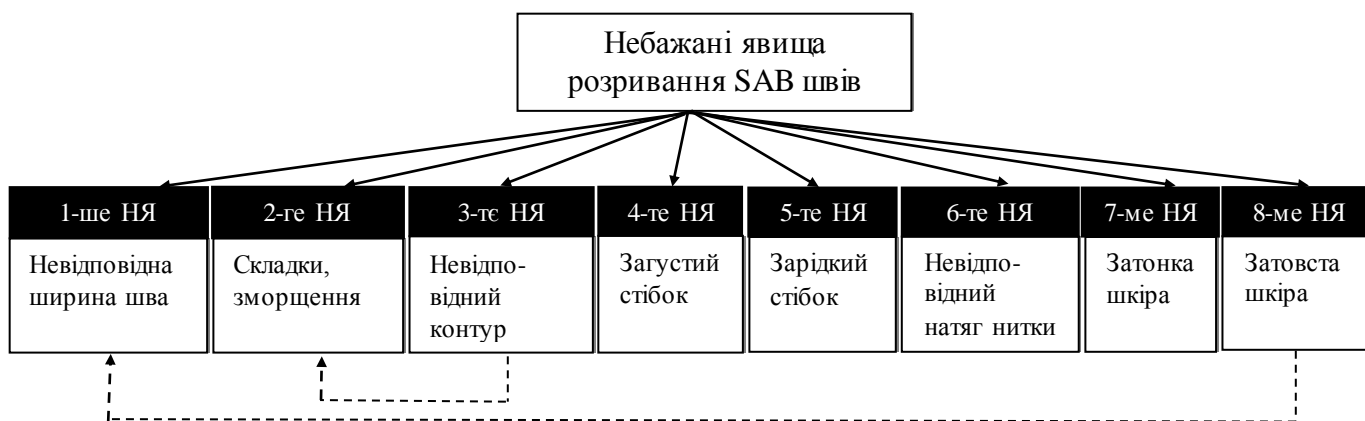


Рисунок 4.2 – Небажані явища (НЯ)

Позначимо їх відповідно 1НЯ, 2НЯ і т.д. Поступово вибудовуємо ці зв'язки та спробуємо знайти взаємопов'язані НЯ. У нашому випадку це такі НЯ: “невідповідний контур” спричинює “складки, зморщення”, “затовста шкіра” → “невідповідна ширина шва”.

Розташовуємо їх один під одним (у відповідності до причинно-наслідкового зв'язку) та з'єднуємо їх стрілкою (рис. 4.3). Необхідно перевірити, чи не пропущені проміжні ланки – “проміжні ефекти”, які пояснюють логіку та “передумови” - твердження, які є необхідними для настання певних явищ та

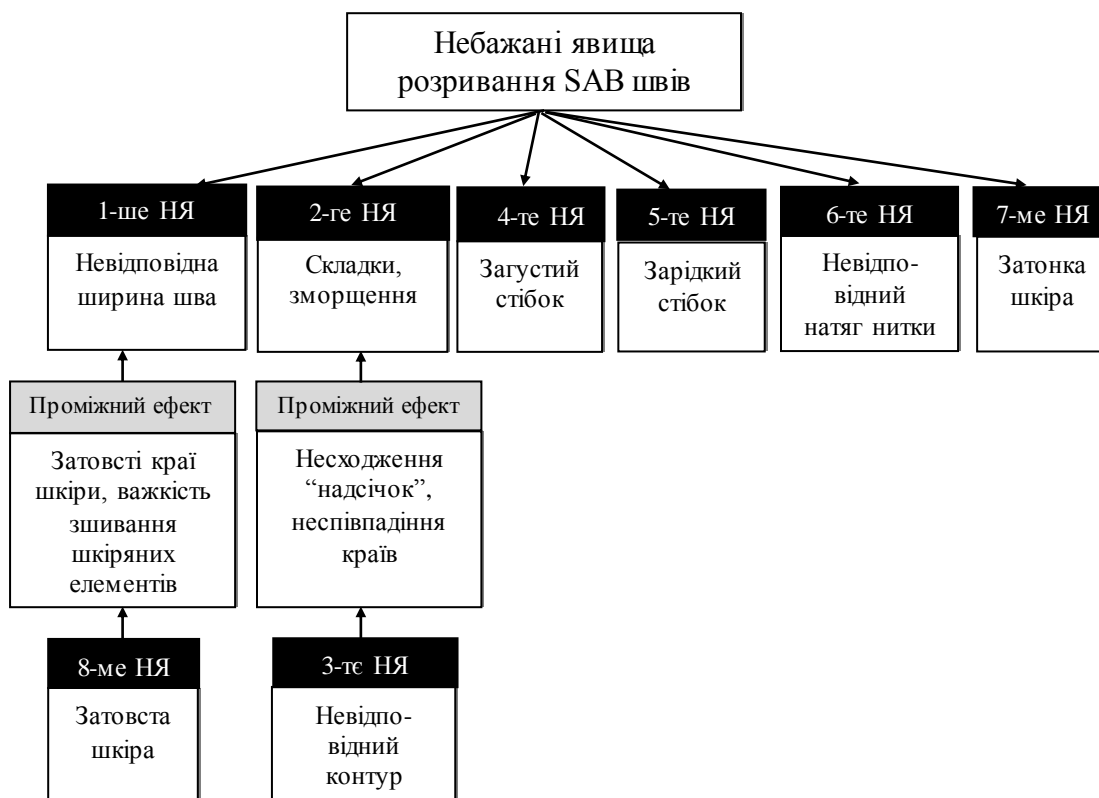


Рисунок 4.3 – Взаємопов'язані НЯ

ефектів. Якщо це так, то внесемо зміни у діаграму, розташували їх між НЯ та з'єднаємо їх відповідними стрілками.

Поступово виконаємо аналогічні дії для чотирьох НЯ, що залишилися. Тобто, якщо це можливо з'єднаємо їх один з одним або з першими двома. Вибудовуємо причинно-наслідкові зв'язки в напрямку до нижньої частини діаграми. З'єднаємо між собою усі гілки діаграми (рис.4.4), доставляючи ланцюжки причин та наслідків зверху донизу по кожній гілці до тих пір, поки на одному з рівнів не стане очевидним існування горизонтального зв'язку між гілками дерева.

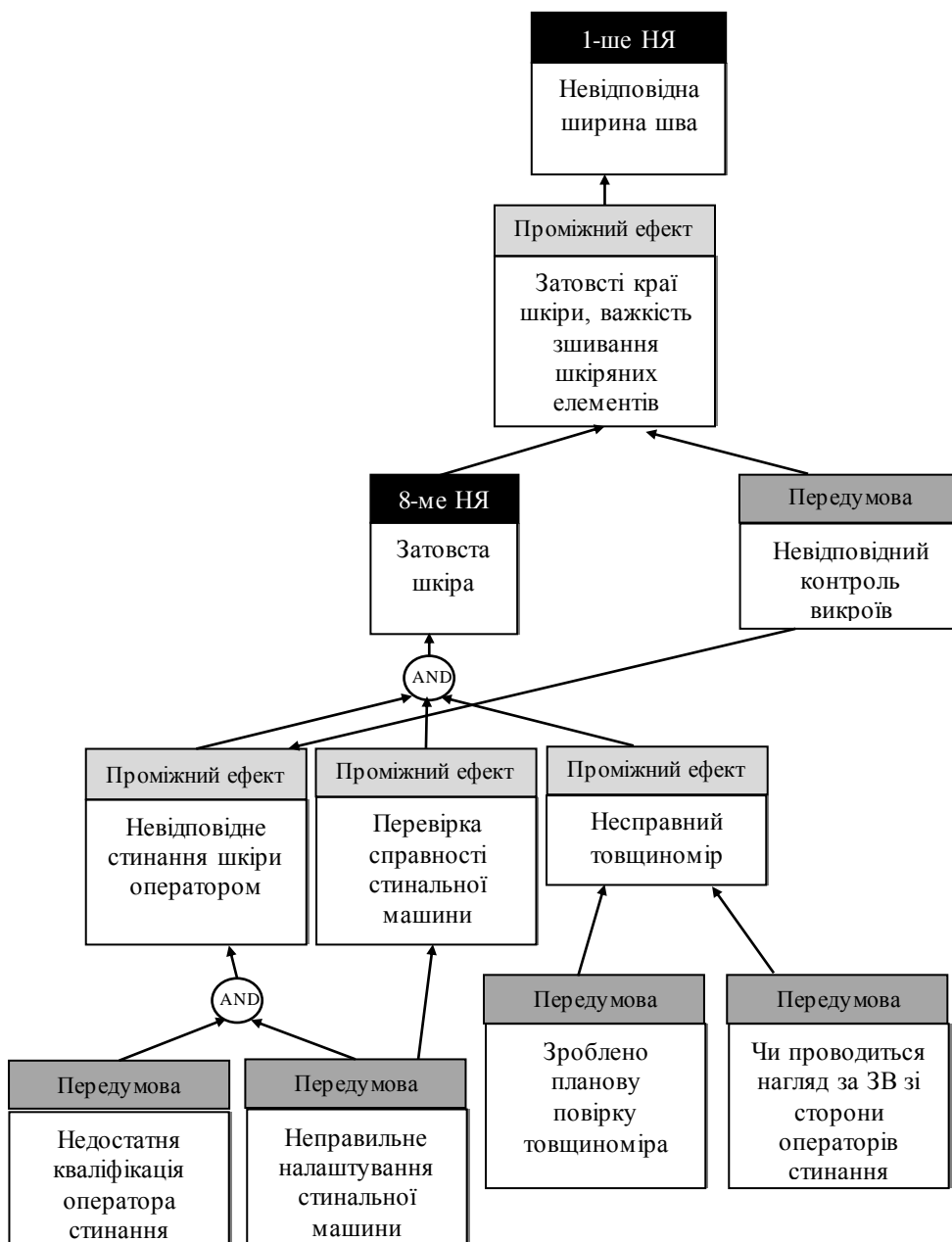


Рисунок 4.4 – Одна з груп зв'язків при побудові ДПР

У діаграмі присутні два види з'єднань стрілками: 1) коли на об'єкт діють незалежні фактори – стрілки від причин до наслідків ідуть незалежно; 2) коли настання події можливе тільки при наявності усіх передумов і неможливе при відсутності хоча б однієї з них – стрілки об'єднуються через оператор “and”.

При цьому діаграму слід читати, наприклад, наступним чином: ЯКЩО “Недостатня кваліфікація оператора стинання” ТА “неправильне налаштування стинальної машини” ТО “невідповідне стинання шкіри оператором” ТО “затовста шкіра”.

Встановлюємо додаткові елементи, необхідні для зрозумілості прояснення логіки зв'язків (такі як передумова – “неправильне налаштування стинальної машини” на рис.4.4). Зупиняємо побудову тоді, коли усі вихідні НЯ будуть з'єднаними між собою. Перевіряємо стрілки на предмет кореляційних залежностей, тобто чи зв'язок між двома елементами насправді є причиною та наслідком, чи це просто пов'язані події, причину яких ми не знаємо. Переглянемо НЯ та удосконалимо наше логічне дерево, усуваючи усі гілки та зв'язки, які не беруть участь у логічній побудові, що йде від НЯ, та отримаємо фінальний вигляд ДПР (рис.4.5).

Визначаємо істинні причини (ІП) та ключову проблему. З цією метою знаходимо всі істинні причини (твердження без вхідних стрілок) та встановлюємо, скільки НЯ створює кожна ІП. За правилом “70%” перевіряємо, чи викликає котрась з ІП 70% і більше НЯ, відмічаємо її як ключову проблему (КП). У нашому випадку є ряд ІП (рисунок 4.6), що ведуть до усіх НЯ і претендують на роль ключової проблеми. Це такі фактори як: неправильне налаштування стинальної машини, засильне витягання викроїв із стинальної машини, збій машини, вибрана невірна програма для розкрою, недостатня кваліфікація працівника.

Визначаємо, що ключовою причиною (проблемою) пошкодження SAB шва є недосконалість виробничого процесу стинання (під час механічної обробки шкіряних викроїв) а також процес викроювання шкіряних елементів.

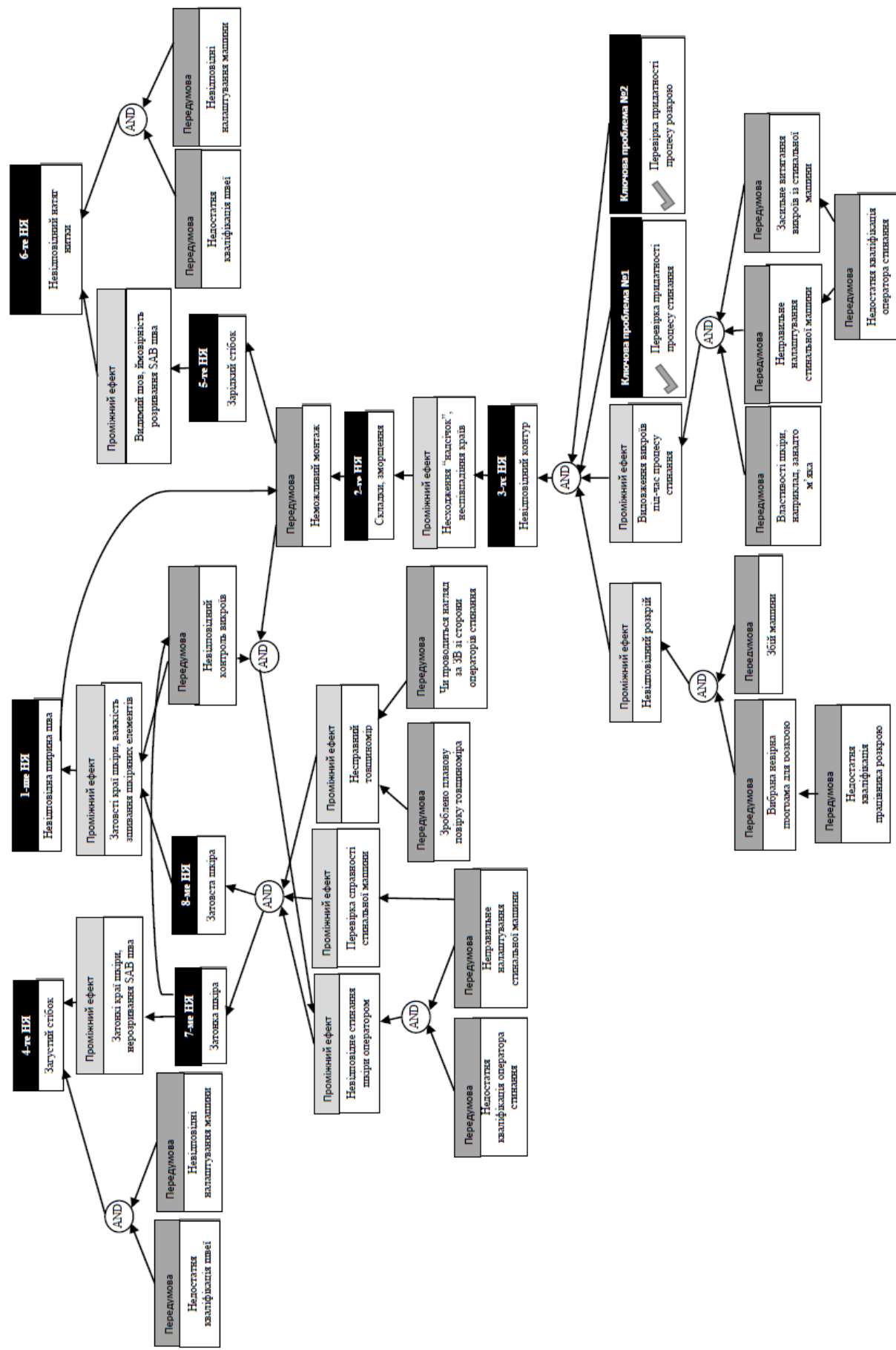


Рисунок 4.5 – ДІР розривання SAB шва в автомобільному чохлі

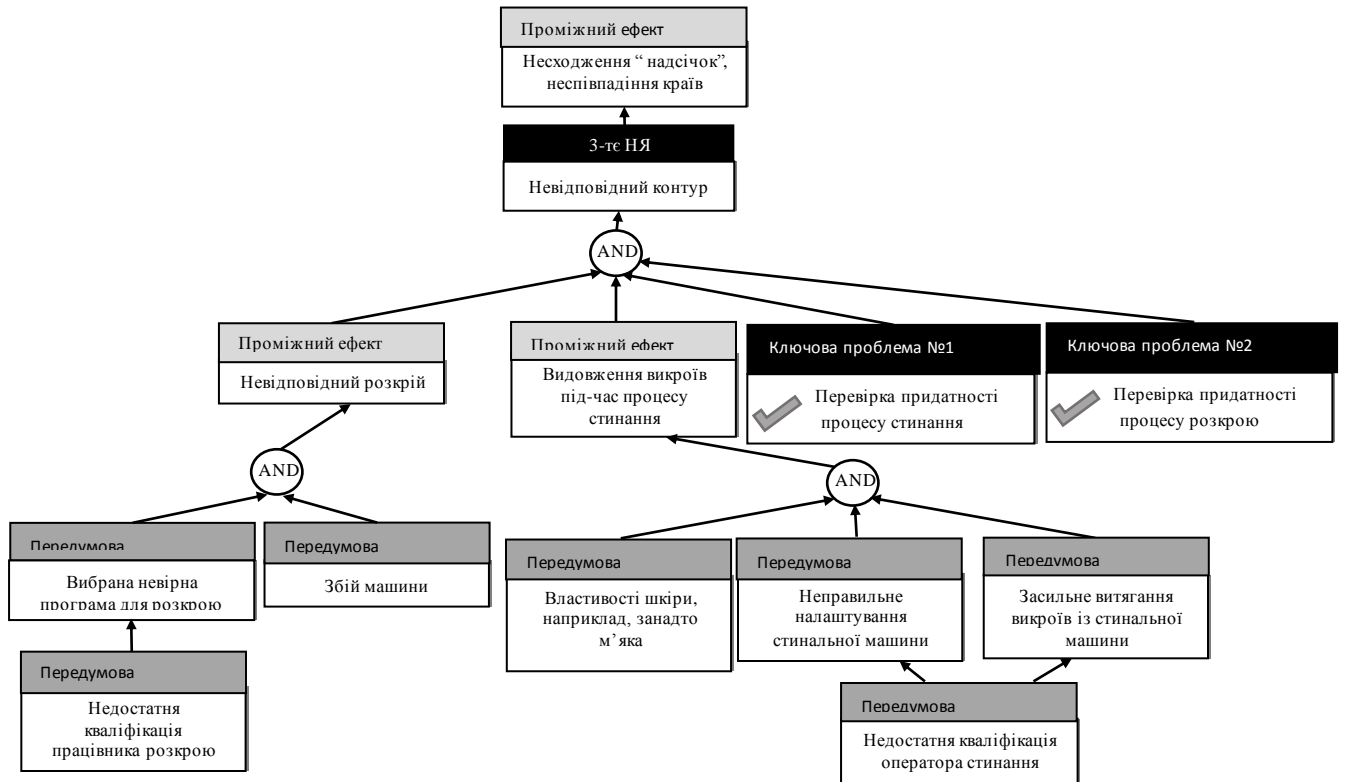


Рисунок 4.6 – Визначення ключової причини

Таким чином, усунення двох знайдених ключових проблем системи дозволить одночасно запобігти іншим небажаним явищам, які породжують дану причину. Крім того, це дасть змогу суттєво зменшити небажані явища, що є наслідком комплексної дії сукупності факторів, до яких входять ключові проблеми. Залишається знайти рішення, яке б дозволило забезпечити якість та стабільність виявлених за допомогою методології теорії обмежень “слабких місць” виробничих процесів стинання та викроювання шкіряних елементів. В дослідженні цих процесів з метою їх покращення полягає подальше завдання дисертаційної роботи.

Застосування методології теорії обмежень та побудова на її основі “дерева поточної реальності” є важливим кроком у фокусуванні зусиль в процесі безперервного вдосконалення виробничих процесів що дозволить суттєво підвищити їх якість та технічний рівень виготовленої продукції (Додаток В).

4.3. Реалізація методу дослідження придатності процесів системи управління якістю на підприємстві

Реалізація методу дослідження придатності виробничого процесу наведена на прикладі процесу стинання (механічна обробка шкіряних деталей) на підприємстві автомобільної промисловості ТзОВ “Бадер Україна”. Даний процес було обрано після детального аналізу негативних явищ які можуть бути причинами розривання в автомобільному чохлі SAB шва де пришивається подушка безпеки, та оскільки він має значний вплив на якість готової продукції.

Вибираючи виробничий процес стинання (під час механічної обробки шкіряних деталей), були враховані вимоги споживача щодо параметрів виготовленої продукції, та використані наступні показники: точність діаметральних розмірів, мм; коефіцієнт розсіювання показника якості процесу, індекс придатності, відповідність режимів процесів і виготовлення вимогам до якості продукції.

4.3.1. Методика проведення експериментальних досліджень

Методика експериментальних досліджень передбачає:

- 1) вибір матеріалів та деталей для дослідження;
- 2) підготовка деталей до дослідження;
- 3) перевірка адекватності моделі розподілу деталей як випадкової величини;
- 4) ідентифікація моделей розподілу показників якості товщини деталей згідно результатів вимірювань.

4.3.2. Матеріали для дослідження

Вибираючи виробничий процес, ми керувались важливістю його вихідних показників якості продукції, що є важливою умовою для забезпечення належного виконання всіх наступних виробничих операцій. Матеріали досліджуваних деталей, в свою чергу, повинні відповідати наступним вимогам:

- можливість отримання раціональної інформації про фізико-хімічний склад матеріалів;
- наявність еталонних зразків партії з лабораторії, де вироблялися відповідні матеріали, для можливості порівняння їх технологічних властивостей з попередніми партіями;
- інформація про можливість застосування а також у разі необхідності, застереження щодо використання партії матеріалів.

Це все спрямовано для можливості виконання вискоєфективної механічної обробки деталей стосовно забезпечення встановленої точності виготовлення необхідної ворсистості поверхні, використовуючи при цьому стандартний ріжучий інструмент.

Форма деталей (рис. 4.7) також повинна відповідати технологічним вимогам, а саме: складатися із уніфікованих формою елементів; розміри і поверхні елементів зразків повинні мати встановлену оптимальну точність розміра і ворсистості поверхні; мати достатню м'якість; встановлені оптимальні показники повинні відповідати відповідним діючим на підприємстві методам і засобам контролю; забезпечувати можливість застосування типових стандартних виробничих процесів.

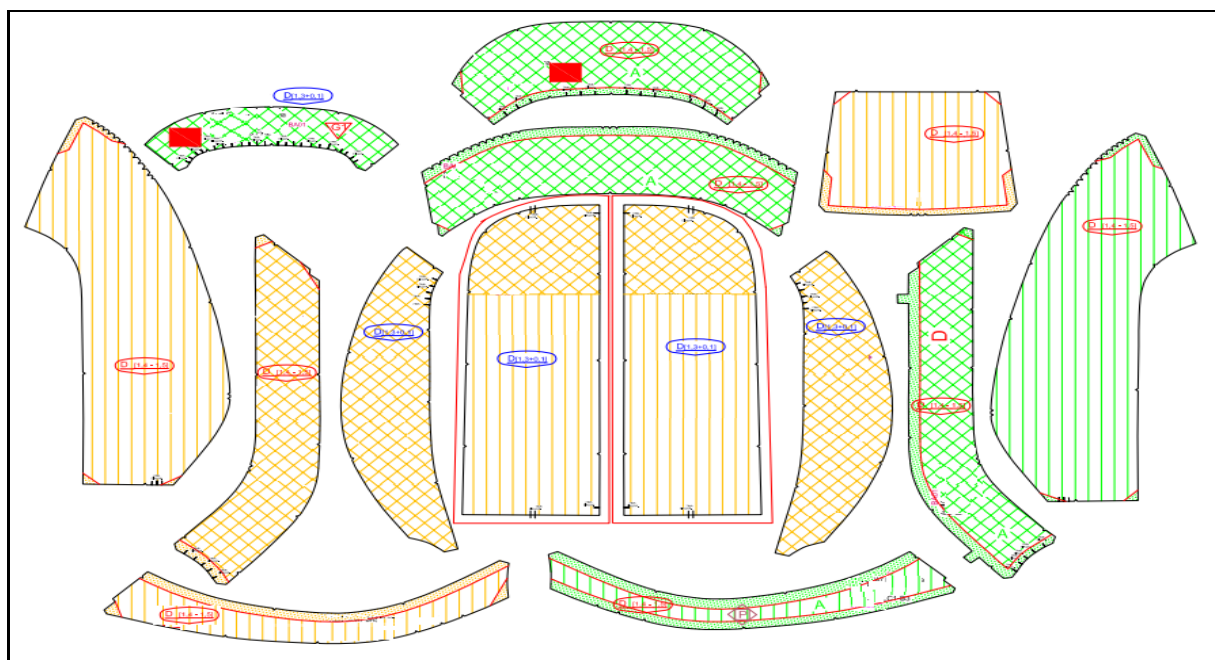
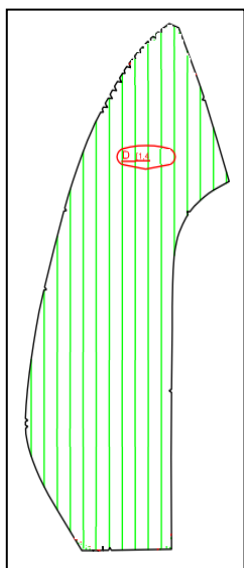


Рисунок 4.7 – Загальний вид шкіряних викроїв

Експериментальні зразки використовуємо тільки для досліджень, які пов'язані з вивченням моделей розподілу значень показників якості механічної



обробки деталей. Експериментальними зразками були шкіряні викрої, так як їх фізико-хімічні та технологічні властивості є одними з найважливіших характеристик при пошитті автомобільних чохлів в автомобільного виробництва.

Вибір зразка шкіряного викрою зображено на рис. 4.8 і обгрунтовується тим, що його функціональність в автомобілі є надзвичайно важливою, оскільки до шкіряного викрою пришивається повітряна подушка безпеки, від якої залежить життя та безпека кінцевого споживача. Зразок шкіряного

Рисунок 4.8 – Зразок шкіряного викрою

викрою відповідає технологічним вимогам. Основною характеристикою якості шкіри на всіх етапах виробничого процесу виготовлення шкіряних елементів є її товщина.

В зв'язку з тим, що необхідно проводити дослідження для різних партій, перевірено 5 партій шкіряних викроїв по 25 елементів з кожної партії (всього 125 елементів). Номінальне значення для продукції типу А дорівнює $1,30 \pm 1$ мм, для продукції типу В – $1,40 \pm 1$ мм.

Дослідження системи контролю якості виробничого процесу проводилося на етапі виготовлення шкіряних елементів для автомобільних сидінь на ТзОВ “Бадер Україна” (м.Городок Львівської області).

Виробники авто надають автомобільним сидінням чимале значення. При їх виготовленні враховується цілий ряд факторів – безпека, комфорт, анатомічна будова людини, призначення транспорту і т.д. Сидіння в автомобілі повинні бути зручними, водієві потрібна комфортна посадка і надійна фіксація тіла. Якість автомобільного чохла для сидіння визначається якістю комплектуючих деталей (в нашому випадку шкіряних деталей), якістю механічної обробки деталей та якістю пошиття. Найбільш затратним та громістким по часу при виготовленні шкіряних

чохлів є забезпечення якості механічної обробки. Це пов'язано з необхідністю високої точності розмірів, форми і особливістю оброблення шкіри.

Підтвердження лабораторних досліджень від виробника про хімічний склад партії шкіри "Milano", яку використовували під час дослідження, а також її механічні властивості, подано на рисунку 4.9 (німецька мова) і таблиці 4.2 (український переклад).

BADER®

Abnahmeprüfzeugnis nach DIN EN 10204 3.1 (S-Test)

OEM:	AUDI	
Material:	FL Milano-FOC Ü, 9419 atlasbeige	Seite 01 von 01
Plan:	Ausf. A geprägter Narben nach TL 52064	29.09.2015
Fauftrag:	7115146	
Charge	7115146	

Merkmal	Kurztext	Sollwert	Istwert
300	Dicke	1,4 .. 1,7 mm	1,6
1130	Höchstzugkraft (D-pflichtig)	>= 130,0 N	268,9
1499	Bruchdehnung	35,0 .. 60,0 %	52,9
1405	Weiterreisskraft (Mittelwert)	>= 25,0 N	56,8
2400	Dauerfaltverhalten im Anlieferzustand	keine Risse / no cracks	keine Risse / no cracks
2302	Haftung im Anlieferzustand	>= 4,0 N	7,6
3002	Veslic-Abrieb nass	>= 4,5 Note	4,5
3004	Veslic-Abrieb Schweißlsg.	>= 4,5 Note	4,5
7000	Brandgeschwindigkeit (D - Merkmal)	<= 100,0 mm/min	0,0
8301	Heissluftbeständigkeit VW / AUDI	keine Farbänderung / no color change	keine Farbänderung / no color change

Datum: 29.09.2015 Leitung Labor

Ausdruck wurde maschinell erstellt, deshalb auch ohne Unterschrift gültig.

BADER übernimmt keine Haftung für Schäden und Folgen, die durch die unsachgemäße Weiterverarbeitung des Leders oder der Zuschnitte auftreten.

Рисунок 4.9 – Підтвердження лабораторних досліджень

Таблиця 4.2 – Хімічний склад шкіри "Milano" та її механічні властивості

Характеристика	Встановлений параметр	Фактичний параметр
Товщина	1,4..1,7 мм	1,6
Максимальний розтяг	$\geq 130,0$ Н	268,9
Видовдження при розриві	35,0..60,0 %	52,9
Сила розривання	$\geq 25,0$ Н	56,8
Наявність тріщин при розриві	немає тріщин	немає тріщин
Сила адгезії	$\geq 4,0$ Н	7,6
Вологе стирання	$\geq 4,5$ Нот	4,5
Сухе стирання	$\geq 4,5$ Нот	4,5
Швидкість горіння	$\leq 100,0$ мм/хв	0,0
Стійкість кольору при потоці горячого повітря	немає змін в кольорі	немає змін в кольорі

При виготовленні шкіряних деталей застосовують статистичні методи контролю і управління якістю на різних етапах їх механічної обробки. Контроль якості шкіряних деталей вимагає високої трудоемкості контролюючих операцій, що призводить до високої собівартості їх виготовлення, зменшення якої можливо за рахунок застосування статистичних методів контролю управління якістю.

4.3.3. Технічне забезпечення виробничого процесу

Для дослідження придатності процесу точності зрізання шкіряних деталей, механічну обробку проводили на "двоільній" машині Camoga моделі 620 (рис. 4.10). Робота її полягає в пропусканні шкіряних викроїв через два дотичних вали ножів (ширина між якими регулюється) з метою отримання необхідної товщини. Процес налаштування параметрів такий: за допомогою регулятора швидкості на панелі управління (рис. 4.11) виставити швидкість зрізання ворсистій сторони викрою. Швидкість зрізання залежить від розміру шкіряних

викроїв. При зрізанні менших за площею викроїв оператор виставляє більшу швидкість, більших викроїв – меншу швидкість. Зрізання великих викроїв з більшою швидкістю призводить до розтягування та невідповідної товщини зрізання.

При проведенні дослідження взято викрої (рис. 4.12) середнього розміру (довжина 45 см) та вибрано наступні режими зрізання товщини шкіри: швидкість зрізання $V= 72$ м/хв, товщина щілини валів з ножами для зрізання для продукції типу А = $1,30\pm 1$ мм, для продукції типу В – $1,40\pm 1$ мм.



Рисунок 4.10 – Машина для стинання ворсистої поверхні шкіри Samoga 620



Рисунок 4.11 – Регулятор швидкості на панелі управління стинальної машини Samoga 620



Рисунок 4.12 – Шкіряний викрій середнього розміру (довжина 45 см)

Після процесу зрізання шкіряних деталей необхідно здійснити перевірку їх товщини, використовуючи цифровий товщиномір для шкіри з ціною поділки 0,01 мм (рисунок 4.13).

Вимірювання проводимо безпосередньо на робочому місці в процесі механічної обробки (рис. 4.14 – 4.15). Вимірюються всі, без винятку, послідовно оброблені деталі в порядку їх виготовлення. Отримані результати досліджень записуються в спеціальний шаблон для отриманих значень.



Рисунок 4.13 – Цифровий товщиномір для шкіри



Рисунок 4.14 – Товщина викрою “до” механічної обробки



Рисунок 4.15 – Товщина викрою “після” механічної обробки

4.4. Проведення експериментальних досліджень

Під час проведення експериментів:

1. Провести експеримент з вивчення приналежності отриманих показників процесу до відповідного розподілу.
2. Експериментально довести адекватність моделей розподілу дійсних показників якості.
3. Застосувати інформаційну технологію для дослідження придатності процесу.

4.4.1. Підготовка проведення дослідження та опрацювання результатів

Для проведення аналізу випадкових процесів розподілу дійсних значень виготовленої продукції необхідно виконати перевірку на випадковість розподілу вимірних характеристик.

Розпочати підготовку проведення дослідження необхідно з оцінювання грубих похибок експерименту, так як вони мають вплив на кінцевий результат оцінки точності виробничих процесів, і можуть призвести до того, що одні результати спостережень по своїх вихідних даних значно відрізнятимуться від інших (рис. 4.16).

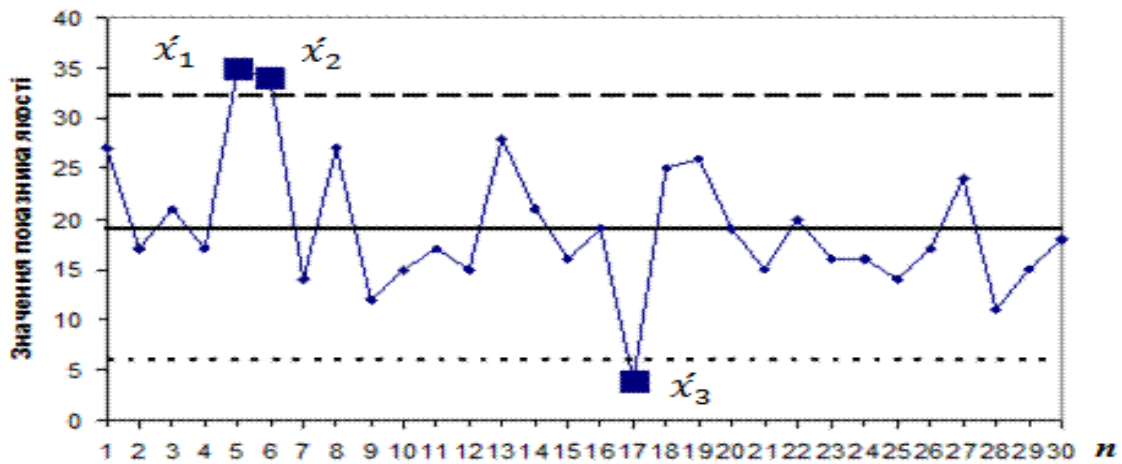


Рисунок 4.16 – Розкид показників якості з випадковими відхиленнями x_n

Груба похибка експерименту при вимірюванні може виникнути в результаті людського фактору неуважності, неправильного вибору методу, зміщені деталей при дослідженні і т.д.

Якщо є впевненість в тому, що такі спостереження є хибними (випадковими але цілком систематичним), і є результатом відхилення, то цю похибку не варто враховувати при аналізі процесу. Але якщо впевненості немає, то для визначення того, чи є відхилення результатів вимірювання наслідком грубої помилки чи випадкового відхилення, необхідно використати критерій визначення грубих похибок експеримента.

В якості критерія визначення похибок експерименту використано критерій Романовського [160]. Критерій Романовського дозволяє визначити грубі похибки (при $n \rightarrow \infty$) і використовується для опрацювання результатів вимірювань практично усіх поширених методів. Керуючись цим методом, на основі отриманих значень вибірки вираховується середнє арифметичне \bar{X} середньоквадратичне відхилення S , попередньо виключивши з нього випадкові значення x_i . Після цього визначається значення t_β за формулою:

$$t_\beta = \frac{|x_i - \bar{X}|}{S} \quad (4.1)$$

Допустимі значення \hat{t}_β наведені в таблиці 4.3 [160]:

Таблиця 4.3 – Допустимі значення \hat{t}_β

n	20	25	30	40	50	120
\hat{t}_β	2,14	2,1	2,08	2,05	2,02	1,99

Якщо $t_\beta \leq \hat{t}_\beta$, то \hat{x}_1 є випадковим значенням і його необхідно враховувати в подальших обчисленнях. Якщо $t_\beta > \hat{t}_\beta$, то випадкове значення \hat{x}_1 слід вважати грубою похибкою, і його необхідно видалити з вибірки.

Такий аналіз слід обов'язково проводити при дослідженнях, пов'язаних з визначенням моделі розподілу випадкових величин.

4.5. Ідентифікація моделей розподілу показників якості механічної обробки

Ідентифікація моделей розподілу випадкових величин показників якості механічної обробки шкiряних деталей виконувалась в рiзний час, в робочих умовах i на виробництвi, але методика i алгоритм проведення експериментiв були однаковi [145].

Для визначення моделi розподiлу показникiв якостi механiчної обробки необхідно виконати численнi експерименти, тому кiлькiсть експериментальних заразкiв повинна бути не меншою 100 штук. Крім того, дослідження повинні проводитися в рiзних умовах, тому для кращої достовiрностi результатiв, дослідження проводились на двох видах шкiряних деталей, з рiзними параметрами i на рiзних поверхнях.

Методика проведення експериментальних досліджень визначення моделi розподiлу точних показникiв якостi механiчної обробки полягає в вирiшеннi низки задач i вирiшувати їх необхідно в визначеннiй послiдовностi, так як кожна

задача вимагає певного об'єму статистичних даних, отриманих із результатів вирішення попередніх.

4.5.1. Ефективність статистичного контролю параметрів моделей розподілу показників якості

Дослідження системи контролю якості виробничого процесу проводилося на етапі виготовлення шкіряних елементів для автомобільних сидінь. Основною характеристикою якості шкіри на всіх етапах виробничого процесу виготовлення шкіряних елементів є її товщина.

Дослідження системи контролю якості виробничого процесу проводилося на етапі виготовлення шкіряних елементів для автомобільних сидінь на ТзОВ “Бадер” (м.Городок Львівської області), під час кінцевої обробки шкіряних викроїв на стинальній машині Самога С620 – стинання внутрішньої ворсисті поверхні елементів. Вимірювання проводилось цифровим товщиноміром з ціною поділки 0,01 мм. Було перевірено 5 партій шкіряних викроїв по 25 елементів з кожної партії (всього 125 елементів), всі з яких знаходились усередині меж заданих допусків $\pm 3\sigma$, (для продукції типу А номінальне значення дорівнює $1,30 \pm 1$ мм, для продукції типу В – $1,40 \pm 1$ мм). Основним інструментом статистичного контролю процесом є контрольні карти, за допомогою яких ведеться спостереження за розподілом вимірних значень виробничого процесу, та чи знаходяться вони в межах контролю [43, 151].

Результати експериментальних даних параметрів товщини шкіряних викроїв представлені в табл. 4.4 і 4.5. Точкові діаграми розподілу вимірних характеристик при процесі стинання ворсисті поверхні шкіряних викроїв зображено на рис. 4.18 .

Результат вимірювання

Таблиця 4.4 – Результати експериментальних даних розмірів шкіряних
викроїв типу А з товщиною $1,30 \pm 0,1$ мм

№ деталі	Товщина, мм	№ деталі	Товщина, мм	№ деталі	Товщина, мм	№ деталі	Товщина, мм	№ деталі	Товщина, мм
1.	1,33	26.	1,34	51.	1,30	76.	1,30	101.	1,33
2.	1,36	27.	1,34	52.	1,30	77.	1,30	102.	1,30
3.	1,33	28.	1,36	53.	1,30	78.	1,30	103.	1,30
4.	1,28	29.	1,30	54.	1,34	79.	1,30	104.	1,30
5.	1,34	30.	1,31	55.	1,34	80.	1,30	105.	1,30
6.	1,32	31.	1,29	56.	1,34	81.	1,30	106.	1,30
7.	1,27	32.	1,31	57.	1,30	82.	1,30	107.	1,30
8.	1,34	33.	1,31	58.	1,30	83.	1,30	108.	1,30
9.	1,28	34.	1,31	59.	1,30	84.	1,30	109.	1,30
10.	1,28	35.	1,30	60.	1,37	85.	1,30	110.	1,30
11.	1,28	36.	1,30	61.	1,35	86.	1,30	111.	1,24
12.	1,28	37.	1,30	62.	1,30	87.	1,36	112.	1,23
13.	1,33	38.	1,32	63.	1,32	88.	1,36	113.	1,30
14.	1,30	39.	1,30	64.	1,32	89.	1,36	114.	1,30
15.	1,36	40.	1,30	65.	1,31	90.	1,37	115.	1,30
16.	1,27	41.	1,32	66.	1,30	91.	1,39	116.	1,30
17.	1,28	42.	1,33	67.	1,30	92.	1,30	117.	1,30
18.	1,30	43.	1,30	68.	1,30	93.	1,30	118.	1,32
19.	1,30	44.	1,30	69.	1,24	94.	1,31	119.	1,32
20.	1,38	45.	1,27	70.	1,24	95.	1,30	120.	1,32
21.	1,40	46.	1,25	71.	1,34	96.	1,34	121.	1,33
22.	1,38	47.	1,30	72.	1,37	97.	1,33	122.	1,32
23.	1,34	48.	1,30	73.	1,37	98.	1,33	123.	1,31
24.	1,30	49.	1,30	74.	1,37	99.	1,33	124.	1,30
25.	1,32	50.	1,30	75.	1,30	100.	1,33	125.	1,30

Таблиця 4.5 – Результати експериментальних даних розмірів шкіряних
викроїв з товщиною $1,40 \pm 0,1$ мм

№ деталі	Товщина, мм	№ деталі	Товщина, мм	№ деталі	Товщина, мм	№ деталі	Товщина, мм	№ деталі	Товщина, мм
1.	1,40	26.	1,40	51.	1,40	76.	1,40	101.	1,40
2.	1,41	27.	1,40	52.	1,40	77.	1,40	102.	1,40
3.	1,41	28.	1,40	53.	1,43	78.	1,40	103.	1,40
4.	1,40	29.	1,40	54.	1,43	79.	1,40	104.	1,40
5.	1,41	30.	1,41	55.	1,40	80.	1,40	105.	1,40
6.	1,44	31.	1,45	56.	1,40	81.	1,42	106.	1,41

7.	1,45	32.	1,44	57.	1,38	82.	1,40	107.	1,43
8.	1,42	33.	1,40	58.	1,40	83.	1,40	108.	1,43
9.	1,43	34.	1,44	59.	1,40	84.	1,40	109.	1,40
10.	1,40	35.	1,45	60.	1,40	85.	1,40	110.	1,40
11.	1,40	36.	1,42	61.	1,40	86.	1,40	111.	1,40
12.	1,40	37.	1,40	62.	1,38	87.	1,40	112.	1,40
13.	1,40	38.	1,40	63.	1,40	88.	1,37	113.	1,40
14.	1,40	39.	1,40	64.	1,40	89.	1,40	114.	1,40
15.	1,40	40.	1,40	65.	1,38	90.	1,40	115.	1,42
16.	1,42	41.	1,41	66.	1,39	91.	1,40	116.	1,44
17.	1,42	42.	1,40	67.	1,38	92.	1,40	117.	1,44
18.	1,42	43.	1,41	68.	1,40	93.	1,42	118.	1,40
19.	1,40	44.	1,40	69.	1,40	94.	1,40	119.	1,40
20.	1,40	45.	1,40	70.	1,46	95.	1,40	120.	1,41
21.	1,40	46.	1,43	71.	1,46	96.	1,39	121.	1,42
22.	1,40	47.	1,45	72.	1,48	97.	1,40	122.	1,46
23.	1,40	48.	1,45	73.	1,40	98.	1,40	123.	1,47
24.	1,40	49.	1,40	74.	1,40	99.	1,40	124.	1,43
25.	1,40	50.	1,40	75.	1,40	100.	1,40	125.	1,43

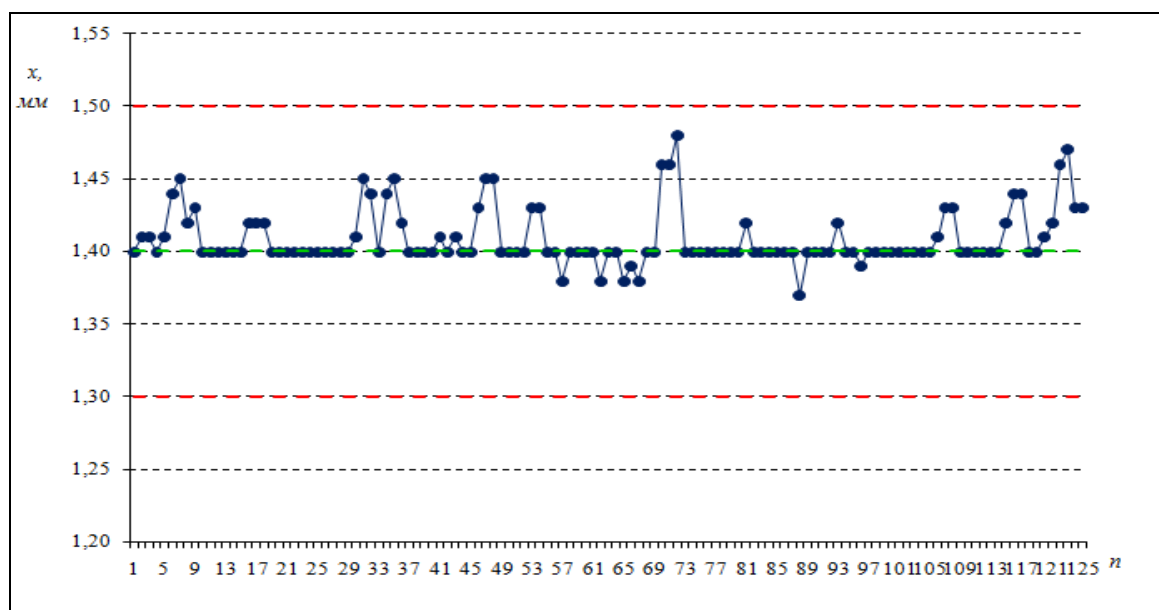


Рисунок 4.18 – Розподіл вимірних характеристик в процесі стинання ворсистої поверхні шкіряних викроїв типу В з товщиною $1,40 \pm 1$ мм

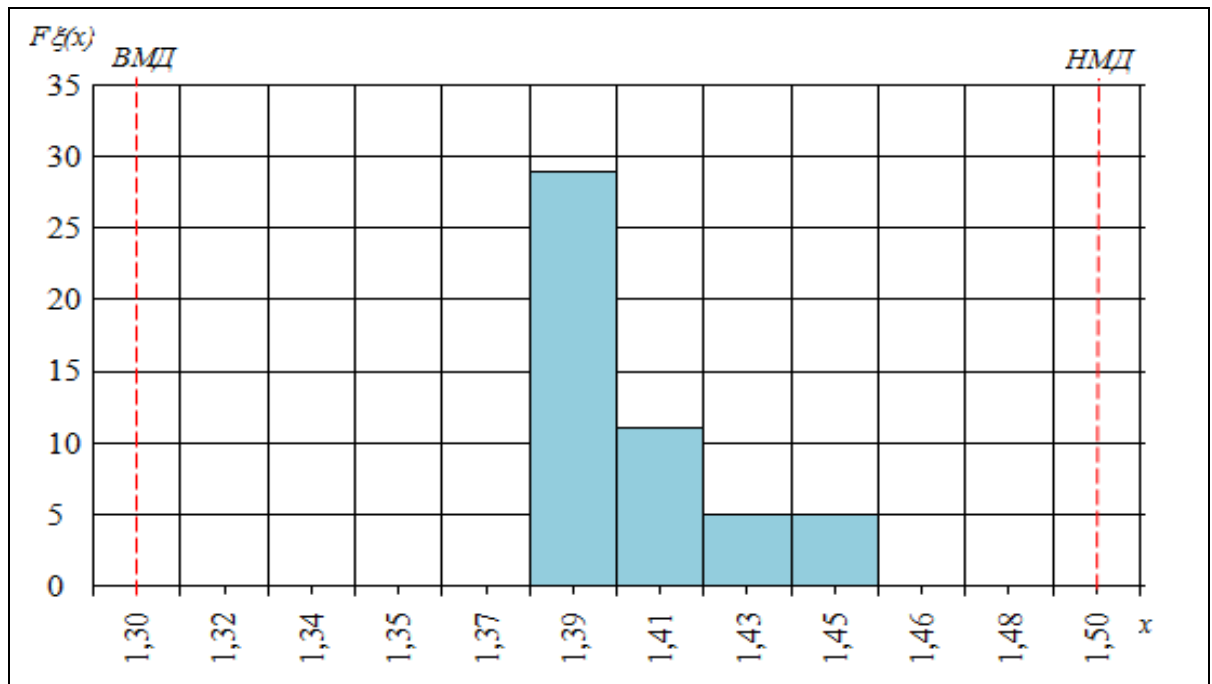


Рисунок 4.19 – Гістограма отриманих показників стинання типу В, з товщиною $1,40 \pm 1$ мм

Метою побудови статистичної моделі є представлення даних спостережень шляхом підбору апроксимуючого розподілу. Історично склалося так, що нормальний розподіл вважався майже всеосяжною статистичною моделлю через достатньо загальні умови його появи [130]. Тому більшість статистичних критеріїв, методів і оцінок розроблені саме для цього випадку.

Для визначення моделі розподілу випадкових величин на основі отриманих даних визначаємо тип кривої Пірсона, до якої відноситься розподіл таких величин.

Ідентифікація типу кривої Пірсона дозволить більш ефективно провести наукові дослідження по визначенню моделі розподілу показників якості та дослідити придатність процесу. Для цього, застосувавши програму Statistica, та вважаючи, що процес має нормальний закон розподілу, будуємо графіки розподілу отриманих показників типу А і В.

Результати зображені на рис. 4.20 – 4.21:

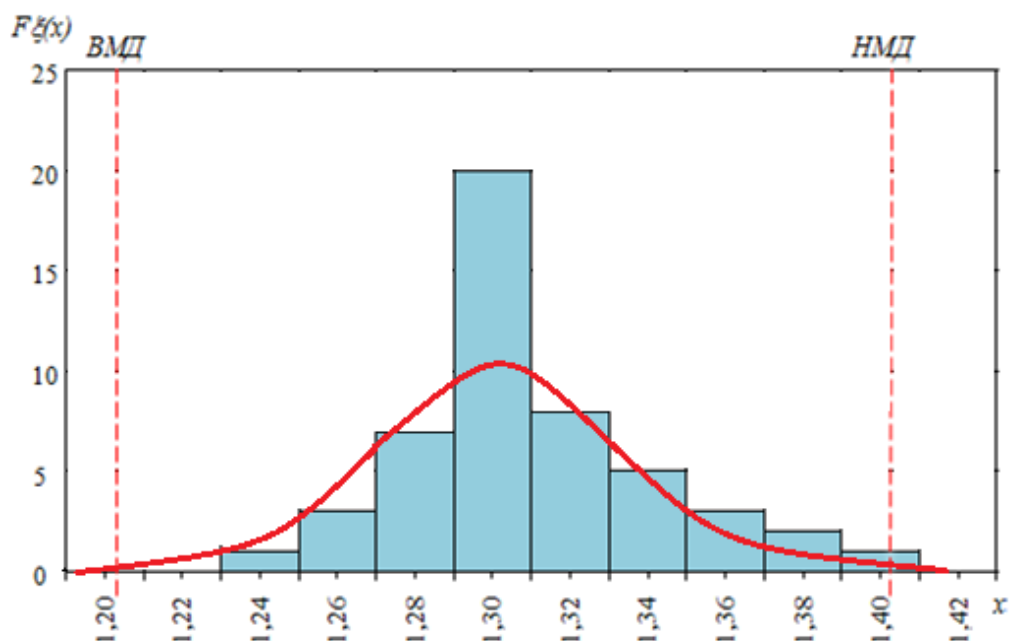


Рисунок 4.20 – Гістограма і крива відносної густини розподілу параметрів стинання тип А, побудована за моделлю А (нормальний розподіл)

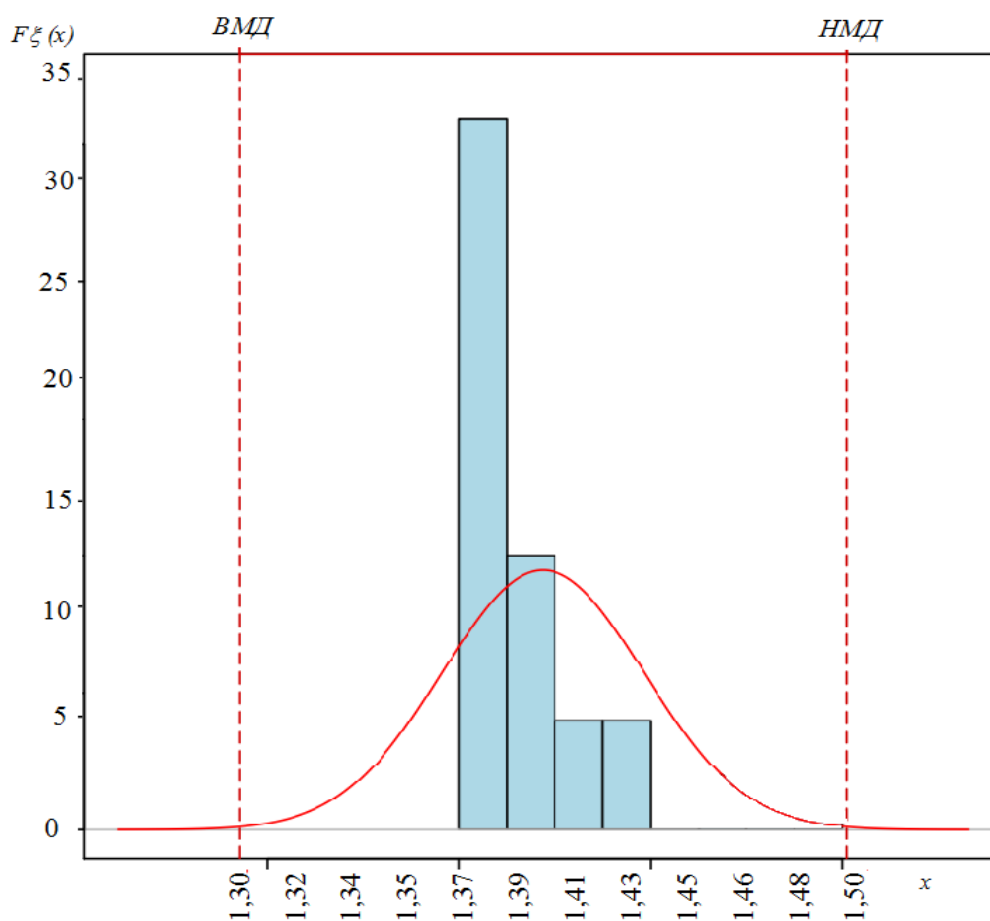


Рисунок 4.21 – Гістограма і крива відносної густини розподілу параметрів стинання, побудована за часовою моделлю А1 (нормальний розподіл)

Із графіків видно, що розкид значень при механічній обробці деталей типу А відповідає нормальному закону розподілу, а розкид значень типу В – не належить до нормального закону розподілу.

Тому важливим є ідентифікація до якої саме моделі розподілу (рис.4.22 – 4.25) належать отримані значення показників якості механічної обробки [130]. В програмі Statistica будуюмо графіки з одержаних результатів, підбираючи можливі варіанти розподілів:

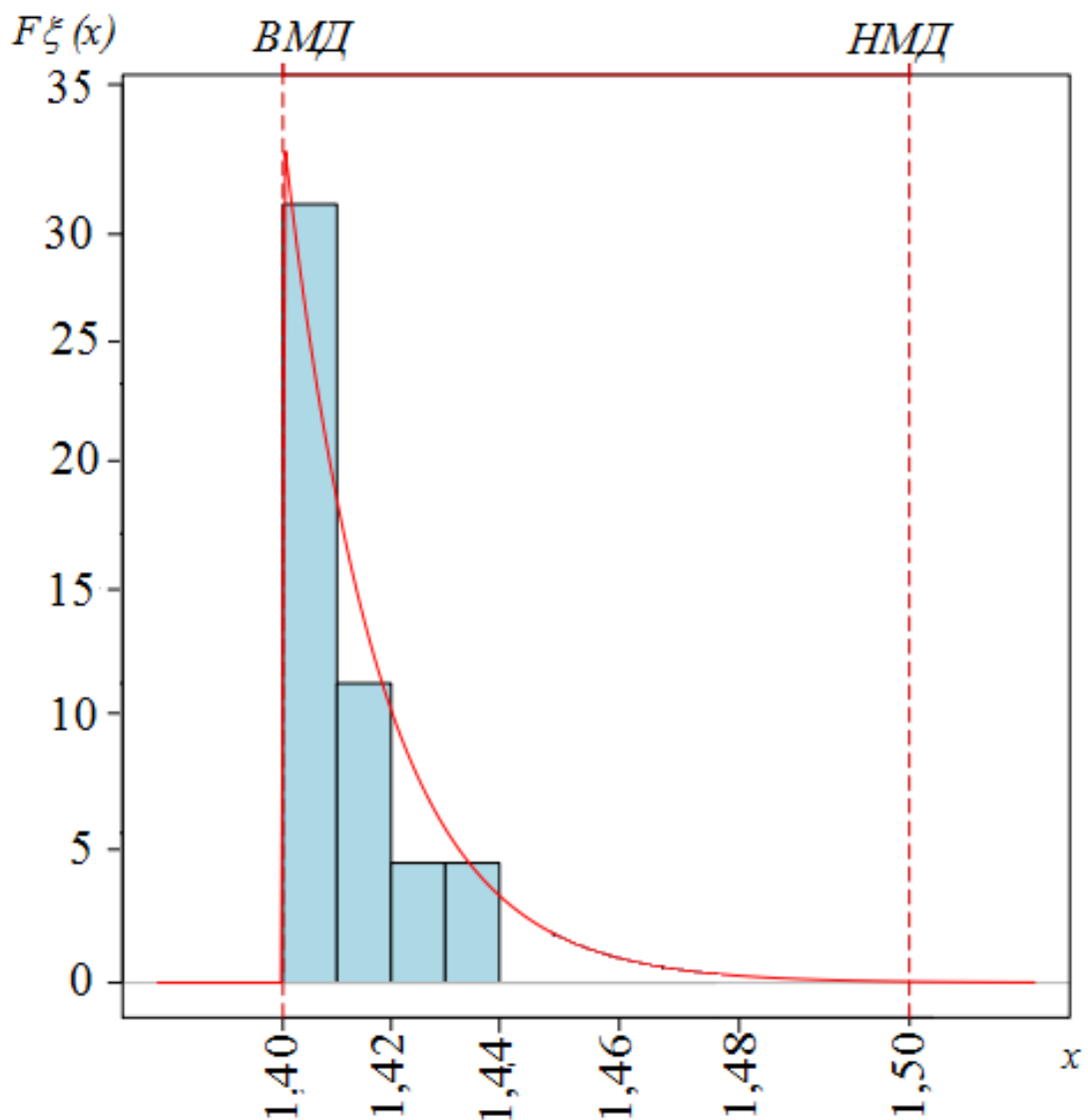


Рисунок 4.22 – Гістограма і крива відносної густини розподілу параметрів стинання, побудована за часовою моделлю А2 (експоненціальний розподіл)

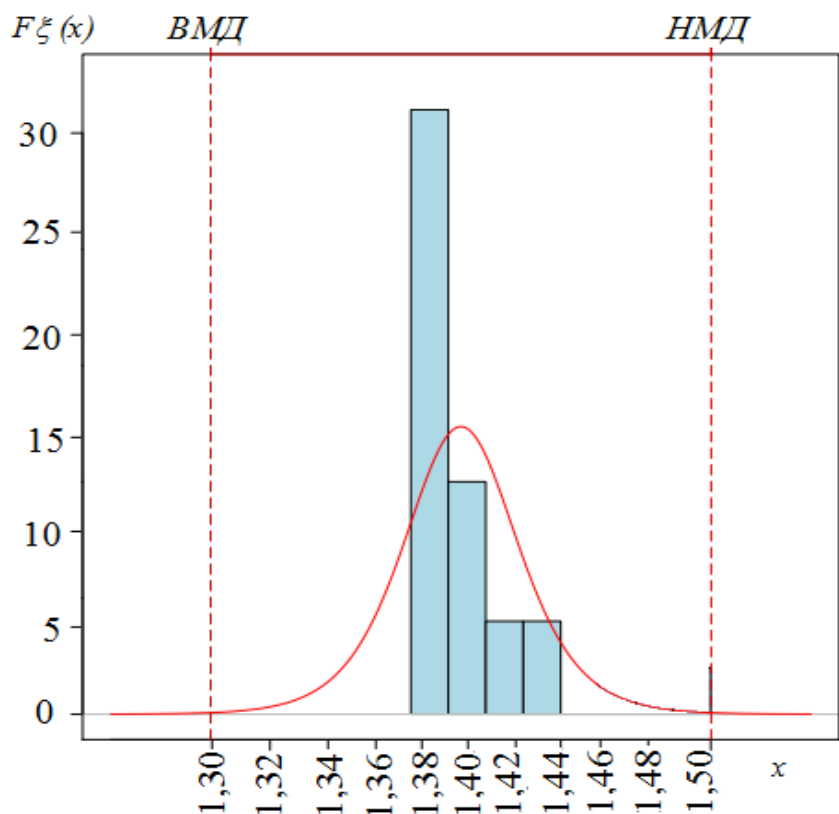


Рисунок 4.23 – Гістограма і крива відносної густини розподілу параметрів стинання, побудована за моделлю В (логістичний розподіл)

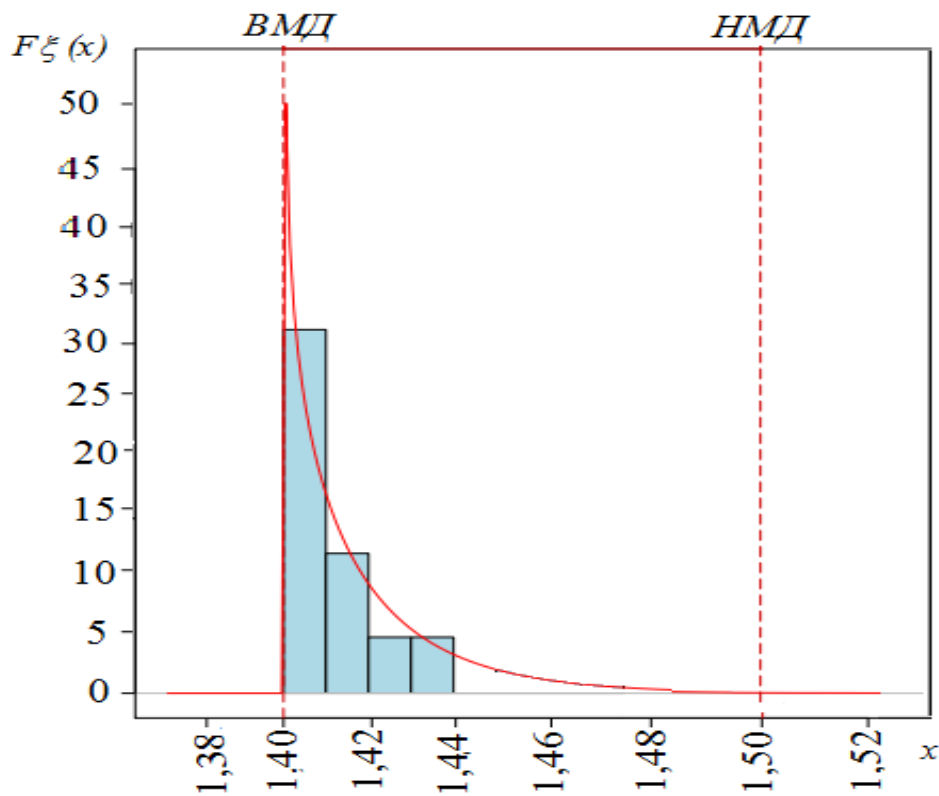


Рисунок 4.24 – Гістограма і крива відносної густини розподілу параметрів стинання, побудована за моделлю С1 (гамма розподіл)

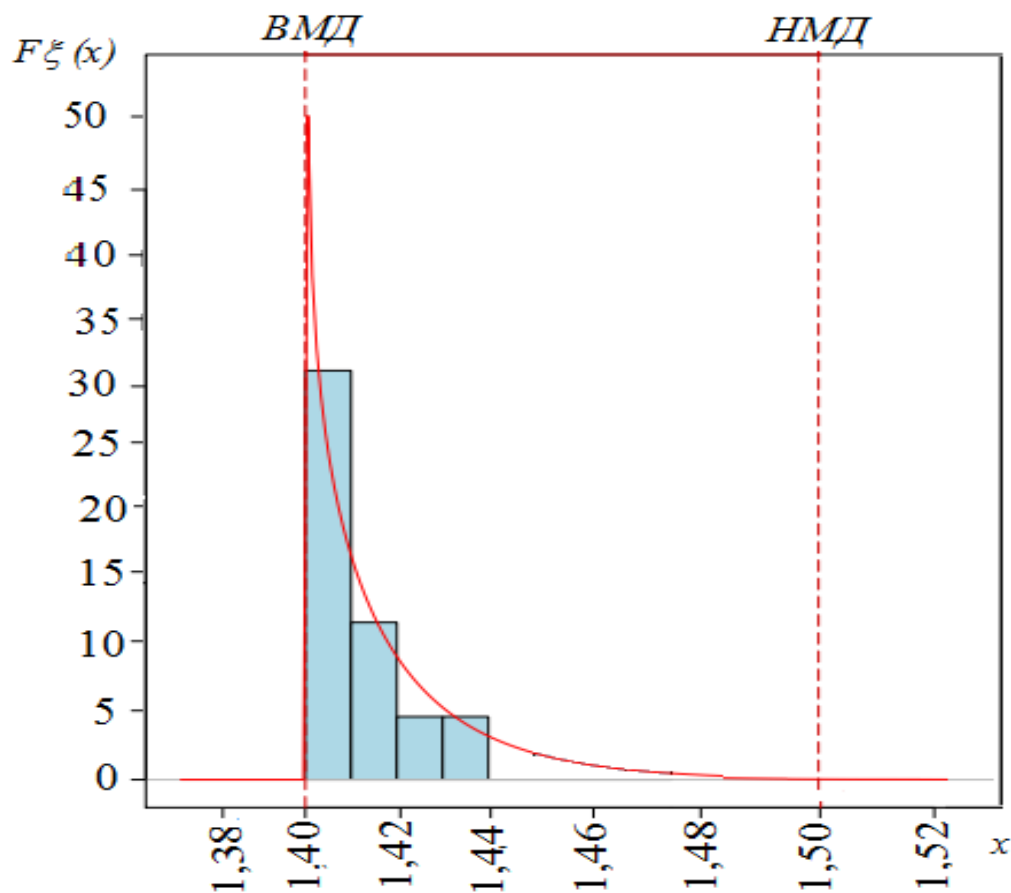


Рисунок 4.25 – Гістограма і крива відносної густини розподілу параметрів стинання, побудована за моделлю С2 (розподіл Вейбулла)

Таким чином, вибір моделі розподілу, в залежності від отриманого розкиду показників якості, може відноситися до однієї з чотирьох груп, в залежності від того, чи є параметри дисперсії і розташування постійними чи змінними [132], які, в свою чергу, поділяються 7 часових різновидів (рис. 2.4 – 2.11, табл.2.2), в залежності від стану вагомості процесу стосовно показників якості, а також від самого перебігу процесу в часі.

Як видно з одержаних результатів, показники якості процесу механічної обробки шкіряних деталей належить до експоненціального розподілу (рис.4.25).

4.6. Застосування інформаційної технології для дослідження придатності процесу

Для визначення індексів придатності виробничих процесів з їх різнорідними показниками якості необхідно розробити єдину уніфіковану комп'ютерну модель, яка повинна бути придатною для будь-яких процесів, незважаючи на їх різноманітність, ступінь складності та ступінь впливу на кінцеву продукцію, а також, можливість контролю за їх стабільним функціонуванням.

В дисертаційній роботі розроблено алгоритм оптимального розподілу для дослідження придатності процесу (рис.4.26) і сформульовано наукову задачу його інформаційного забезпечення [130].

На основі наявої бази даних отриманих показників якості та їх алгоритмів обробки при безпосередній участі інтелектуального інтерфейсу здійснюється ідентифікація розподілу і вибір оптимального алгоритму обчислення, в результаті якого отримуємо значення індексів придатності процесу.

Розроблена концептуальна модель інформаційної технології для дослідження придатності процесу (КМІТ) об'єднує всі елементи і компоненти програми, які здатні впливати на взаємодію користувача з програмним забезпеченням, до яких відносяться:

- сукупність завдань користувача, які він вирішує за допомогою ІВС;
- елементи управління системою;
- навігація між блоками системи;
- візуальний (і не тільки) дизайн екранів програми;
- засоби відображення інформації;
- пристрої та технології вводу / виводу даних;
- порядок використання програми і документація на неї тощо.

На основі структурної схеми концептуальної моделі інформаційної технології (рис. 4.26) [130] було розроблено забезпечення монокристалічних резонансних сенсорів [154-155].



Рисунок 4.26 – Концептуальна модель інформаційної технології для дослідження придатності процесу

Розглянемо основні принципи функціонування КМІТ. Відповідно до принципів функціонування ЕОМ та Microsoft Excel структурна схема КМІТ складається з п'яти етапів.

Першим етапом, зображеним на рис. 4.27 позначеним стрілкою 1, в КМІТ вносяться дані, одержані під час вимірювань, а також інформація про параметри дослідження, об'єкти, засоби та умови дослідження, необхідна точність вимірювання, пропоновані вимоги та завдання.

Другим етапом, зображеним на рис.4.27, стрілка 2, є контроль наявності керованих значень (нормоване значення, значення ВМД/НМД, крок дискретизації) та визначення їх достовірності. У випадку виявлення недостовірних даних система повідомляє про помилку введення невірних значень.

Третій етап (рис.4.27, стрілка 3) – на основі аналізу даних отриманих показників якості і закладених алгоритмів опрацювання вимірювань, виконується

ідентифікація розкидів нормованих показників якості (контрольна карта, гістограма).

Четвертий етап (рис.4.27, стрілка 4) згідно рис. 4.26 полягає у виборі оптимального алгоритму обчислення з числа всіх можливих для знаходження індексу придатності досліджуваного процесу. Правильність вибору алгоритму безпосередньо пов'язано з вказаними характеристиками точності результатів вимірювань. Одержані показники якості повинні включати в себе всі відомості, необхідні для виконання відповідних розрахунків.

Після вибору оптимального алгоритму обчислення виконується завершальний етап методики КМІТ – проведення необхідних обчислень та одержання індексів C_p , C_{pk} , які характеризують придатність процесу. В КМІТ виводяться отримані значення показників якості з графічною оцінкою їх похибок, див. рис. 4.27, стрілка 5.

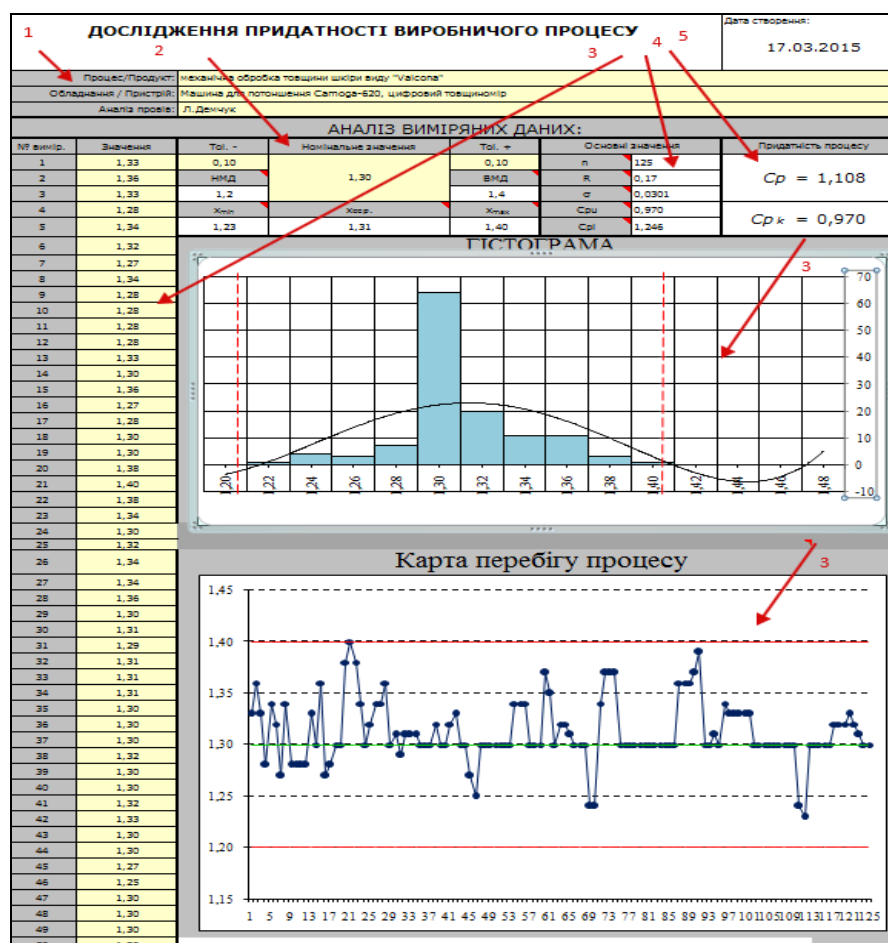


Рисунок 4.27 – КМІТ для отриманих показників стинання типу В (Microsoft Excel)

Розглянемо математичну основу експериментальних досліджень типу А і В, щоб переконатися в коректності її застосування.

Із таблиці знаходимо найменше і найбільше значення товщини стинання шкіряних викроїв:

$$x_{\min} = 1,23; x_{\max} = 1,40,$$

та відомі межі допуску:

$$\text{НМД} - 1,20 \text{ мм}; \text{ВМД} - 1,40 \text{ мм}$$

Значення індексу відтворюваності C_p з (3.16) складає:

$$C_p = \frac{1,40 - 1,20}{6 \cdot 0,0301} = 1,108$$

Звідси індекс придатності процесу стинання ворсисті поверхні з (3.19) маємо:

$$C_{pk} = 0,970 < 1,$$

тобто, в майбутньому при таких умовах механічної обробки можливий вихід вимірних характеристик за межі допуску.

Із таблиці найменше і найбільше значення товщини стинання шкіряних викроїв:

$$x_{\min} = 1,37; x_{\max} = 1,48$$

та межі допуску:

$$\text{НМД} - 1,30 \text{ мм}; \text{ВМД} - 1,50 \text{ мм}.$$

Тоді з (3.16) маємо:

$$C_p = \frac{1,50 - 1,30}{6 \cdot 0,0192} = 1,732$$

та індекс придатності процесу:

$$C_{pk} = 1,572$$

На основі розробленої концептуальної моделі інформаційної технології (рис. 4.27) та для кращої достовірності результатів, проведемо дослідження придатності виробничого процесу стинання враховуючи різні впливи на пербіг процесу. Будемо враховувати:

- зміну партій матеріалу;
- зміну виробничого обладнання;
- частоту “зношення” (заміни / гостріння) стинальних ножів;
- частоту зміни налаштувань параметрів виробничого обладнання.

Із попередніх досліджень встановлено, що розподіл отриманих значень виробничого процесу стинання для деталей типу А відповідає нормальному закону розподілу, проте розподіл для деталей типу В – відмінний від нормального. Підбираючи в програмі Statistica можливий варіант розподілу, було встановлено, що розподіл показників якості для деталей типу В належить до експоненціального розподілу. Виходячи з цього, за досліджувані взірці візьмемо деталі типу В з номінальним значенням $x_{\text{ном}}=1,40 \pm 0,1$ мм.

Вимірювання проводилось цифровим товщиноміром з ціною поділки 0,01 мм на шкіряних елементах до яких пришивається подушка безпеки. Було перевірено 50 взірців довжиною 45-60 см, товщина кожного перевірялася в 5-ох точках (всього 250 вимірювань).

Згідно розробленої методики дослідження придатності процесу, проведемо дослідження процесу стинання враховуючи:

- 1) часті зміни налаштувань параметрів виробничого обладнання.

Випадкові взірці відібрано під час виробничих процесів в нормальних умовах виробництва (тобто обладнання працює із встановленим серійним часом та із налаштуванням так як для серійного виробництва), із однаковими інтервалами часу та рівномірними кількостями. За таких умов відбору, такі чинники впливу як зміна налаштувань виробничого обладнання, зміна інструменту, виходи із ладу будуть враховані.

Результати дослідження придатності процесу враховуючи часті зміни налаштувань параметрів виробничого обладнання наведено в табл. 4.6.

Таблиця 4.6 – Дослідження придатності процесу з врахуванням зміни налаштувань параметрів виробничого обладнання

Параметр	Значення	Параметр	Значення
Номінальне значення	1,40	Найменше значення	1,33
ВМД	1,50	Найбільше значення	1,46
НМД	1,30	Кількість похибок	0
Кількість підходів	5	Індекс придатності C_p	1,49
Кількість вимірювань	50	Індекс відтворюваності C_{pk}	1,37
Ціль для C_p і C_{pk}	1,33	Розподіл	N
Загальна кількість вимірювань	250	Часова модель розподілу	C1

Графічне представлення результатів вимірювань зображено на рис.4.28 . Точкові діаграми розподілу вимірних значень при процесі стинання ворсистої поверхні шкіряних викроїв зображено на рис. 4.29.

Як видно з одержаних розрахунків (табл.4.6) та рис. 4.28, виробничий процес стинання під час зміни налаштувань обладнання є керований і придатний, з сталим розподілом (розкидом) вимірних значень, проте з періодичними стрибками (рис.4.29).

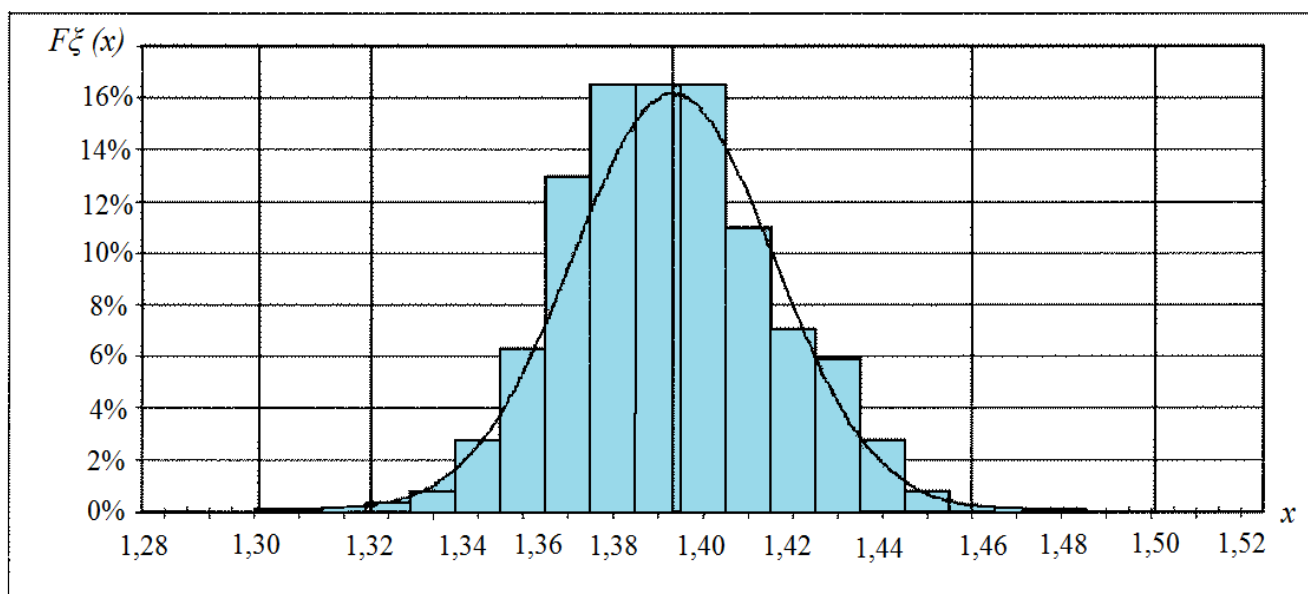


Рисунок 4.28 – Керований і придатний процес з періодичними стрибками але сталим розкидом вимірних значень і миттєвим нормальним розподілом

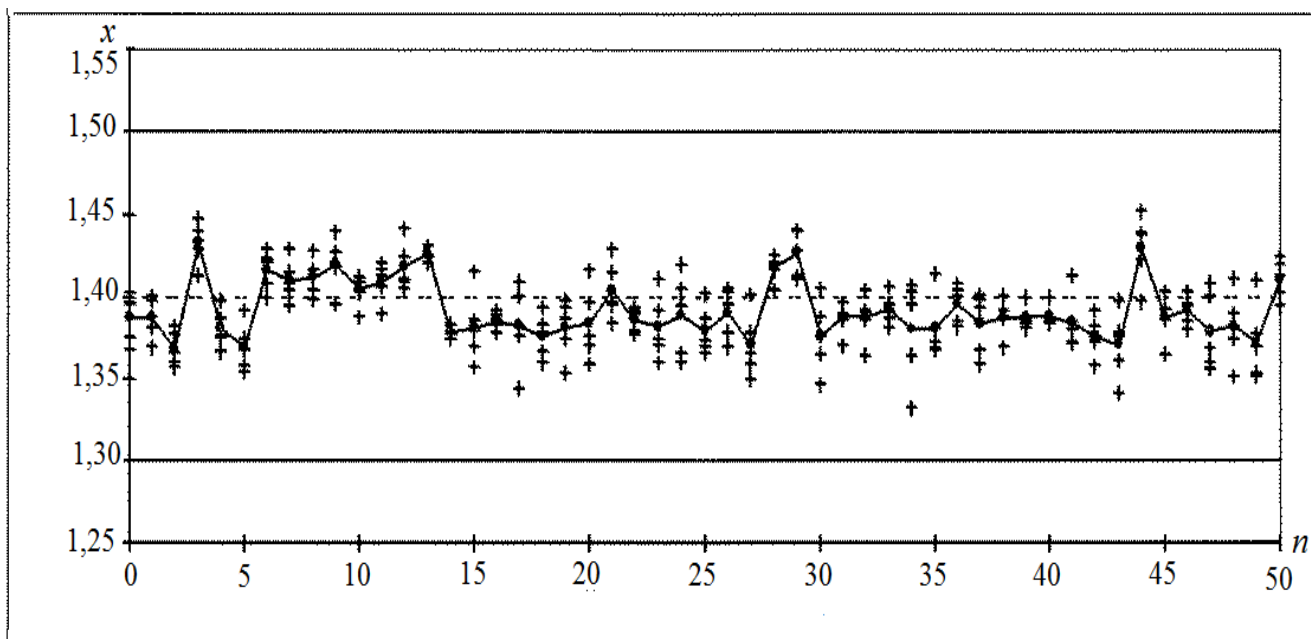


Рисунок 4.29 – Розподіл вимірних значень під час процесу стинання ворсистої поверхні шкіряних викроїв при частій зміні налаштувань параметрів виробничого обладнання

2) зміна партій матеріалу.

Обсяг і густина відбору вибірки повинна бути високою настільки, щоб вибірка проводилась в проміжки часу, протягом якого не відбувалося б жодних системних впливів на процес, і були враховані зміни партій матеріалу. Під час проведення дослідження було перевірено 50 взірців довжиною 45-60 см трьох різних партій матеріалу, товщина кожного взірця перевірялася в 5-ох точках (всього 250 вимірювань).

Результати дослідження придатності процесу враховуючи зміну партій матеріалу наведено в табл 4.7.

Графічне представлення результатів вимірювань зображене на рис.4.30. Точкові діаграми розподілу вимірних значень при процесі стинання ворсистої поверхні шкіряних викроїв зображено на рис. 4.31.

Таблиця 4.7 – Дослідження придатності процесу з врахуванням зміни партій матеріалу

Параметр	Значення	Параметр	Значення
Номінальне значення	1,40	Найменше значення	1,34
ВМД	1,50	Найбільше значення	1,47
НМД	1,30	Кількість похибок	0
Кількість підходів	5	Індекс придатності C_p	1,36
Кількість вимірювань	50	Індекс відтворюваності C_{pk}	1,35
Ціль для C_p і C_{pk}	1,33	Розподіл	N
Загальна кількість вимірювань	250	Часова модель розподілу	C1

Як видно з одержаних розрахунків (табл. 4.7) та рис. 4.30, виробничий процес стинання під час зміни партій матеріалу є керований і придатний, з сталим розподілом (розкидом) вимірюваних значень та з періодичними стрибками (рис. 4.31). Його можна віднести до миттєвого нормального розподілу.

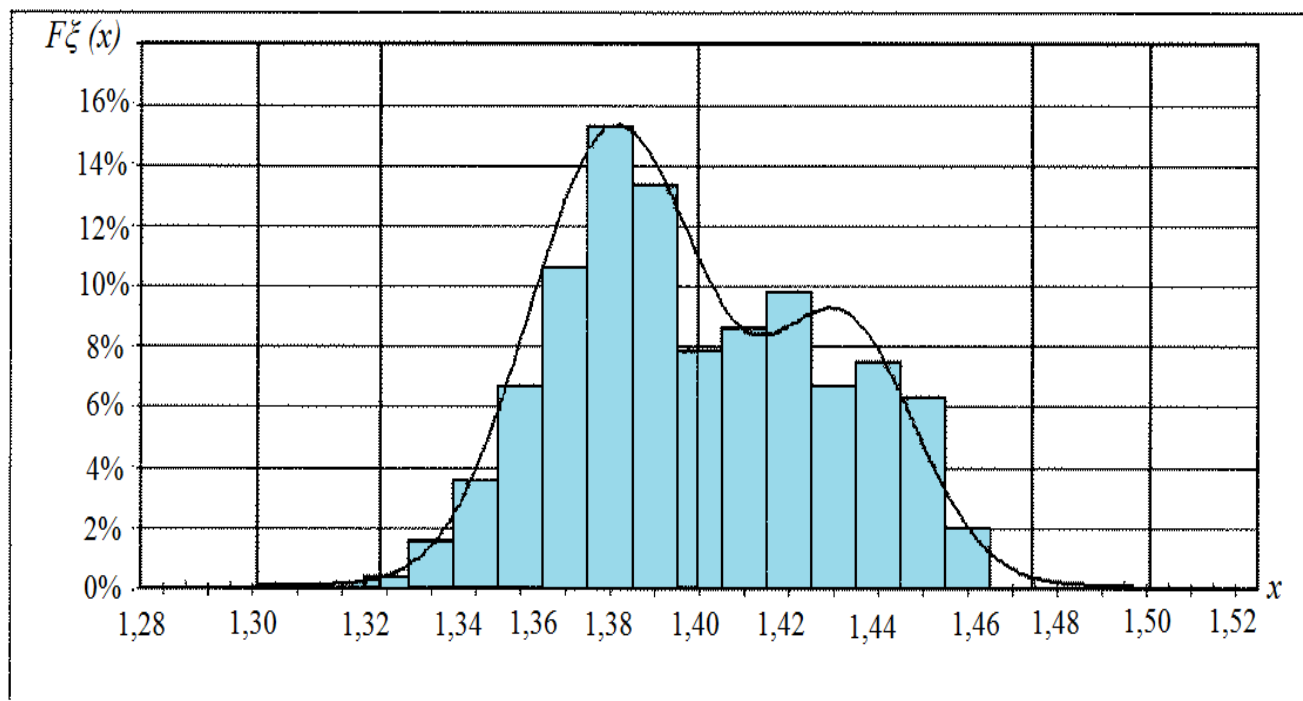


Рисунок 4.30 – Керований і придатний процес з періодичними стрибками, сталим розкидом вимірюваних значень і миттєвим нормальним розподілом

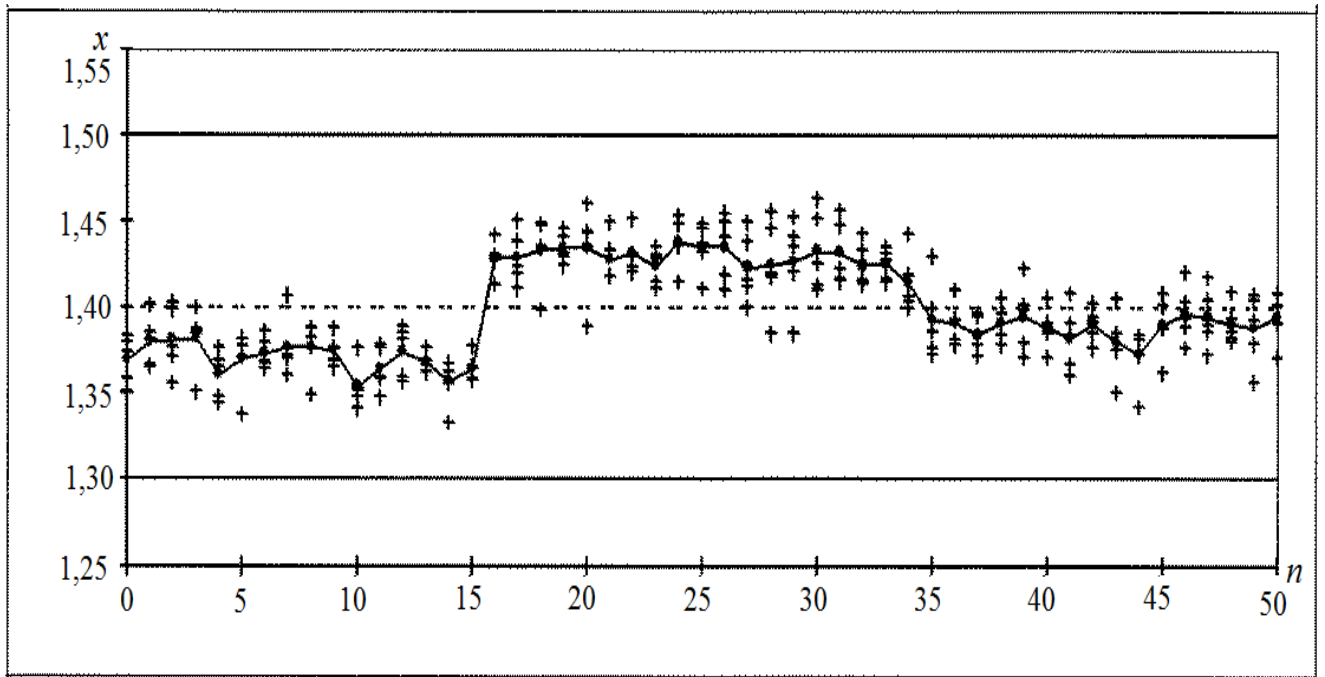


Рисунок 4.31 – Розподіл вимірних значень під час процесу стинання ворсистої поверхні шкіряних викроїв при частій зміні партій матеріалу

3) зміна виробничого обладнання.

Під час проведення дослідження придатності процесу обсяг і гусина відбору вибірки повинна бути високою настільки, щоб вибірка проводилась в проміжки часу, протягом якого не відбувалося б жодних системних впливів на процес, і були враховані зміни виробничого обладнання. Під час проведення дослідження було перевірено 50 взірців довжиною 45-60 см з двох стинальних машин Сапога С620, товщина кожного взірця перевірялася в 5-ох точках (всього 250 вимірювань).

Результати дослідження придатності процесу враховуючи зміну виробничого обладнання наведено в табл. 4.8.

Графічне представлення результатів вимірювань зображено на рис. 4.32. Точкові діаграми розподілу вимірних значень при процесі стинання ворсистої поверхні шкіряних викроїв зображено на рис. 4.33.

Таблиця 4.8 – Дослідження придатності процесу з врахуванням зміни виробничого обладнання

Параметр	Значення	Параметр	Значення
Номінальне значення	1,40	Найменше значення	1,33
ВМД	1,50	Найбільше значення	1,48
НМД	1,30	Кількість похибок	0
Кількість підходів	5	Індекс придатності C_p	1,29
Кількість вимірювань	50	Індекс відтворюваності C_{pk}	1,28
Ціль для C_p і C_{pk}	1,33	Розподіл	
Загальна кількість вимірювань	250	Часова модель розподілу	A2

Як видно з одержаних розрахунків (табл.4.8) та рис. 4.32, виробничий процес стинання під час зміни виробничого обладнання є не придатний, з постійним (сталим) станом але миттєвим змішаним розподілом (розкидом) виміряних значень (рис. 4.33).

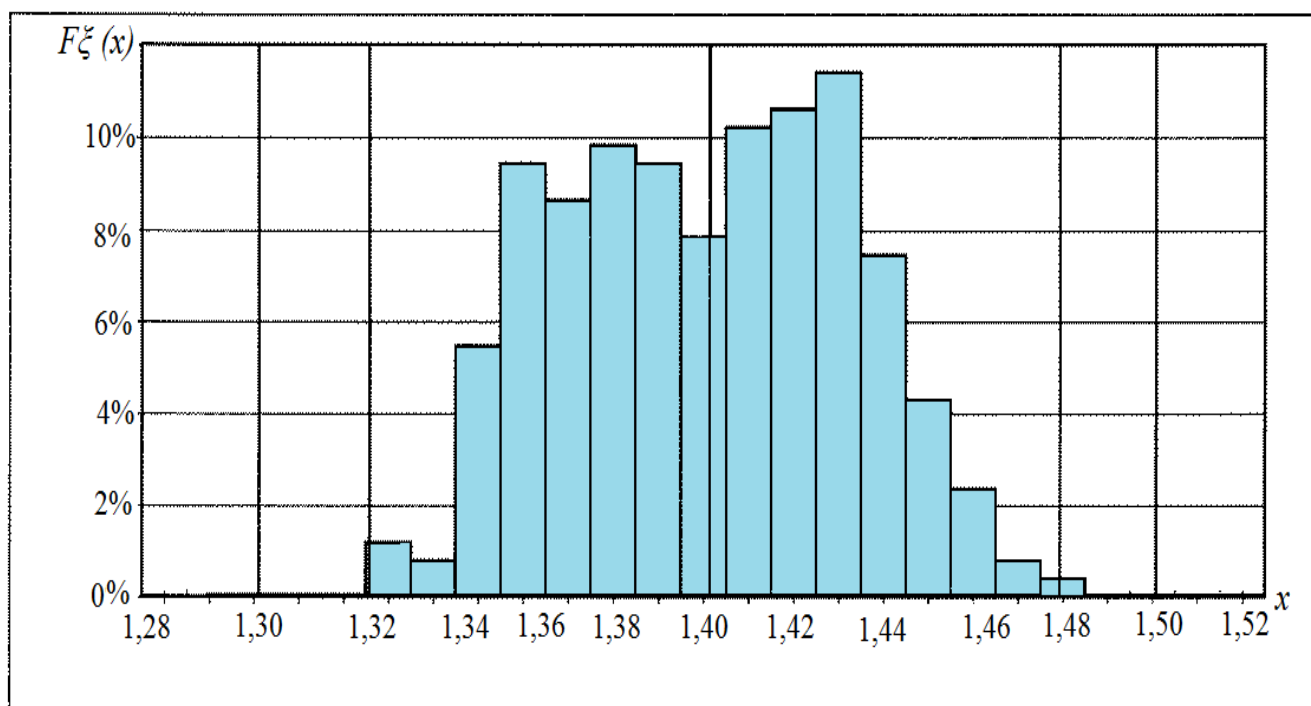


Рисунок 4.32 – Не придатний процес з сталим станом але миттєвим змішаним розподілом виміряних значень

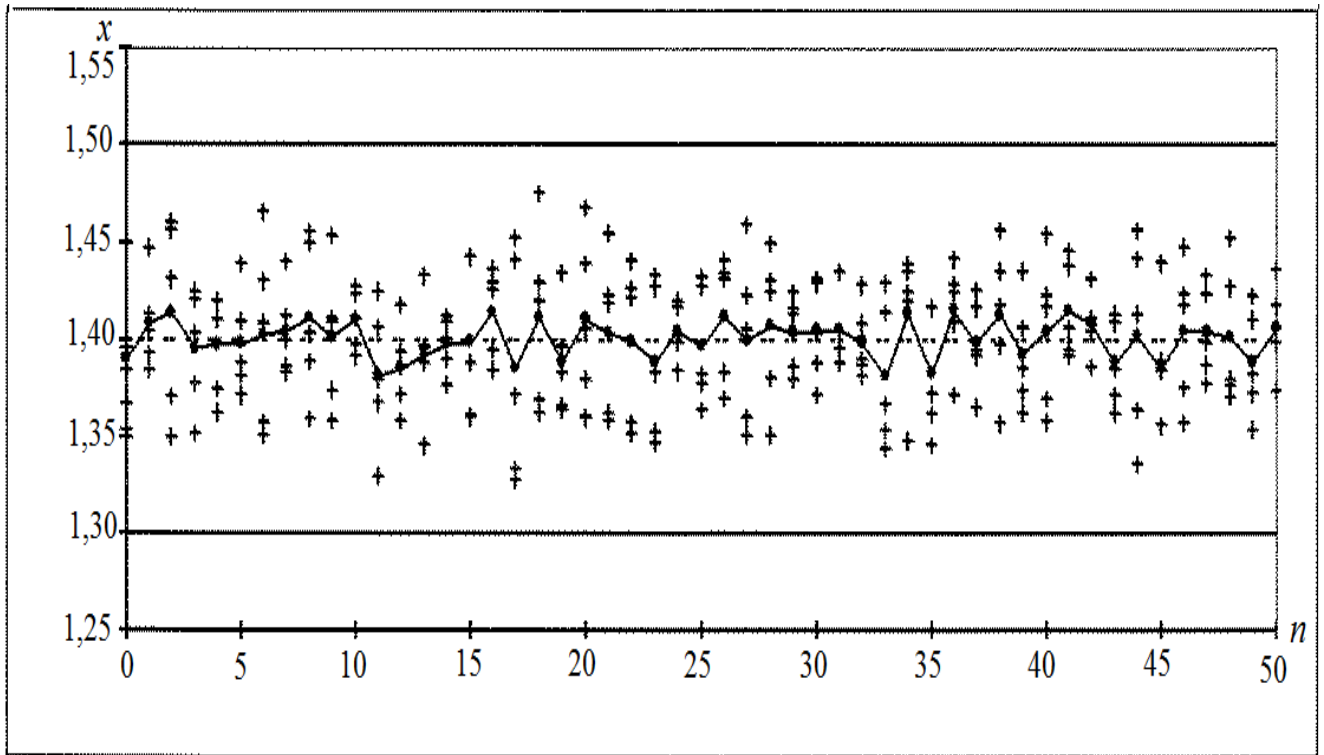


Рисунок 4.33 – Розподіл вимірних значень під час процесу стинання ворсистої поверхні шкіряних викроїв при зміні виробничого обладнання

4) заміна (гостріння) стинальних ножів.

Обсяг і густина відбору вибірки повинна бути високою настільки, щоб вибірка проводилась в проміжки часу, протягом якого не відбувалося б жодних системних впливів на процес, і було враховано заміну (гостріння) стинальних ножів. Під час проведення дослідження було перевірено 50 взірців довжиною 45-60 см, під час заміни двох стинальних ножів, товщина кожного взірця перевірялася в 5-ох точках (всього 250 вимірювань).

Результати дослідження придатності процесу враховуючи заміну стинальних ножів наведено в табл. 4.9.

Графічне представлення результатів вимірювань зображено на рис. 4.34. Точкові діаграми розподілу вимірних значень при процесі стинання ворсистої поверхні шкіряних викроїв зображено на рис. 4.35.

Таблиця 4.9 – Дослідження придатності процесу з врахуванням заміни двох стинальних ножів

Параметр	Значення	Параметр	Значення
Номінальне значення	1,40	Найменше значення	1,34
ВМД	1,50	Найбільше значення	1,47
НМД	1,30	Кількість похибок	0
Кількість підходів	5	Індекс придатності C_p	1,36
Кількість вимірювань	50	Індекс відтворюваності C_{pk}	1,35
Ціль для C_p і C_{pk}	1,33	Розподіл	N
Загальна кількість вимірювань	250	Часова модель розподілу	C3

Як видно з одержаних розрахунків (табл. 4.9) та рис. 4.34, виробничий процес стинання під час заміни двох стинальних ножів є керований і придатний, з сталим розподілом (розкидом) виміряних значень та з періодичними стрибками (рис.4.35). Його можна віднести до миттєвого нормального розподілу.

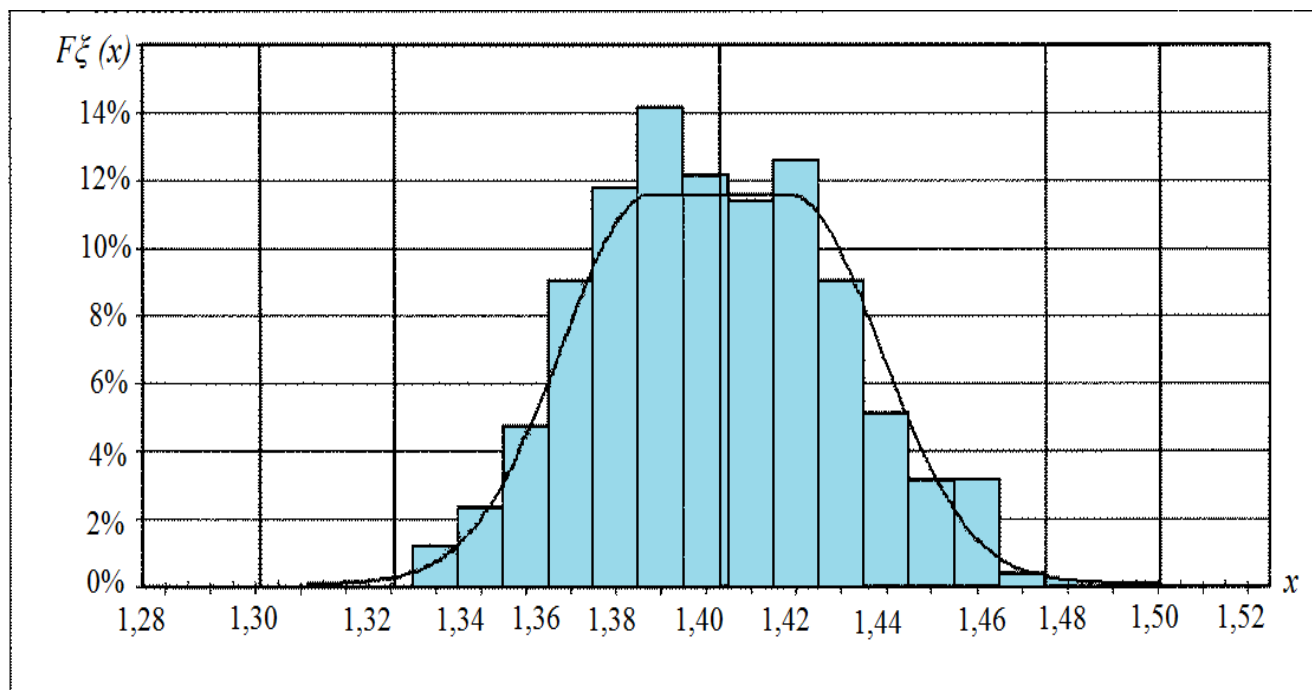


Рисунок 4.34 – Керований і придатний процес з періодичними стрибками, сталим розкидом виміряних значень і миттєвим нормальним розподілом

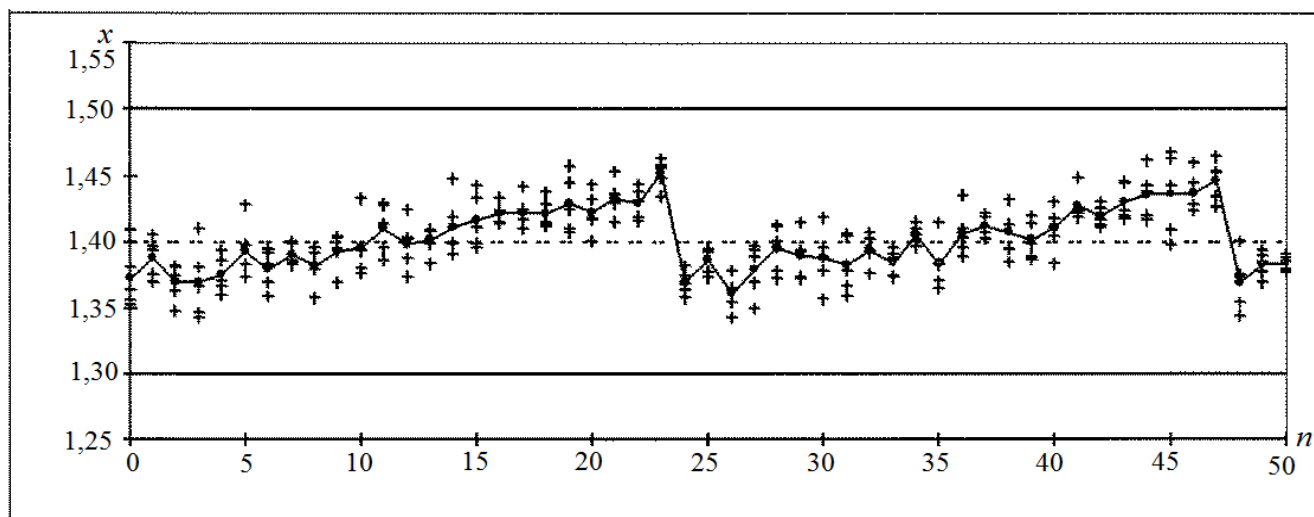


Рисунок 4.35 – Розподіл вимірених значень під час процесу стинання ворсистої поверхні шкіряних викроїв при заміні двох стинальних ножів

Даний метод дослідження придатності виробничого процесу є універсальним і може застосовуватися на будь-якому підприємстві, незалежно від його сфери діяльності, а також для оцінювання індексів придатності будь-якого процесу чи окремої операції, та системи в цілому.

Висновки до розділу 4

1. Виконано експерименти і дослідно-виробничі випробування з перевірки нормованих показників якості, в результаті яких отримано довідково-нормативні дані для створення нормативно-методичного забезпечення якості механічної обробки статистичними методами.
2. Розроблено алгоритм проведення експериментальних досліджень під-час механічної обробки шкіряних деталей.
3. Проведено численні дослідження з визначення моделей розподілу випадкових величин на основі отриманих даних та перевірено адекватність моделей статистичного розподілу показників якості.
4. Запропоновано методику розрахунку індексів придатності процесів за результатами спостережень нормованих показників якості.
5. Доведено ефективність запропонованої методики для різних моделей розподілу при вирішенні практичних задач на виробництві.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ДО ДИСЕРТАЦІЙНОЇ РОБОТИ

У дисертаційній роботі виконано актуальне науково-прикладне завдання з розроблення нормативно-методичного забезпечення статистичного контролю виробничих процесів та якості продукції, а саме:

1. Проаналізовано статистичні методи та обґрунтовано шляхи їх застосування на підприємствах специфічних галузей на основі аналізу класифікації систем та вимог гармонізованих стандартів ДСТУ ISO серії 9000, що призводить до вдосконалення статистичного контролю виробничих процесів та якості продукції.
2. Проведено аналіз стану виробничих процесів в управлінні якістю, встановлено, що основними напрямками проблеми точності виробництва є ідентифікація законів розподілу показників якості виробничих процесів та вибір статистичної моделі розподілу досліджуваних ознак.
3. Знайдено нове застосування для методологій теорії обмежень, ошадливого виробництва та шести сигм, відповідно до яких доведено доцільність їхнього комплексного застосування для покращення якості виготовлення продукції і контролю виробничих процесів в умовах сучасного розвитку виробництва.
4. Запропоновано математичну модель виробничого процесу з урахуванням інтегральної функції розподілу, за допомогою якої можна прогнозувати розвиток його поведінки в часі.
5. Обґрунтовано доцільність застосування та розроблено метод дослідження придатності процесу, відповідно до якого на основі побудови моделі розподілу значень показників якості процесу визначається відповідний алгоритм встановлення індексів придатності.
6. Проведено аналіз виробничого процесу пришиття подушки безпеки AIRBAG до автомобільного чохла, із застосуванням методології теорії обмежень, та побудовано “дерево поточної реальності” причинно-наслідкових ланцюгів небажаних дефектів розривання шва де пришивається подушка безпеки (SAB шов), на основі якого визначено ключові недоліки процесів, на які слід

звернути увагу та покращення яких на стадії виробництва забезпечить якість виробничих процесів і виготовленої продукції.

7. Виконано великий обсяг досліджень з визначення розподілів випадкових величин на основі отриманих даних та перевірено адекватність розподілів показників якості, в результаті яких отримано довідково-нормативні дані для створення нормативно-методичного забезпечення якості механічного оброблення статистичними методами.
8. Розроблено структуру інтелектуальної системи для визначення індексів придатності процесів, реалізація якої дає можливість контролювати стабільне функціонування виробничих процесів, а також визначати індекси придатності будь-якого процесу чи окремої операції, та системи в цілому.
9. Впроваджено в практику методика дослідження придатності процесів, яка є важливою для об'єктивного визначення їх якості, а також забезпечення якісної, бездефектної продукції.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Системи управління якістю. Основні положення та словник термінів (ISO 9000:2015, IDT) : ДСТУ ISO 9000:2007. – [Чин. від 01.07.2016] – К. : Держстандарт України, 2015. – 72 с. – (Національний стандарт України).
2. Кросби Ф. Качество и я. Жизнь бизнеса в Америке / Ф. Кросби. – М. : РИА “Стандарты и качество”, 2003. – 264 с.
3. Деминг Э. Выход из кризиса / Э. Деминг. – М. : Альба, 1994. – 497 с.
4. Джуран Дж. М. Качество и прибыль / Дж. М. Джуран. – М. : Изд-во стандартов, 1970. – 198 с.
5. Фейгенбаум А. Контроль качества продукции / А. Фейгенбаум. – М. : Экономика, 1986. – 214 с.
6. Харрингтон Дж. Управление качеством в американских корпорациях / Дж. Харрингтон. – М. : Экономика, 1990. – 272 с.
7. Мороз О. В. Організаційно-економічні фактори управління якістю на підприємствах : монографія / О. В. Мороз, Л. М. Ткачук. – Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2005. – 137 с.
8. Ткачук Л. М. Якість продукції: методологічні та прикладні аспекти / Л. М. Ткачук, Т. К. Калугаряну // Ефективна економіка [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.economy.nauka.com.ua/?op=1&z=2018>
9. Бичківський Р. В. Метрологія, стандартизація, управління якістю і сертифікація : підручник / Р. В. Бичківський, П. Г. Столярчук. – Львів : Вид-во Нац. ун-ту “Львівська політехніка”, 2004. – 560 с.
10. Момот О. І. Менеджмент якості та елементи системи якості : навч. посіб. / О. І. Момот. – К. : Центр учбової літератури, 2007. – 368 с.
11. Новіков В. М. Діагностичне самооцінювання як невід’ємний елемент сучасної системи управління / В. М. Новіков // Стандартизація, сертифікація, якість. – 2011. – № 2(69). – С. 38–40.
12. Бубела Т. З. Побудова національної системи оцінювання якості / Т. З. Бубела // Стандартизація, сертифікація, якість. – 2013. – № 1(80). – С. 49–53.

13. Микийчук М. Основні завдання та ознаки метрологічного забезпечення якості продукції / М. Микийчук, П. Столярчук, Т. Бубела // Вимірювальна техніка та метрологія. – 2013. – Вип. 74. – С. 92–98.
14. Столярчук П. Методи оцінювання систем управління якістю / П. Столярчук, Р. Байцар, А. Гунькало // Вимірювальна техніка та метрологія. – Львів : Вид-во Нац. ун-ту “Львівська політехніка”, 2007. – С. 244–247.
15. Тріщ Р. М. Оцінка технологічних систем по параметру якості / Р. М. Тріщ // Вісник Хмельницького нац. ун-ту. – Хмельницький. – 2007. – № 1. – С. 51–54.
16. Тріщ Г. М. Система залежностей для оцінювання процесів систем управління якістю підприємств / Г. М. Тріщ // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2013. – № 4(3). – С. 60–63.
17. Зинина С. С. Разработка методики формирования комплекса показателей качества процесса : дис. ... канд. техн. наук / С. С. Зинина. – М., 2005. – 147 с.
18. Гунькало А. В. Розроблення нормативно-методичних засад оцінювання систем управління якістю [Текст] : дис. ... канд. тех. наук / А. В. Гунькало. – Львів, 2007. – 175 с.
19. Системи управління якістю. Вимоги (ISO 9001:2015, IDT) : ДСТУ ISO 9001:2015. – [Чин. від 01.07.2016] – К. : Держстандарт України, 2015. – 60 с. – (Національний стандарт України).
20. Демчук Л. В. Забезпечення якості та конкурентоспроможності підприємств відповідно до стандартів ISO серії 9000 / Л. В. Демчук, Р. І. Байцар // Матер. 1-ої Міжнар. наук.-практ. конф. “Формування і оцінювання асортименту, властивостей та якості непродовольчих товарів”. – Львів : Львів. комерц. академія. – 2013. – Ч. III. – С. 33–35.
21. ДСТУ ISO 9004:2012 “Управління задля досягнення сталого успіху організації. Підхід на основі управління якістю”. – К. : Держстандарт України, 2012. – 76 с.
22. ISO 9001:2015 – the countdown begins. [Electronic resource]. – Mode of access: <http://www.irca.org/en-gb/resources/INform/archive/Issue41/technical>
23. Jakość. Co się zmieni w nowej wersji ISO 9001:2015 Magazyn TÜV Rheinland Polska 3/2015 ISSN 2299-6249. – S. 20–21.

24. Системи управління якістю. Вимоги (ISO 9001:2015, IDT) : ДСТУ ISO 9001:2015. – [Чин. від 31 грудня 2015 р. № 221 з 2016–07–01]. – К. : Держстандарт України, 2015. – 31 с. – (Національний стандарт України).
25. Демчук Л. В. Статистичне управління якістю продукції / Л. В. Демчук, Р. І. Байцар // Матер. Міжнар. наук.-практ. конф. з проблем якості, стандартизації та метрологічного забезпечення (18–20 вересня 2013 р.), м. Херсон, ХНУ. – Херсон : Грінь ДС, 2013. – С. 67–69.
26. ДСТУ ISO 19011:2012 “Настанови щодо здійснення аудитів систем управління”. – К. : Держстандарт України, 2012. – 68 с.
27. Система менеджмента качества на малом предприятии в соответствии с требованиями международного стандарта ISO 9001:2000 : метод. рекомендации / Е. А. Армягова, Е. А. Воронцова, В. С. Егоров, П. И. Пашков, А. Е. Сомков, А. Л. Шестаков. – М. : МЦС, 2006. – 80 с.
28. Система менеджмента качества на основе ISO/TS 16949-2002. / В. Е. Годлевский, Е. А. Вакулич, А. Я. Дмитриев, А. В. Литвинов, К. М. Файн, Е. А. Шабанова. – Самара : ГП “Перспектива”, 2002. – 288 с.
29. ДСТУ ISO/TS 16949:2009 “Системи управління якістю. Специфічні вимоги до виробників автотранспортних засобів та запасних частин і приладдя до них щодо застосування ISO 9001:2008”. – К. : Держстандарт України, 2009. – 42 с.
30. Чайка И. Менеджмент качества в автомобилестроении / И. Чайка // Стандарты и качество. – 2011. – № 3. – С. 68–71.
31. ISO 8402:1986. Quality – Vocabulary (Якість – Словник термінів). [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://www.iso.org/iso/home/store/catalogue_ics/catalogue_detail_ics.htm?ics1=3&ics2=120&ics3=10&csnumber=15570
32. VDA Quality Management in the Automobile Industry. Product and Process FMEA 3 Edition, 2009. – 124 p.
33. Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) and Failure Modes, Effects and Criticality Analysis (FMECA). An Overview of Basic Concepts. [Electronic resource]. – Mode of access: <http://www.weibull.com/basics/fmea.htm>

34. Анализ видов и последствий потенциальных отказов. FMEA. Ссылочное руководство / Пер. с англ. – Н. Новгород : СМЦ “Приоритет”, 2009. – 142 с.
35. Демчук Л. В. Забезпечення якості виробництва та обігу медичних виробів / Л. В. Демчук, Р. І. Байцар // Вісник Нац. ун-ту “Львівська політехніка” : Автоматика, вимірювання та керування. – 2012. – № 741. – С. 17–22.
36. Демчук Л. В. Нормативно-правове забезпечення якості виробництва та обігу медичних виробів / Л. В. Демчук, Р. І. Байцар // Матер. VI Міжнар. наук.-практ. конф. “Спецпроект: аналіз наукових досліджень” (30–31 травня 2011 р.). – Дніпропетровськ : вид. Біла К. О., 2011. – С. 15–18.
37. Демчук Л. В. Нормативно-технічне забезпечення якості, безпеки та ефективності медичних приладів / Л. В. Демчук, Р. І. Байцар // Сб. трудов V Междун. науч.-техн. конф. “Современные достижения в науке и образовании”. – г. Нетания, Израиль (27.09. – 4.10.2011 г.), 2011, Т. 1. – С. 129–131.
38. Демчук Л. В. Обеспечение качества производства медицинских изделий / Л. В. Демчук, Н. В. Мороз, Р. И. Байцар // Междунар. журнал: “Устойчивое развитие”. – Варна : ТУ. – 2012. – № 4. – С. 68–71.
39. ДСТУ ISO 13485:2005 “Вироби медичні. Системи управління якістю”. – К. : Держстандарт України, 2007. – 56 с.
40. Борисевич Є. Г. Управління якістю інфокомунікаційних послуг : [навч. посіб.] / Є. Г. Борисевич, В. Г. Буряк, І. В. Станкевич, Є. М. Стрельчук. – Одеса : ОНАЗ ім. О. С. Попова, 2010. – 272 с.
41. Васильков В. Г. Організація виробництва : навч. посіб. / В. Г. Васильков. – К. : КНЕУ, 2003. – 524 с.
42. Якушев А. И. Взаємозамінність стандартизація и технічні вимірювання : підручник / А. И. Якушев. – М. : Машинобудування, 1985. – 352 с.
43. Демчук Л. Статистичні методи в управлінні якістю виробничих процесів / Леся Демчук, Роман Байцар // Вимірювальна техніка та метрологія. – 2014. – № 75. – С. 131–135.
44. Семь инструментов качества в японской экономике. – М. : Изд-во стандартов, 1990. – 220 с.

45. Тарасова В. В. Метрологія, стандартизація і сертифікація : підручник / В. В. Тарасова, А. С. Малиновський, М. Ф. Рибак ; за заг. ред. В. В. Тарасової. – К. : Центр навчальної літератури, 2006. – 264 с.
46. ДСТУ 2925-94. “Якість продукції. Оцінка якості. Терміни та визначення”. – К., 1994. – 32 с.
47. ДСТУ 3514-97 “Статистичні методи контролю та регулювання. Терміни та визначення”. – К., 1997. – 38 с.
48. Мармоза А. Т. Теорія статистики : навч. посіб. / А. Т. Мармоза. – К. : Центр навчальної літератури, 2013. – 592 с.
49. Основи стандартизації, сертифікації та ідентифікації товарів / В. І. Павлов, О. В. Мишко, М. О. Клименко, П. М. Скрипчук // Метрологія, стандартизація і сертифікація в екології : підручник. – К. : Видавничий центр “Академія”, 2006. – 368 с.
50. Демчук Л. В. Часовий розподіл характеристик виробничого процесу / Л. В. Демчук, В. М. Юзевич, Р. І. Байцар // Тези доп. Міжнар. наук.-практ. конф. “Управління якістю в освіті та промисловості: досвід, проблеми та перспективи”, 22–24 травня 2015 р. – Львів : Вид. Львівської політехніки, 2015. – С. 192–193.
51. Исикава. Японские методы управления качеством. – М. : Экономика, 1988. – 215 с.
52. ДСТУ ISO/TR 10017:2005. “Настанови щодо застосування статистичних методів”.
53. Закон України “Про захист прав споживачів” від 01.10.1991 р. № 1024.
54. Закон України “Про метрологію та метрологічну діяльність” від 11.02.1998 р. № 113/98.
55. Закон України “Про стандартизацію” від 17.05.2001 № 2408-III.
56. Закон України “Про безпечність та якість харчових продуктів” від 23.12.1997 № 771/97.
57. Указ Президента України “Про заходи щодо вдосконалення діяльності у сфері технічного регулювання та споживчої політики” від 13.07.2005 № 1105/2005.

58. ДСТУ ISO 2859-1-2001 (ISO 2859-1:1999, IDT) “Статистичний контроль. Вибірковий контроль за альтернативною ознакою”. Частина 1. Плани вибіркового контролю, визначені приймальним рівнем якості для послідовного контролю партій.
59. ДСТУ ISO 2859-2-2001 (ISO 2859-2:1985, IDT) “Статистичний контроль. Вибірковий контроль за альтернативною ознакою”. Частина 2. Плани вибіркового контролю, визначені граничною якістю для перевірки ізольованих партій.
60. ДСТУ ISO 2859-3-2001 (ISO 2859-3:1991, IDT) “Статистичний контроль. Вибірковий контроль за альтернативною ознакою”. Частина 3. Вибіркові процедури з пропусками.
61. ДСТУ ISO 2859-4:2004 (ISO 2859-4:2002, IDT) “Статистичний контроль. Вибірковий контроль за альтернативною ознакою”. Частина 4. Методи оцінювання заявлених рівнів якості.
62. ДСТУ ISO 2859-5:2009 (ISO 2859-5:2005, IDT) “Статистичний контроль. Вибірковий контроль за альтернативною ознакою”. Частина 5. Система планів послідовного відбирання, індексованих межами прийняття якості (МПЯ) для послідовного вибіркового перевірення партій.
63. ДСТУ ISO 2859-10:2009 (ISO 2859-10:2006, IDT) “Статистичний контроль. Контроль за альтернативною ознакою вибіркової”. Частина 10. Вступ до серії стандартів ISO 2859 щодо відбирання проб за альтернативною ознакою (Замінює ДСТУ ISO 2859-0-2001).
64. ДСТУ ISO 3951-1:2009 (ISO 3951-1:2005, IDT) “Статистичний контроль. Процедури вибирання для перевірки за кількісною ознакою”. Частина 1. Плани одиничного вибирання для послідовної перевірки партій з одиничною характеристикою якості та визначеною межею прийняття якості. Загальні технічні вимоги (Замінює ДСТУ ISO 3951-2001).
65. ДСТУ ISO 3951-2:2009 (ISO 3951-2:2006, IDT) “Статистичний контроль. Процедури вибирання для перевірки за кількісною ознакою”. Частина 2. Плани одиничного вибирання для послідовної перевірки партій відносно незалежних

характеристик якості з визначеною межею прийняття якості. Загальні технічні вимоги (Замінює ДСТУ ISO 3951-2001).

66. ДСТУ ISO 3951-3:2009 (ISO 3951-3:2007, IDT) “Статистичний контроль. Процедури вибирання для перевірки за кількісною ознакою”. Частина 3. Плани подвійного вибирання для послідовної перевірки партій, визначених межею прийняття якості. Загальні технічні вимоги (Замінює ДСТУ ISO 3951-2001).
67. ДСТУ ISO 3951-5:2009 (ISO 3951-5:2006, IDT) “Статистичний контроль. Процедури відбирання для перевірення за кількісною ознакою”. Частина 5. Плани послідовного відбирання, індексовані межею прийняття якості (МПЯ) для перевірення за кількісною ознакою (за відомого значення стандартного відхилення).
68. ДСТУ ISO 7870-1:2010 (ISO 7870-1:2007, IDT) “Статистичний контроль. Карти контрольні”. Частина 1. Загальні настанови (Замінює ДСТУ ISO 7870:2004).
69. ДСТУ ISO/TR 7871:2004 (ISO/TR 7871:1997, IDT) “Статистичний контроль. Контрольні карти кумулятивних сум. Настанови щодо контролю якості та аналізу даних з використанням методик CUSUM”.
70. ДСТУ ISO 7873:2004 (ISO 7873:1993, IDT) “Статистичний контроль. Контрольні карти для арифметичного середнього з попереджувальними межами”.
71. ДСТУ ISO 7966-2001 (ISO 7966:1993, IDT) “Статистичний контроль. Карти приймального контролю”.
72. ДСТУ ISO 8258-2001 (ISO 8258:1991, IDT) “Статистичний контроль. Контрольні карти Шухарта”.
73. ДСТУ ISO 8422-2001 (ISO 8422:1991, IDT) “Статистичний контроль. Вибірковий контроль за альтернативною ознакою. Послідовні плани вибіркового контролю” (Замінений ДСТУ ISO 8422:2010).
74. ДСТУ ISO 8422:2010 (ISO 8422:2006, IDT) “Статистичний контроль. Плани послідовного вибіркового контролю для перевірення за якісною ознакою” (Замінює ДСТУ ISO 8422-2001).

75. ДСТУ ISO 8423:2001 (ISO 8423:1991, IDT) “Статистичний контроль. Вибірковий контроль за кількісною ознакою. Послідовні плани вибіркового контролю за кількісною ознакою відсоткової невідповідності (відоме стандартне відхилення)” (Замінений ДСТУ ISO 8423:2010).
76. ДСТУ ISO 8423:2010 (ISO 8423:2008, IDT) “Статистичний контроль. Плани послідовного вибіркового контролю для перевіряння відсотка невідповідностей за кількісною ознакою з визначеним стандартним відхилом” (Замінює ДСТУ ISO 8423:2001).
77. ДСТУ-ЗТ ISO/TR 8550-1:2009 (ISO/TR 8550-1:2007, IDT) “Статистичний контроль. Настанови щодо вибирання та використання систем вибіркового приймального контролю для перевіряння окремих предметів у партіях”. Частина 1. Контроль вибірковий приймальний (Замінює ДСТУ ISO/TR 8550:2004).
78. ДСТУ-ЗТ ISO/TR 8550-2:2009 (ISO/TR 8550-2:2007, IDT) “Статистичний контроль. Настанови щодо вибирання та використання систем вибіркового приймального контролю для перевіряння окремих предметів у партіях”. Частина 2. Контроль вибірковий за якісною ознакою (Замінює ДСТУ ISO/TR 8550:2004).
79. ДСТУ-ЗТ ISO/TR 8550-3:2009 (ISO/TR 8550-3:2007, IDT) “Статистичний контроль. Настанови щодо вибирання та використання систем вибіркового приймального контролю для перевіряння окремих предметів у партіях”. Частина 3. Контроль вибірковий за кількісною ознакою (Замінює ДСТУ ISO/TR 8550:2004).
80. ДСТУ ISO 10725:2004 (ISO 10725:2000, IDT) “Статистичний контроль. Плани і методики вибіркового приймального контролю для матеріалів насипом”.
81. ДСТУ ISO 11095:2004 (ISO 11095:1996, IDT) “Статистичний контроль. Лінійне калібрування з використанням довідкових матеріалів”.
82. ДСТУ ISO 11453:2004 (ISO 11453:1996, IDT) “Статистичний контроль. Критерії та довірчі інтервали для частки у генеральній сукупності”.

83. ДСТУ ISO 11462-1:2006 (ISO 11462-1:2001, IDT) “Статистичний контроль. Настанови щодо здійснення статистичного контролю за процесом. Частина 1. Елементи статистичного контролю за процесом”.
84. ДСТУ ISO 11648-1:2010 (ISO 11648-1:2003, IDT) “Статистичний контроль. Вибірковий контроль матеріалів насипом”. Частина 1. Загальні принципи.
85. ДСТУ ISO 11648-2:2010 (ISO 11648-2:2001, IDT) “Статистичний контроль. Вибірковий контроль матеріалів насипом”. Частина 2. Контроль сипких матеріалів.
86. ДСТУ ISO 11843-1:2005 (ISO 11843-1:1997, IDT) “Статистичний контроль. Здатність до виявлення”. Частина 1. Терміни та визначення.
87. ДСТУ ISO 11843-2:2004 (ISO 11843-2:2000, IDT) “Статистичний контроль. Здатність до виявлення”. Частина 2. Методологія у разі лінійного калібрування.
88. ДСТУ ISO 11843-3:2006 (ISO 11843-3:2003, IDT) “Статистичний контроль. Здатність до виявлення”. Частина 3. Методологія визначення критичного значення змінної відгуку, якщо відсутні дані калібрування.
89. ДСТУ ISO 11843-4:2006 (ISO 11843-4:2003, IDT) “Статистичний контроль. Здатність до виявлення”. Частина 4. Методологія порівняння найменшого виявленого значення із заданим значенням.
90. ДСТУ ISO 11843-5:2010 (ISO 11843-5:2008, IDT) “Статистичний контроль. Здатність до виявлення”. Частина 5. Методологія для випадків лінійного та нелінійного калібрування.
91. ДСТУ ISO 13448-1:2010 (ISO 13448-1:2005, IDT) “Статистичний контроль. Процедури вибіркового приймального контролю, основанийі на принципі розподілу пріоритетів (ПРП)”. Частина 1. Настанови щодо застосування ПРП.
92. ДСТУ ISO 13448-2:2009 (ISO 13448-2:2004, IDT) “Статистичний контроль. Процедури вибіркового приймального контролю, основанийі на принципі розподілу пріоритетів (ПРП)”. Частина 2. Узгоджені плани одиничного відбирання для вибіркового приймального контролю за якісною ознакою.

93. ДСТУ ISO 18414:2009 (ISO 18414:2006, IDT) “Статистичний контроль. Процедури вибіркового приймального контролю за якісною ознакою. Системи відбирання нуль-прийняття контролювання вихідної якості, які базуються на кредитному принципі”.
94. ДСТУ ISO 21247:2007 (ISO 21247:2005, IDT) “Статистичний контроль. Комбіновані системи відбирання зразків з повною відповідністю та процедури контролювання процесу під час приймання продукції”.
95. ДСТУ ISO 2854:2008 (ISO 2854:1976, IDT) “Статистичне опрацювання даних. Методи оцінювання та перевірки гіпотез про середні значення і дисперсії”.
96. ДСТУ ISO 3301:2006 (ISO 3301:1975, IDT) “Статистичне опрацювання даних. Порівняння двох середніх значень, отриманих у випадку парних спостережень”.
97. ДСТУ ISO 3494:2007 (ISO 3494:1976, IDT) “Статистичне опрацювання даних. Потужність статистичних критеріїв щодо середніх значень та дисперсій”.
98. ДСТУ ISO 16269-6:2008 (ISO 16269-6:2005, IDT) “Статистичне опрацювання даних”. Частина 6. Визначення статистичних допустимих інтервалів.
99. ДСТУ ISO 16269-7:2006 (ISO 16269-7:2001, IDT) “Статистичне опрацювання даних”. Частина 7. Медіана. Оцінювання і довірчі інтервали;
100. ДСТУ ISO 16269-8:2008 (ISO 16269-8:2004, IDT) “Статистичне опрацювання даних”. Частина 8. Визначення прогнозних інтервалів.
101. ДСТУ ISO 5479:2009 (ISO 5479:1997, IDT) Статистичне опрацювання даних. Критерії відхилення від нормального розподілу.
102. ДСТУ 3514-97 Статистичні методи контролю та регулювання якості. Терміни та визначення.
103. ДСТУ ISO 2602:2006 (ISO 2602:1980, IDT) Подавання результатів випробування статистичне. Оцінювання середнього значення. Довірчий інтервал.
104. ДСТУ ISO 3534-1:2008 (ISO 3534-1:2006, IDT) “Статистика. Словник термінів і позначки”. Частина 1. Загальні статистичні терміни та терміни теорії ймовірностей.

105. ДСТУ ISO 3534-2:2008 (ISO 3534-2:2006, IDT) “Статистика. Словник термінів і позначки”. Частина 2. Прикладна статистика.
106. ДСТУ ISO 3534-3:2005 (ISO 3534-3:1999, IDT) “Статистика. Словник термінів і позначення”. Частина 3. Планування експерименту.
107. ДСТУ ISO 10576-1:2006 (ISO 10576-1:2003, IDT) “Статистичні методи. Настанови щодо оцінювання відповідності заданим вимогам”. Частина 1. Загальні положення.
108. ДСТУ ISO/TR 13425:2004 (ISO/TR 13425:2003, IDT) “Застосування статистичних методів. Настанови щодо вибору статистичних методів у стандартизації”.
109. ДСТУ-ЗТ ISO/TR 22514-4:2010 (ISO/TR 22514-4:2007, IDT) “Статистичні методи керування процесом. Потужність і функціонування”. Частина 4. Оцінки потужності процесу й показники функціонування.
110. ДСТУ-П ISO/TR 22971:2010 (ISO/TR 22971:2005, IDT) “Точність (правильність і прецизійність) методів та результатів вимірювання. Практичні настанови щодо використання ISO 5725-2:1994 під час планування, проведення та статистичного аналізування результатів міжлабораторних випробувань для визначення збіжності та відтворюваності”.
111. ДСТУ-ЗТ ISO/TR 29901:2010 (ISO/TR 29901:2007, IDT) “Вибрані ілюстрації повних факторних експериментів із чотирма факторами”.
112. Мережко В. В. Сертифікація продукції та послуг : підручник / В. В. Мережко. – К. : Київ. нац. торг.-екон. ун-т, 2002. – 298 с.
113. Лопухин В. А. Обеспечение точности электронной аппаратуры: Конструкторско-технологические методы / В. А. Лопухин. – Ленинград : Машиностроение. Ленинградское отд-ние, 1980. – 269 с.
114. Малинский В. Д. Испытания аппаратуры и средств измерений на воздействие внешних факторов : справочник / В. Д. Малинский, В. Х. Бегларян, А. Г. Дубицкий. – М. : Машиностроение, 1993.

115. Кофанов Ю. Н. Теоретические основы конструирования, технологии и надежности радиоэлектронных средств / Юрий Николаевич Кофанов. – М. : Радио и связь, 1991. – 360 с.
116. Применение многофакторных экспериментов второго порядка в технологии машиностроения / [Ю. М. Зубарев, К. Н. Нечаев, В. И. Катенев, Н. Н. Ревин]. – СПб : ПИМаш, 2002. – 134 с.
117. Koucky M. Exact reliability formula and bounds for general k-out-of-n systems / M. Koucky // Reliability Engineering and System Safety. – 2003. – № 82. – С. 229–231.
118. Тарасик В. П. Математическое моделирование технических систем : [учеб. для вузов] / В. П. Тарасик. – Минск : Дизайн-ПРО, 2004. – 640 с.
119. Gainsburg J. The mathematical modeling of structural engineers / J. Gainsburg // Mathematical Thinking and Learning. – 2006. – № 8 (1). – С. 3–36.
120. Kai Velten. Mathematical Modeling and Simulation: Introduction for Scientists and Engineers / Kai Velten. – New-York : Wiley-VCH, 2009. – 348 p.
121. Плескунин В. И. Теоретические основы организации и анализа выборочных данных в эксперименте / В. И. Плескунин, Е. Д. Воронина ; под. ред. А. В. Башарина. – Л. : Изд-во ЛГУ, 1979. – 232 с.
122. Бородачев Н. А. Анализ качества и точности производства / Н. А. Бородачев. – М. : Машгиз, 1946. – 252 с.
123. Райнкше К. Модели надежности и чувствительности систем / К. Райнкше ; [пер. с нем.]. – М. : Мир, 1979. – 452 с.
124. Гусев В. П. Технология аппаратостроения / В. П. Гусев. – М. : Высшая школа, 1972. – 494 с.
125. Гаврилов А. Н. Основы технологии приборостроения / А. Н. Гаврилов. – М. : Высшая школа, 1976. – 328 с.
126. Иьуду К. А. Оптимизация устройств автоматики по критерию надежности / К. А. Иьуду. – М. : Л. Энергия, 1966. – 194 с.

127. Захарова Т. Н. К вопросу о статистической природе усталостной повреждаемости сталей и сплавов / Т. Н. Захарова // Проблемы прочности. – М. – № 4. – 1974.
128. Вентцель Е. С. Теория вероятностей / Е. С. Вентцель. – М. : Наука, 1969. – 576 с.
129. Горошко А. В. Стан проблеми забезпечення якісного проектування структурно-складних технічних виробів та технологічних процесів їх виготовлення [Текст] / А. В. Горошко, В. П. Ройзман // Вісник Хмельницького нац. ун-ту “Технічні науки”. – 2012. – № 5. – С. 59–68.
130. Демчук Л. Статистична модель аналізу придатності виробничого процесу / Л. Демчук, В. Юзевич, Р. Байцар // Стандартизація. Сертифікація. Якість. – 2014. – № 6. – С. 60–65.
131. Статистичні методи. Статистики функціонування та потужності процесу для вимірних характеристик якості : (ISO 21747:2006, IDT). ДСТУ ISO 21747:2009 . – К. : Держспоживстандарт України, 2006. – 32 с.
132. Демчук Л. В. Удосконалення системи контролю якості виробничого процесу // Технологічний аудит та резерви виробництва. – 2015. – № 5/3 (25). – С. 18–21.
133. SPC. Статистическое управление процессами [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://b-c-group.ru/?page_id=470
134. Максимова І. І. Структура функції управління виробничими процесами в промислових організаційно-економічних системах / І. І. Максимова, С. О. Попов // Вісник Криворізького техн. ун-ту. – 2011. – Вип. 28. – С. 260–265.
135. L. Demchuk, R. Baitsar Integrated use of TOC, Lean and Six Sigma in quality assurance processes : XI International Symposiym on Measurement and Quality Control. – Cracow ; Kielce, Poland, 2013 p. – ID104.
136. Weckenmann A. Paradigm Shifts in Quality Management / A. Weckenmann, G. Akkasoglu, T. Werner // Proceedings of the 2nd International Conference on Quality

- and Innovation in Engineering and Management – QIEM, Cluj-Napoca, Romania, November, 2012. – P. 11–16.
137. Элияху М. Голдратт. Процесс непрерывного совершенствования / Элияху М. Голдратт, Дж. Кокс Цель. – Минск : Попурри, 2009. – 496 с.
138. Демчук Л. В. Теорія обмежень в управлінні якістю виробничих процесів : Проблеми розвитку та впровадження систем управління, стандартизації, сертифікації, метрології в регіонах України : Матер. III Всеукр. НПК / Л. В. Демчук, Р. І. Байцар. – Донецьк : ДонНТУ, 2013 – С. 71–75.
139. Theory of Constraints (TOC) [Electronic resource]. – Mode of access: <http://www.pmc Corp.com/Services/ConsultingServices/TheoryofConstraintsTOC.asp>
х
140. [Мировой опыт ТОС – в Киеве](http://www.btg.com.ua/press/publications/551-tos-v-kieve) [Електронний ресурс]. – Режим доступа: <http://www.btg.com.ua/press/publications/551-tos-v-kieve>
141. Bailey David. Automotive News calls Toyota world No 1 car maker / Bailey David // Reuters.com. Reuters. – Retrieved 19 April 2008.
142. Box T. Six Sigma Quality: Experiential Learning / T. Box // SAM Advanced Management Journal, Winter. – 2006. – Vol. 71. – Is. 1. – P. 20–23.
143. Dedhia N. Six sigma basics / N. Dedhia // Total Quality Management & Business Excellence. – 2005. – July. – Vol. 16. – Is. 5. – P. 567–574.
144. Raisinghani M. Six Sigma: concepts, tools, and applications / M. Raisinghani, H. Ette, R. Pierce, G. Cannon, P. Daripaly // Industrial Management & Data Systems. – 2005. – Vol. 105. – Is. 4.– P. 491–505.
145. Lesya Demchuk. Combined usage of Theoru of Constraints, Lean and Six Sigma in quality assurance of manufacturing processes / Lesya Demchuk, Roman Baitsar // Key Engineering Materials. – 2015. – Vol. 637. – P. 21–26 (Trans Tech Publications, Switzerland).
146. Lesya Demchuk. Integrated use of TOC, lean and SIX SIGMA in quality assurance of manufacturing processes / Lesya Demchuk, Roman Baitsar // Abstracts 11th Intern. Symposium on Measurement and Quality Control (ISMQC 2013), Cracow-Kielce, Poland, 11–13.09.2013. – Cracow, 2013. – P. 78.

147. Demchuk Lesya. Achievement Particularities of Application of Theory of Constraints, Lean and Six Sigma for Ensuring the Quality of Products and Processes / Lesya Demchuk, Roman Baitsar // Intern. Journal Sustainable Development. – 2014. – Vol. 16. – P. 98–103.
148. Prabhakar K. DMAIC Methodology: The Enigma of Six Sigma / Prabhakar Kaushik, Dinesh Khanduja // SCMS Journal of Indian Management. – January – March. – 2008. – P. 9–18.
149. Kühlmeyer M. Statistische Auswertungsmethoden für Ingenieure. Springer – Verlag / M. Kühlmeyer. – Berlin, 2001. – S. 163.
150. 2001 Top 100 in Quality [Electronic resource]. – Mode of access: <http://www.qualitymag.com/articles/print/84574-top-100-in-quality>
151. Демчук Л. В. Удосконалення системи контролю якості виробничого процесу / Л. В. Демчук // Технологічний аудит та резерви виробництва. – 2015. – № 5/3 (25). – С. 18–21.
152. Что нового в НПЦ по Excel версии 5? [Електронний ресурс]. – Режим доступа: <https://www.spcforexcel.com/what-new-spc-for-excel-version-5>
153. Демчук Л. Математичне моделювання в забезпеченні контролю якості об'єктів та процесів / Л. Демчук, Р. Байцар // Тези доп. Міжнар. наук.-практ. конф. “Управління якістю в освіті та промисловості: досвід, проблеми та перспективи”, 22–24 травня 2013 р. – Львів : Вид. Львівської політехніки, 2013. – С. 54–55.
154. Гінгін М. П. Схемотехнічне забезпечення монокристалічних резонансних сенсорів / М. П. Гінгін, Л. В. Демчук, Р. І. Байцар // Матер. 11 Міжнар. наук.-техн. конф. “Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах” (ВОТТП-11-2012). – Хмельницький : ХНУ (5–8.06.2012 р.), 2012. – С. 33–34.
155. М. Гінгін, Л. Демчук, Л. Сопільник, Р. Байцар Термочутливі елементи вимірювальних перетворювачів // Тези доп. Міжнар. наук.-техн. конф. “Термографія і термометрія, метрологічне забезпечення вимірювань та

- випробувань” (Система-2013), 23–27 вересня 2013 р. м. Львів : Вид-во Львівської політехніки, 2013. – С. 142.
156. Точность механической обработки и пути ее повышения / Под ред. А. П. Соколовского. – М., 1951. – 485 с.
157. Гмурман В. Е. Теория вероятностей и математическая статистика : учеб. пособ. для вузов / В. Е. Гмурман. – 9-е изд. – М. : Высшая шк. – 2003. – 479 с.
158. Репин В. В. Процессный подход к управлению. Моделирование бизнес-процессов / В. В. Репин, В. Г. Елиферов. – М. : Манн, Иванов и Фербер, 2013. – 544 с.
159. Мармоза А. Т. Статистика : підручник / А. Т. Мармоза. – К. : Ельга, КНТ, 2009. – 896 с.
160. Піднебесна Г. А. Онтологічний підхід до конструювання інтерфейсу користувача в системах індуктивного моделювання / Г. А. Піднебесна // Індуктивне моделювання складних систем. – 2014. – Вип. 6. – С. 117–125.

	Методика	Сторінка 1 з 32
---	----------	--------------------

Додаток А
(ТзОВ “Бадер Україна”)

МЕТОДИКА

Дослідження придатності виробничих процесів

м.Городок – 2015

Видання:	a	b	c	d	e	Автор: Л.Мороз	Дата: 12.09.2015
Дата:	12/09						

ЗМІСТ

ВСТУП	4
1 Вибір статистичної моделі розподілу для дослідження придатності виробничих процесів.....	4
2 Принципи дослідження придатності виробничого процесу і його граничні значення.....	10
2.1. Визначення придатності для визначеної моделі розподілу.....	10
2.2 Визначення придатності процесу для невизначеної моделі розподілу.....	13
2.3 Визначення параметрів дослідження придатності процесу.....	15
3 Проведення дослідження придатності процесу.....	18
3.1 Використання випробувального обладнання.....	23
3.2 Відбір vzірців.....	23
3.3 Особливості документування обмеженого ДПП.....	24
3.4 Опрацювання даних.....	24
3.4.1 Вибір очікуваної моделі розподілу.....	24
3.4.2 Оцінювання грубих похибок виробничих процесів.....	25
3.4.3 Прийняття похибок з розрахунку статистики.....	26
3.4.4 Визначення індексів придатності процесів за часовою моделлю процесу типу А.....	26
3.4.4.1 Тест на відхилення від встановленої моделі розподілу.....	26
3.4.4.2 Оцінка за часовою моделлю процесу типу А1.....	27
3.4.4.3 Оцінка за часовою моделлю процесу типу А2.....	27
3.4.5 Дослідження на відхилення від миттєвого нормального закону розподілу...27	
3.4.6 Оцінка за процесною часовою моделлю С.....	28
3.4.6.1 Тест на відхилення від нормального закону розподілу.....	28

Видання:	a	b	c	d	e	Автор: Л.Мороз	Дата: 12.09.2015
Дата:	12/09						

	Методика	Сторінка 3 з 32
---	----------	--------------------

3.4.6.2	Оцінка за часовою моделлю процесу типу С1.....	28
3.4.6.3	Оцінка за часовою моделлю процесу типу С4.....	28
3.4.6.4	Оцінка за часовою моделлю процесу типу С3.....	29
3.4.7	Оцінка за часовою моделлю процесу типу В.....	29
3.4.8	Оцінка за часовою моделлю процесу типу D.....	29
3.5	Документування.....	29

Видання:	a	b	c	d	e	Автор: Л.Мороз	Дата: 12.09.2015
Дата:	12/09						

ВСТУП

Ця методика дослідження придатності виробничих процесів може використовуватись на різних підприємствах, незалежно від сфери їх діяльності. Завданням методики є визначення індексів придатності виробничих процесів. Метою досліджень було визначення систематичних впливів і ефективності заходів щодо поліпшення виробничого процесу виготовлення продукції на основі аналізу розподілів непевностей. Розшифровуючи розподіли непевностей вимірних параметрів для різних ситуацій, можна давати рекомендації щодо оптимізації виробничих процесів. Необхідно визначати контрольні межі допуску контрольованих характеристик і з'ясувати передумови для можливостей ефективного керування відповідними виробничими процесами.

1 Вибір статистичної моделі розподілу для дослідження придатності виробничих процесів

Метод удосконалення виробничого процесу передбачає побудову математичної моделі, в основі якої на вході – індекси придатності (виробничого процесу), розподіли непевностей та функціонал якості, які характеризують продукцію й виробничий процес її виготовлення. На виході – прогнозований закон розподілу непевності вимірної характеристики (НВХ), близький до реального, зокрема, він може бути відмінний від нормального (несиметричний).

Опрацювання вимірювальної інформації потребує застосування комп'ютерної техніки, тому математична модель повинна бути доповнена відповідним математичним забезпеченням, для якого розроблено інформаційну технологію.

Інформаційна технологія в цьому випадку полягає в синтезі та дослідженні математичної моделі, яка пов'язує статистичні розподіли з придатністю процесу.

Відповідну концептуальну модель подано на рисунку 1.1.

Видання:	a	b	c	d	e	Автор: Л.Мороз	Дата: 12.09.2015
Дата:	12/09						



Рисунок 1.1 – Концептуальна модель інформаційної технології для дослідження придатності процесу

Математичне сподівання Mx_0 і СКВ (середнє квадратичне відхилення) σ_0 визначають на основі відомих експериментальних даних:

$$Mx_0 = \bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i, \quad \sigma_0 = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}, \quad (1.1)$$

де n – кількість вимірювань, x_i – відхилення значення параметра від середнього значення вимірювального параметра ($i = 1, 2, \dots, n$).

Розподіл відхилень параметра x , тобто множина x_i пов'язаний з розподілом непевностей.

Індекс потенціальної придатності C_p параметра, який характеризує виробничий процес, визначається як відношення меж допуску $\pm 3\sigma$ до розмаху процесу 6σ і виражається так:

Видання:	a	b	c	d	e	Автор: Л.Мороз	Дата: 12.09.2015
Дата:	12/09						

$$C_p = \frac{ВМД - НМД}{6 \cdot \sigma}, \quad (1.2)$$

де ВМД – верхня межа допуску (+3σ); НМД – нижня межа допуску (-3σ).

Цей індекс C_p можна пов'язати з частиною стандартної кривої нормального розподілу (розмах процесу 6σ), яка знаходиться усередині меж заданих допусків $\pm 3\sigma$ (за умови, що процес центрований).

Нецентрованість процесу виробництва можна інтерпретувати і відповідно описати. Спочатку обчислити верхній та нижній показники придатності, щоб відобразити відхилення спостережуваного середнього процесу від НМД і ВМД. Приймаючи як розмах процесу межі $\pm 3\sigma$, обчислюємо такі показники відхилення:

$$C_{pl} = \frac{C_s - НМД}{3 \cdot \sigma}, \quad C_{pu} = \frac{ВМД - C_s}{3 \cdot \sigma}, \quad (1.3)$$

де C_s – середнє значення. Корируючий множник k відповідає величині нецентрованості (заданий центр специфікації мінус середнє значення процесу) відносно ширини специфікації. Поправка на нецентрованість k дає змогу скорегувати індекс C_p .

Отже маємо індекси, які характеризують підтверджену (демонстровану) якість (C_{pk}). C_p можна скорегувати, увівши поправку на нецентрованість за допомогою обчислення $C_{pk} = \min(C_{pl}, C_{pu})$. Якщо процес центрований, то C_{pk} дорівнює C_p . Відповідний індекс зміщується від свого номінального значення і C_{pk} стає меншим за C_p . Високий C_{pk} буде лише у випадку, коли мету досягнуто за мінімального відхилення від середнього.

У разі нецентрованості можна подати значення C_p , обчисливши:

$$C_{pk} = (1 - k_s) C_p. \quad (1.4)$$

Видання:	a	b	c	d	e	Автор: Л.Мороз	Дата: 12.09.2015
Дата:	12/09						

Якщо процес центрований, то k_s дорівнює нулю і C_{pk} дорівнює C_p . Зокрема, якщо $C_s = (ВМД - НМД) / 2$, то $k_s = 0$. Якщо процес зміщується відносно заданого центру, то k_s збільшується і C_{pk} стає меншим від C_p .

У роботі детально розглянуто такі моделі розподілу: нормальний розподіл, експоненціальний (показниковий), розподіл Парето, логнормальний, логістичний, бета-розподіл, розподіли Вейбулла та Лапласа.

Критерій для застосування алгоритму порівняння та оптимізації на основі інформації щодо $M(x)$ та СКВ σ може мати вигляд:

$$\xi_1 \frac{abs(Mx - Mx_0)}{Mx_0} + \xi_2 \frac{abs(\sigma - \sigma_0)}{\sigma_0} < \varepsilon, \quad (1.5)$$

де ζ_1, ζ_2 – безрозмірні коефіцієнти вагомості; ε – заданий малий параметр, який характеризує інтегральну похибку. Числові значення величин $\zeta_1, \zeta_2, \varepsilon$ вважаємо заданими, їх встановлюють на основі експертного методу.

Порівнюють значення ε на основі співвідношення (1.5) для поданих у роботі восьми розподілів. Мінімальне значення ε (із отриманих восьми) дало можливість встановити, що реальний розподіл відповідає теоретичному розподілу (наприклад розподілу Вейбулла).

Наступний етап – встановлення індексів придатності (відтворюваності) C_{pk} , C_p за співвідношеннями (1.3)–(1.5). C_{pk} – показник налаштування процесу (індекс налагодженості). Із урахуванням розподілу показника якості продукції можна на основі індексів C_p, C_{pk} проведено оцінювання рівнів невідповідностей.

Кількісну оцінку можливостей стабільного виробничого процесу проведено на основі індексів придатності за виконання таких необхідних умов: 1) процес перебуває в статистично керованому стані (статистично стабільний); 2) розподіл індивідуального показника якості відповідає нормальному закону; 3) технічні

Видання:	a	b	c	d	e	Автор: Л.Мороз	Дата: 12.09.2015
Дата:	12/09						

вимоги та інші встановлені нормативи точно представляють потреби споживача;
4) задано центр та межі поля допуску.

Для оптимізації процедури вибору розподілів у роботі використано функціонал якості з урахуванням коефіцієнта чутливості K і оберненого зв'язку:

$$J(P_{\xi k}, FB(P_{\xi k})) = \frac{1}{t_k - t_0} \int_{t_0}^{t_k} f(\bar{y}, \bar{u}, \bar{s}, K) dt \Rightarrow opt, \quad (1.6)$$

де \bar{y} – вектор заданих впливів ($y_j(t)$ – компоненти вектора, $j = 1, 2, \dots, n$); \bar{u} – вектор керувань; \bar{s} – вектор невизначених збурень; $[t_0, t_k]$ – інтервал часу, в якому розглядається процес (формування оптимальних значень параметрів $P_{\xi k}$, які характеризують розподіл $k = 1, 2, \dots, m$); m – кількість параметрів $P_{\xi k}$, які розглянуто у цій задачі оптимізації (для нормального розподілу $m = 2$; $P_{\xi 1} = a$; $P_{\xi 2} = \sigma$); $f(\bar{y}, \bar{u}, \bar{s}, K)$ – функція, що відображає показник якості; $FB(P_{\xi k})$ – функція, яка характеризує обернений зв'язок (*Feed-back*) між параметрами розподілу $P_{\xi k}$ і експериментальними даними з урахуванням коефіцієнта чутливості K і думок експертів.

Компоненти коефіцієнта чутливості (sensitiveness) (K_{sk}) для нормального розподілу у разі стаціонарного стану, коли $f(\bar{y}, \bar{u}, \bar{s}, K)$ не залежать від часу, тобто

$$J_*(P_{\xi k}, FB(P_{\xi k})) = f(\bar{y}, \bar{u}, \bar{s}, K) \Rightarrow opt, \quad (1.7)$$

і їх розраховують за співвідношеннями, аналогічними до:

$$K_{s1} = \frac{\partial g_{\xi}(x)}{\partial a} \cdot \frac{a}{g_{\xi}(x)}, \quad K_{s2} = \frac{\partial g_{\xi}(x)}{\partial \sigma} \cdot \frac{\sigma}{g_{\xi}(x)}, \quad (1.8)$$

де $\frac{\partial g_{\xi}(x)}{\partial a}$, $\frac{\partial g_{\xi}(x)}{\partial \sigma}$ – середні в часовому інтервалі $[t_0, t_k]$ значення часткових похідних апроксимувальної функції, зокрема, $g_{\xi}(x, \lambda_1, \lambda_2)$ за відповідними аргументами a , σ .

Видання:	a	b	c	d	e	Автор: Л.Мороз	Дата: 12.09.2015
Дата:	12/09						

Якщо у співвідношеннях (1.7) замість $g_{\xi}(x, \lambda_1, \lambda_2)$ вибираємо математичне сподівання чи дисперсію цього ж нормального розподілу, то отримаємо $K_{s1} = K_{s2} = 1$, що підтверджує достовірність процедури використання (1.7). Тому для знаходження нормального розподілу з оптимальними значеннями a , σ можна розглядати, наприклад, дві гілки розподілу: перша – що відповідає зростанню параметрів до максимального значення, відповідного C_S , друга – спадна від максимального значення функції розподілу (за C_S) у протилежну сторону. В першій області апроксимуємо функцію розподілу експоненціальною залежністю з математичним сподіванням λ_1 , в другій – апроксимуємо функцію розподілу експоненціальною залежністю з математичним сподіванням λ_2 . Тоді покажемо результуючу функцію розподілу кусковою експоненціальною залежністю типу

$$g_{\xi}(x, \lambda_1, \lambda_2) = g_{\xi_1}(x, \lambda_1) \cdot \theta_+ + g_{\xi_2}(x, \lambda_2) \cdot \theta_- \quad (1.9)$$

Тут θ_+ , θ_- – одиничні функції Хевісайда. Така функція незручна для користування в обчислювальних процедурах з використанням ЕОМ і, крім того, має сумнівний фізичний зміст, оскільки в точці $x = C_S$ має гострий пік.

Наступним кроком буде апроксимація $g_{\xi_1}(x, \lambda_1)$ у вигляді $g_{\xi_1}(x, a_1, \sigma_1)$ і відповідно апроксимація $g_{\xi_2}(x, \lambda_2)$ у вигляді $g_{\xi_2}(x, a_2, \sigma_2)$.

На основі (1.3), (1.7)–(1.9) сформульовано обернену задачу щодо оцінювання оптимальних значень компонент вектора керування \bar{u} , які відповідають оптимальним значенням C_S (центра розподілу ($C_S = a$ для нормального), чи k в (5)) і задовольняють умову (1.5). Компоненти вектора оптимальних керувань трактуємо як алгоритм послідовних наближень, за допомогою якого звужуємо межі допусків ($\pm 3\sigma$), прямуючи до діапазону 6σ (який є оптимальним, тобто відповідальним за рівень якості виробничого процесу). Відразу дві гілки розподілу недоцільно апроксимувати залежностями $g_{\xi_1}(x, a_1, \sigma_1)$ і

Видання:	a	b	c	d	e	Автор: Л.Мороз	Дата: 12.09.2015
Дата:	12/09						

$g_{\xi}(x, a_2, \sigma_2)$ оскільки кожна із них містить два невідомі параметри, на відміну від $g_{\xi}(x, \lambda_1)$ і $g_{\xi}(x, \lambda_2)$, які містять λ_1 і λ_2 .

Наступний крок алгоритму – використання співвідношень:

$$|a_1 - a_2| \Rightarrow \min, \quad |\sigma_1 - \sigma_2| \Rightarrow \min. \quad (1.10)$$

На основі (1.3), (1.5), (1.7)–(1.10) можна визначити оптимальні значення компонент вектора \bar{u} (вектора керувань), які відповідають оптимальним значенням CS^* (центру розподілу ($CS^* = a^*$ для нормального), чи k^* в (5)) і відповідно результуюче значення дисперсії σ^* .

Враховуючи початкові залежності $g_{\xi_1}(x, \lambda_1)$ і $g_{\xi_2}(x, \lambda_2)$, які містять λ_1 і λ_2 , можна проводити аналогічну процедуру і для іншого розподілу, наприклад, розподілу Вейбулла (тобто визначати параметри λ_0 і α).

Встановлення оптимального розподілу непевностей вимірних величин відповідного виробничого процесу ґрунтується на аналітичних співвідношеннях (1.3), (1.5), (1.7)–(1.10).

Метод застосування індексів придатності передбачає: 1) стабілізувати процес; 2) розрахувати індекси придатності; 3) оцінити стабільність процесу і зробити висновки щодо його придатності; 4) на основі оптимізаційної задачі (1.3), (1.5), (1.7)–(1.10) визначити компоненти вектора \bar{u} і параметри розподілу, який найточніше відповідає експериментальним даним. Результатом розв'язку задачі (1.3), (1.5), (1.7)–(1.10) також буде оптимальне значення функціоналу якості щодо встановлення оптимального розподілу.

2 Принципи дослідження придатності виробничого процесу та його граничні значення

Індекси придатності C_p і C_{pk} визначають, наскільки добре результати процесу відповідають межах допуску певної характеристики. Значення C_p враховує

Видання:	a	b	c	d	e	Автор: Л.Мороз	Дата: 12.09.2015
Дата:	12/09						

дисперсію (розмах) процесу. Значення C_{pk} натомість враховує розташування процесу. Тому з одного боку, можемо сказати яке значення є можливим при ідеальному розташуванні процесу і, з іншого боку, порівняння цих двох значень робить дає можливість визначити наскільки розташування процесу відхиляється від заданих параметрів. Чим вищі значення отримуємо, тим кращий процес.

2.1 Визначення придатності для визначеної моделі розподілу

Індекс потенціальної придатності C_p параметра, який характеризує виробничий процес, визначається як відношення меж допуску $\pm 3\sigma$ до розмаху процесу 6σ і виражається так:

$$C_p = \frac{ВМД - НМД}{\hat{x}_{99,865\%} - \hat{x}_{0,135\%}}, \quad (2.1)$$

де $\hat{x}_{99,865\%}, \hat{x}_{0,135\%}$ – очікувані значення меж діапазону дисперсії (розмах процесу 6σ), де $99,865\%, 0,135\%$ – квантилі, нижче яких лежить задане відсоткове значення P вимірних значень.

Тобто, якщо дисперсія отриманих значень належить до нормального закону розподілу, то згідно методу “Шість сигм”:

$$\left. \begin{array}{l} \hat{x}_{99,865\%} \\ \hat{x}_{0,135\%} \end{array} \right\} = \hat{\mu} \pm 3\hat{\sigma}, \quad (2.2)$$

згідно формул (2.1) і (2.2):

$$\text{де } \hat{\mu} - \text{очікуване середнє значення процесу.} \quad \hat{x}_{99,865\%} - \hat{x}_{0,135\%} = \hat{\mu} + 3\hat{\sigma} - (\hat{\mu} - 3\hat{\sigma}) = 6\hat{\sigma}, \quad (2.3)$$

Видання:	a	b	c	d	e	Автор: Л.Мороз	Дата: 12.09.2015
Дата:	12/09						

Іншими словами, цей індекс може інтерпретуватися як та частина стандартної кривої нормального розподілу (розмах процесу 6σ), яка знаходиться усередині меж заданих допусків $\pm 3\sigma$ (за умови, що процес центрований).

$$C_p = \frac{ВМД - НМД}{\hat{x}_{99,865\%} - \hat{x}_{0,135\%}} = \frac{ВМД - НМД}{6\sigma}, \quad (2.4)$$

$$C_{pk} = \min \left\{ C_{pl} = \frac{ВМД - \hat{\mu}}{\hat{x}_{99,865\%} - \hat{\mu}}; C_{pu} = \frac{\hat{\mu} - НМД}{\hat{\mu} - \hat{x}_{0,135\%}} \right\}, \quad (2.5)$$

У таблиці 2.1 наведено приналежність результатів розрахунку індексів придатності до якості виробничого процесу.

Таблиця 2.1 – Характеристика якості процесу в залежності від індексів C_p , C_{pk}

Індекси придатності	Характеристика якості процесу
$C_{pk} = C_p$	Процес знаходиться в центрі допуску
$C_p < 1$	Процес має низьку точність
$1 \leq C_{pk} < 1,33$	Процес має достатню точність, і процедура його налаштування ведеться правильно
$C_p \geq 1,33$	Процес задовільний
$C_p \geq 1,66$	Процес ідеально налаштований
$C_{pk} \neq C_p$	Невідповідний процес

При використанні індексів придатності для оцінювання якості продукції досить часто виникає проблема, яка полягає в встановлених односторонніх межах допусків. Наприклад, значення характеристики якості задається характеристикою із верхньою межею допуску та із звичайною нижньою “0” межею допуску:

Видання:	a	b	c	d	e	Автор: Л.Мороз	Дата: 12.09.2015
Дата:	12/09						

	Методика	Сторінка 13 з 32
---	----------	---------------------

$$C_P = \frac{ВМД}{\hat{x}_{99,865\%} - \hat{x}_{0,135\%}}, \quad (2.6)$$

$$C_{Pk} = \frac{ВМД - \hat{\mu}}{\hat{x}_{99,865\%} - \hat{\mu}}, \quad (2.7)$$

та, відповідно, характеристика якості із нижньою межею допуску:

$$C_P = \frac{НМД}{\hat{x}_{99,865\%} - \hat{x}_{0,135\%}}, \quad (2.8)$$

$$C_{Pk} = \frac{\hat{\mu} - НМД}{\hat{\mu} - \hat{x}_{0,135\%}}. \quad (2.9)$$

2.2 Визначення придатності процесу для невизначеної моделі розподілу

Якщо до виробничої характеристики якості не може бути підібрана жодна модель розподілу або отримані результати значень суперечать передбачуваний моделі розподілу, тоді необхідно провести дослідження індексів придатності за методом “ширини допуску”, в наступній модифікованій формі із врахуванням об’єму вибірки:

показники придатності для характеристик з двосторонньою межею допуску (ВМД і НМД):

$$C_P = \frac{ВМД - НМД}{\hat{x}_{ВМД} - \hat{x}_{НМД}}, \quad (2.10)$$

$$C_{Pk} = \min \left\{ C_{Pl} = \frac{G_{ВМД} - \hat{x}_{50\%}}{\hat{x}_{ВМД} - \hat{x}_{50\%}}; C_{Pu} = \frac{\hat{x}_{50\%} - G_{НМД}}{\hat{x}_{50\%} - \hat{x}_{НМД}} \right\}. \quad (2.11)$$

Показники придатності для характеристик із верхньою межею допуску та із нижньою “0” межею допуску:

Видання:	a	b	c	d	e	Автор: Л.Мороз	Дата: 12.09.2015
Дата:	12/09						

BADER УКРАЇНА	Методика	Сторінка 14 з 32
-------------------------	----------	---------------------

$$C_P = \frac{G_{ВМД}}{\hat{x}_{ВМД} - \hat{x}_{НМД}}, \quad (2.12)$$

$$C_{Pk} = \frac{G_{ВМД} - \hat{x}_{50\%}}{\hat{x}_{ВМД} - \hat{x}_{50\%}}. \quad (2.13)$$

Показники придатності для характеристик із нижньою межею допуску та із та із верхньою межею допуску “0”:

$$C_P = \frac{G_{НМД}}{\hat{x}_{ВМД} - \hat{x}_{НМД}}, \quad (2.14)$$

$$C_{Pk} = \frac{\hat{x}_{50\%} - G_{НМД}}{\hat{x}_{50\%} - \hat{x}_{НМД}}, \quad (2.15)$$

де $\hat{x}_{ВМД}, \hat{x}_{НМД}$ – значення ВМД і НМД,

$\hat{x}_{50\%}$ – значення 50% квантиля.

Якщо значення 50% квантиля, то:

$$\hat{x}_{50\%} = \tilde{x}, \quad (2.16)$$

де \tilde{x} – значення медіани (розташоване в середині впорядкованої послідовності вимірювань).

Звідси межі допуску обчислюємо за:

$$\left. \begin{array}{l} \hat{x}_{ВМД} \\ \hat{x}_{НМД} \end{array} \right\} = x_c \pm k \cdot \frac{R}{2}, \quad (2.17)$$

$$\text{де } x_c = \frac{x_{\max} + x_{\min}}{2},$$

$R = X_{\max} - X_{\min}$ – розмах процесу,

X_{\max}, X_{\min} – максимальне і мінімальне значення із загальної кількості зразків.

Коригуючий множник k знаходимо з:

Видання:	a	b	c	d	e	Автор: Л.Мороз	Дата: 12.09.2015
Дата:	12/09						

	Методика	Сторінка 15 з 32
---	----------	---------------------

$$k = \frac{6}{d_n}, \quad (2.18)$$

де d_n – очікуване значення розподілу, яке наведено в таблиці 3.2 для деяких загальних кількостей випадкових зразків n_g , і обчислюється за :

$$d_n = 1,748 \cdot (\ln(n_g))^{0,693} \quad (2.19)$$

Таблиця 2.2 – Очікуване значення розподілу для деяких загальних кількостей випадкових зразків n_g

n_g	d_n
30	4,09
35	4,21
40	4,32
45	4,42
50	4,50
60	4,65
70	4,77
80	4,87
100	5,04
125	5,21
150	5,34
200	5,55
250	5,71

Індекси відтворюваності і придатності залежать лише від характеристик точності і налаштувань виробничого обладнання, за допомогою яких визначається належність до рівня придатності технологічного процесу.

Під час контролю системи якості потрібно розрізнити придатність процесу та обладнання. Обладнання є окремим елементом виробничого процесу. У той же час процес включає в себе сукупність персоналу, устаткування, методів виконання технологічних операцій, а також навколишнього середовища.

Видання:	a	b	c	d	e	Автор: Л.Мороз	Дата: 12.09.2015
Дата:	12/09						

2.3 Визначення параметрів дослідження придатності процесу

Для визначення показників придатності виробничого процесу, необхідно забезпечити виконання наступних вимог, які стосуються граничних значень $C_{p;limit}$ і $C_{pk;limit}$.

Для характеристик з двосторонньою межею допуску:

$$\hat{C}_p \geq C_{p;limit} \quad \text{і} \quad \hat{C}_{pk} \geq C_{pk;limit} , \quad (2.20)$$

для характеристик із односторонньою межею допуску:

$$\hat{C}_{pk} \geq C_{pk;limit} , \quad (2.21)$$

та з загальною кількістю досліджуваних зразків $n_g \geq 125$.

Якщо ці умови виконуються, застосовуються граничні значення придатності:

$$C_{pk;limit} = 1,33 ; C_{p;limit} = 1,33.$$

У випадку проведення дослідження з кількістю досліджуваних зразків меншою 125, значення індексу придатності буде іншим.

Встановлене граничне значення для числа випадкових зразків менше 125, пов'язане із дотриманням вимог для розкиду показників якості з ймовірністю 95 % (нижні межі довірчого інтервалу).

При припущенні що розкид значень належить до нормального розподілу, з стандартного відхилення верхньої межі довірчого інтервалу впливає, що:

$$\sigma_0 = \hat{\sigma} \cdot \sqrt{\frac{124}{X^2_{5\%;124}}} , \quad (2.22)$$

і враховуючи що дисперсія отриманих значень належить до нормального закону розподілу (2.3) отримаємо:

Видання:	a	b	c	d	e	Автор: Л.Мороз	Дата: 12.09.2015
Дата:	12/09						

$$\left. \begin{array}{l} \hat{x}_{99,865\%} \\ \hat{x}_{0,135\%} \end{array} \right\} = \hat{\mu} \pm u_{99,865\%} \cdot \left(1 + \frac{1}{2 \cdot 125}\right) \cdot \sqrt{\frac{124}{X^2_{5\%;124}}} \cdot \hat{\sigma}, \quad (2.23)$$

де

$u_{99,865\%} = 3,0$ – квантиль стандартизованого нормального розподілу

$X^2_{5\%;124} = 99,3$ – квантиль розподілу X^2 із ступенем свободи $f = 124$.

Трансформували та замістивши отримані результати в (2.1) і (2.5) одержуємо граничні значення індексів придатності:

$$\hat{C}_p \geq C_{p;\text{limit}} \cdot \sqrt{\frac{X^2_{5\%;124}}{124}} = 0,895 \cdot C_{p;\text{limit}}, \quad (2.24)$$

$$\hat{C}_{pk} \geq C_{pk;\text{limit}} \cdot \frac{1}{1 + \frac{1}{250}} \cdot \sqrt{\frac{X^2_{5\%;124}}{124}} = 0,891 \cdot C_{pk;\text{limit}}. \quad (2.25)$$

Таким чином, для кількості досліджуваних зразків $n_g < 125$ результати визначення граничних значень індексів придатності:

$$\hat{C}_p \geq C_{p;\text{limit}} \cdot 0,895 \cdot \sqrt{\frac{f}{X^2_{5\%;f}}}, \quad (2.26)$$

$$\hat{C}_{pk} \geq C_{pk;\text{limit}} \cdot 0,891 \cdot \left(1 + \frac{1}{2 \cdot n_g}\right) \cdot \sqrt{\frac{f}{X^2_{5\%;f}}}, \quad (2.27)$$

зі ступенем свободи :

$$f = n_g - 1. \quad (2.28)$$

Наведемо приклад:

Видання:	a	b	c	d	e	Автор: Л.Мороз	Дата: 12.09.2015
Дата:	12/09						

Для визначеної придатності процесу з нормованими значеннями $C_{p,limit} 1,33$; $C_{pk,limit} = 1,33$; та загальної кількості випадкових зразків $n_g = 50$, відповідно до формул (2.26) – (2.28) знайдемо граничні значення придатності для характеристик із двосторонньою межею допуску:

$$\hat{C}_p \geq 1,33 \cdot 0,895 \cdot \sqrt{\frac{50-1}{33,9}} = 1,43 \quad ,$$

$$\hat{C}_{pk} \geq 1,33 \cdot 0,891 \cdot \left(1 + \frac{1}{2 \cdot 50}\right) \cdot \sqrt{\frac{50-1}{33,9}} = 1,44 \quad .$$

Оскільки, як вже зазначалося, для характеристик з двосторонньою межею допуску, C_p значення не може бути нижчим ніж C_{pk} , в даному випадку, граничне значення C_p прирівнюється до граничного значення C_{pk} .

У таблиці 3.5 встановлено приналежність кількості випадкових зразків n_g для індексів придатності C_{pk} , C_p .

Таблиця 2.3 – Приналежність випадкових зразків $30 \leq n_g < 125$

для індексів придатності C_p і C_{pk}

n_g	\hat{C}_p і $\hat{C}_{pk} \geq$
30	1,54
35	1,51
40	1,48
45	1,46
50	1,44
60	1,41
70	1,39
80	1,37
100	1,35
125	1,33

Видання:	a	b	c	d	e	Автор: Л.Мороз	Дата: 12.09.2015
Дата:	12/09						

3 Проведення дослідження придатності процесу

Дослідження придатності процесу (ДПП) здійснюється у відповідності із послідовністю, яка показана на рис. 3.1 – 3.5.



Рисунок 3.1 – Алгоритм дослідження придатності процесу

Видання:	a	b	c	d	e	Автор: Л.Мороз	Дата: 12.09.2015
Дата:	12/09						

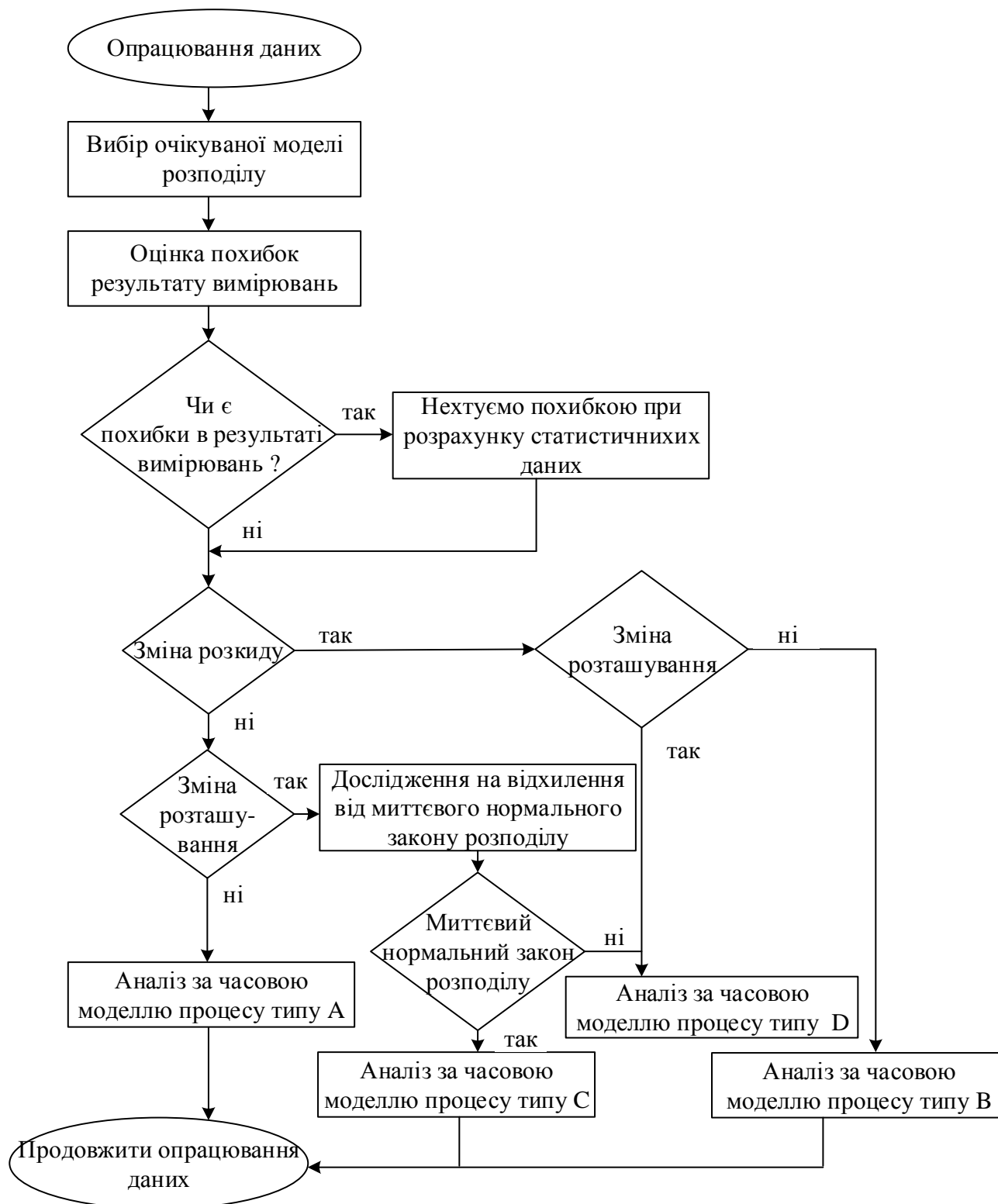


Рисунок 3.2 – Опрацювання даних

Видання:	a	b	c	d	e	Автор:	Дата:
Дата:	12/09					Л.Мороз	12.09.2015

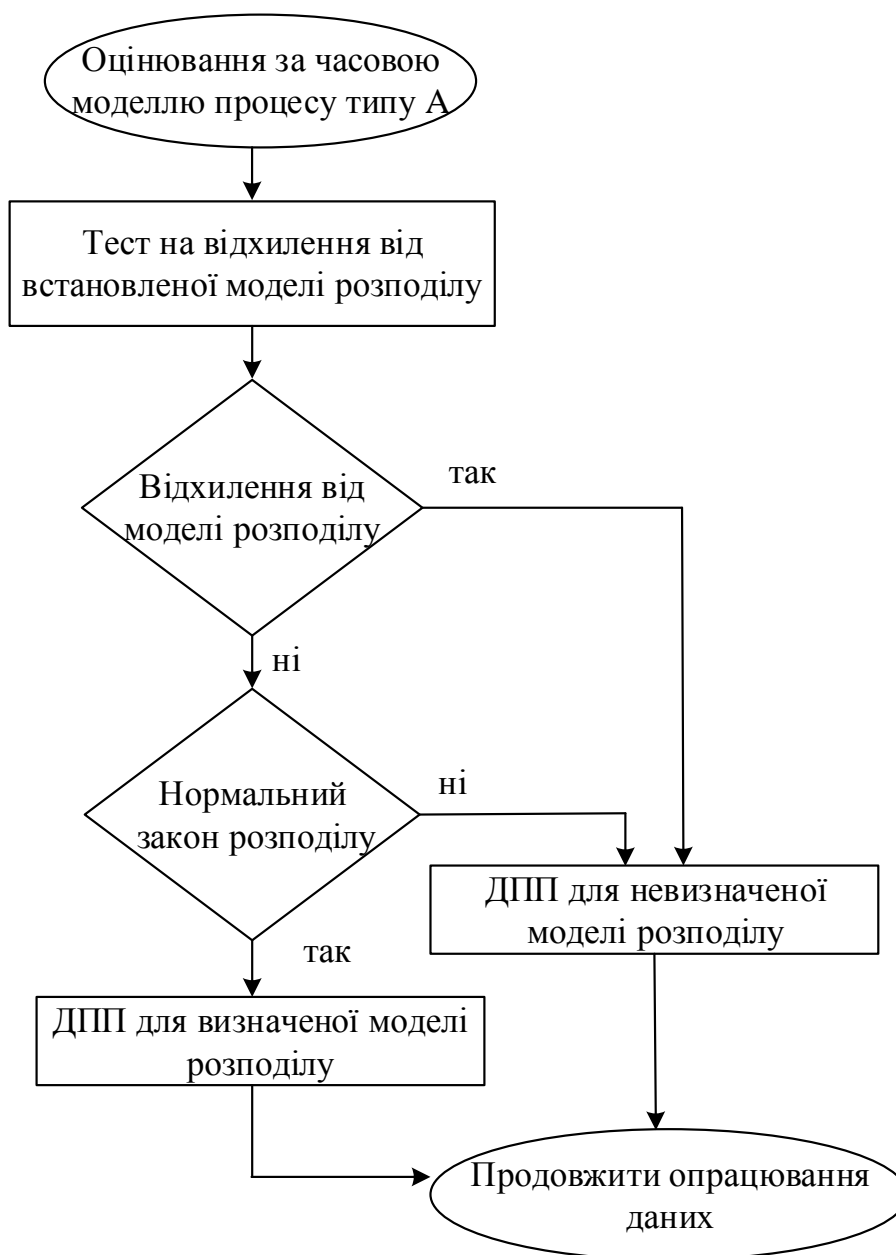


Рисунок 3.3 – Оцінювання за часовою моделлю процесу типу А

Видання:	a	b	c	d	e	Автор: Л.Мороз	Дата: 12.09.2015
Дата:	12/09						

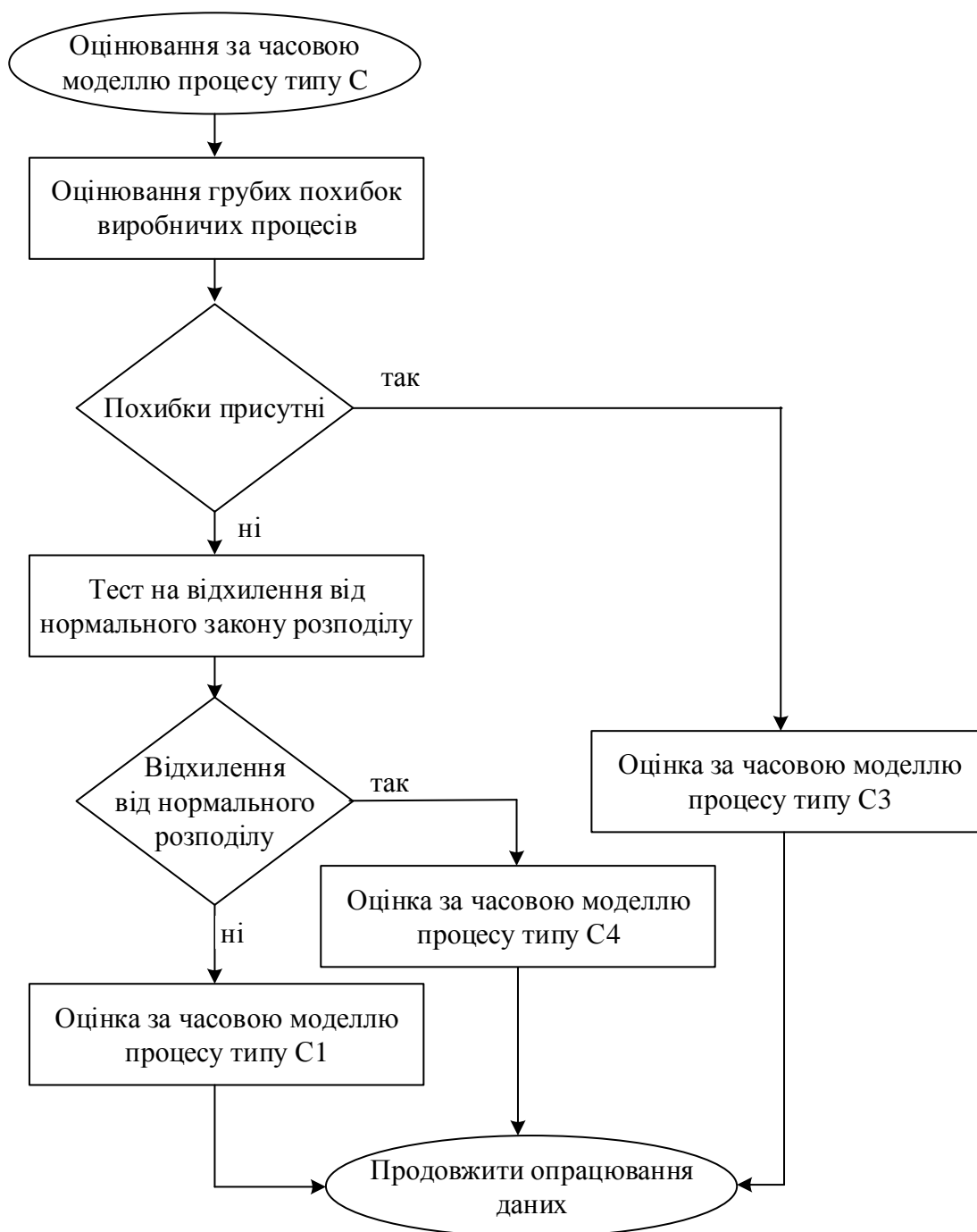


Рисунок 3.4 – Оцінювання за часовою моделлю процесу типу С

Видання:	a	b	c	d	e	Автор: Л.Мороз	Дата: 12.09.2015
Дата:	12/09						

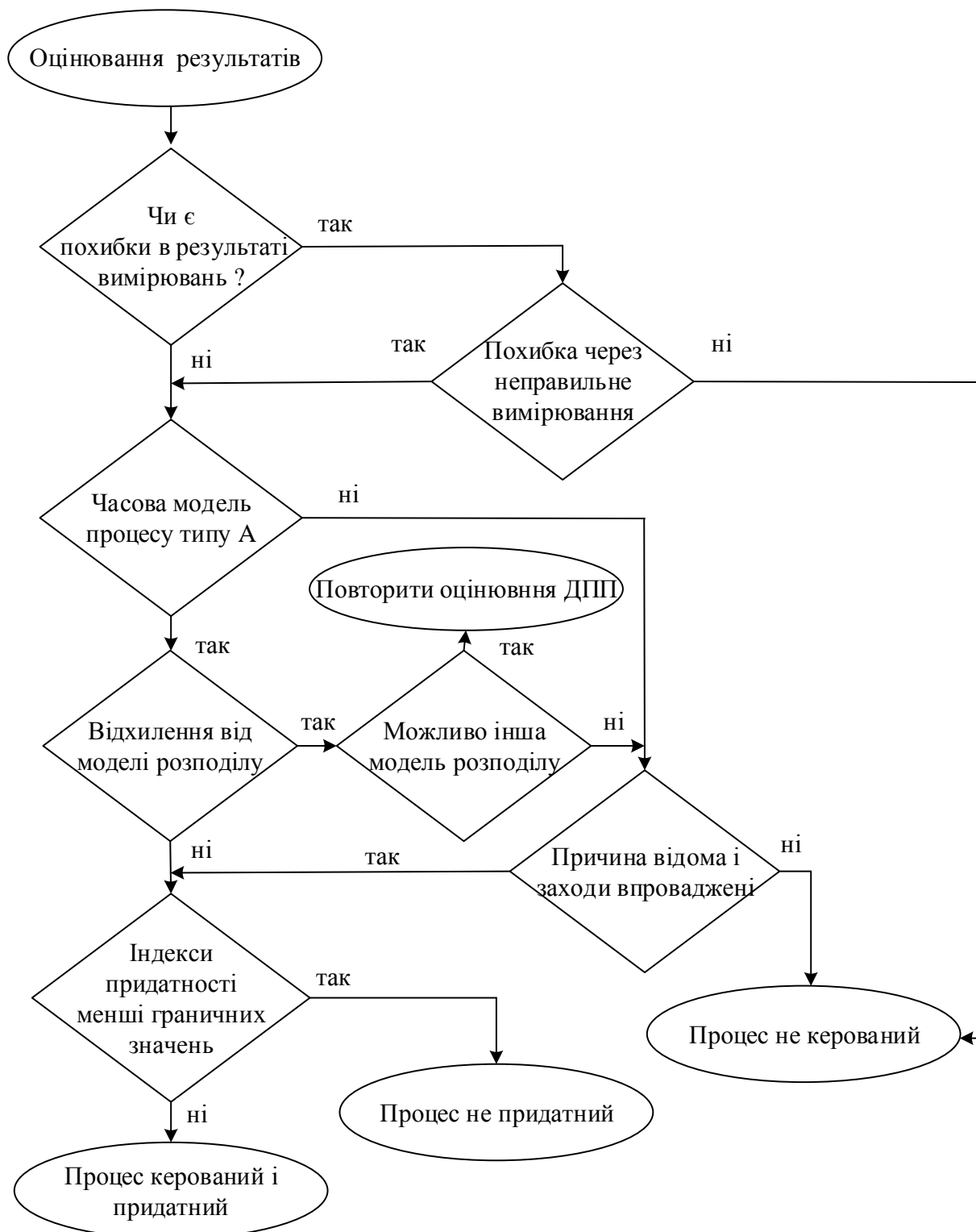


Рисунок 3.5 – Оцінювання результатів вимірювань ДПП

Видання:	a	b	c	d	e	Автор: Л.Мороз	Дата: 12.09.2015
Дата:	12/09						

3.1 Використання випробувального обладнання

Випробувальне обладнання, яке використовується для дослідження придатності процесу (ДПП), повинне бути повіреним та придатним (справним) до використання.

3.2 Відбір взірців

Дослідження придатності процесу проводиться тільки для однієї виробничої характеристики або одного параметру процесу.

Щоб зафіксувати всі можливі впливи, які можуть виникнути під час нормальних умов виробництва, під час відбору взірців повинні виконуватись наступні умови:

- Випадкові взірці відібрано під час виробничих процесів в нормальних умовах виробництва (тобто обладнання працює із встановленим серійним часом та із налаштуваннями так як під час серійного виробництва), із однаковими інтервалами часу та рівномірними кількостями. За таких умов відбору, такі чинники впливу як зміна налаштувань виробничого обладнання, зміна інструменту, виходи із ладу будуть враховані.
- Слід дотримуватись прямої послідовності відбору взірців. Кількість відборів повинна становити щонайменше $n=3$, проте рекомендованим є $n=5$ підходів.
- Кількість зразків m в одному відборі повинна становити не менше 6.
- Для проведення ефективного аналізу кількість відібраних взірців повинна становити не менше 30. Проте, для кращого спостереження за виробничим процесом рекомендовано брати загальну кількість відібраних взірців $m \cdot n \geq 125$. В залежності від кількості відібраних взірців згідно таблиці 2.3 або за формулами (2.26)–(2.28) встановлено граничне значення індексів придатності C_p і C_{pk} .
- Густота відбору вибірки встановленого обсягу взірців n повинна бути високою настільки, щоб вибірка проводилась в проміжки часу, протягом якого не

Видання:	a	b	c	d	e	Автор:	Дата:
Дата:	12/09					Л.Мороз	12.09.2015

- відбувалося б жодних системних впливів на процес, і були враховані зміни: партії матеріалу, налаштування параметрів машини, виробничої зміни.
- Період, протягом якого триває відбір взірців (рекомендовано 1 - 2 тижні), повинен врахувати наступні впливи:
 - 3 зміни виробничих змін;
 - 3 зміни працівників;
 - зміну інструменту або зміну значень параметрів машини;
 - зміна партії матеріалу.
- Умови проведення методики дослідження мають бути попередньо встановленими і не повинні змінюватися під час досліджень.

3.3 Особливості документування обмеженого ДПП

Якщо не можливо забезпечити умови, перелічені в п.п.3.2 (особливо в період початку виробництва), в обґрунтованих випадках може бути здійснене обмежене ДПП. Обґрунтування необхідно відповідно задокументувати, вказавши умови проведення обмеженого ДПП та спеціально означити, наприклад, “Обмежене ДПП”.

3.4 Опрацювання даних

3.4.1 Вибір очікуваної моделі розподілу

Для статистичного опрацювання даних необхідно визначити тип моделі розподілу показників якості виробничого процесу.

Для показників якості виробничого процесу визначення моделі розподілу може здійснюватися згідно з наступними правилами:

- розподіл для показників якості виробничого процесу з двосторонньою межею допуску:

Видання:	a	b	c	d	e	Автор: Л.Мороз	Дата: 12.09.2015
Дата:	12/09						

- розподіл для показників якості виробничого процесу з односторонньою межею допуску.

3.4.2 Оцінювання грубих похибок виробничих процесів

Розпочати підготовку проведення дослідження необхідно з оцінювання грубих похибок виробничих процесів, так як вони мають вплив на кінцевий результат оцінки їх точності, і можуть призвести до того, що одні результати спостережень по своїх вихідних даних значно відрізнятимуться від інших.

Груба похибка при вимірюванні може виникнути в результаті людського фактору неуважності, неправильного вибору налаштувань, недотриманні вимог щодо проведення процесу, зміщені деталей при дослідженні і т.д.

Якщо є впевненість в тому, що такі спостереження є хибними (випадковими але цілком систематичним), і є результатом відхилення, то цю похибку не варто враховувати при аналізі процесу. Але якщо впевненості немає, то для визначення того, чи є відхилення результатів вимірювання наслідком грубої помилки чи випадкового відхилення, необхідно використати критерій визначення грубих похибок експерименту.

В якості критерія визначення похибок експерименту використано критерій Романовського, згідно якого можна визначити грубі похибки (при $n \rightarrow \infty$) і використовується для опрацювання результатів вимірювань практично усіх поширених методів. Згідно методу, на основі отриманих значень показників якості вираховується середнє арифметичне \bar{X} середньоквадратичне відхилення S , попередньо виключивши з нього випадкові значення \hat{x}_1 . Після цього визначається значення t_β за формулою:

$$t_\beta = \frac{|\hat{x}_1 - \bar{X}|}{S} \quad (3.1)$$

Видання:	a	b	c	d	e	Автор: Л.Мороз	Дата: 12.09.2015
Дата:	12/09						

	Методика	Сторінка 27 з 32
---	----------	---------------------

Допустимі значення t_{β} наведені в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Допустимі значення t_{β}

n	20	25	30	40	50	120
t_{β}	2,14	2,1	2,08	2,05	2,02	1,99

Якщо $t_{\beta} \leq \hat{t}_{\beta}$, то \hat{x}_1 є випадковим значенням і його необхідно враховувати в подальших обчисленнях. Якщо $t_{\beta} > \hat{t}_{\beta}$, то випадкове значення \hat{x}_1 слід вважати грубою похибкою, і його необхідно видалити з вибірки.

3.4.3 Прийняття похибок з розрахунку статистики

Якщо при дослідженні виробничого процесу похибки все ж таки було виявлено, при обчисленні статистичних показників їх не враховуємо. Тим не менше, цими похибками не варто нехтувати, їх необхідно відобразити окремим графіком, та задокументувати кількість.

3.4.4 Визначення індексів придатності процесів за часовою моделлю процесу типу А

Якщо отримані значення показників якості не виявляють ніякої значної зміни розташування процесу і дисперсії в період випробувань, то оцінка повинна бути здійснена згідно часової моделі процесу типу А.

3.4.4.1 Тест на відхилення від встановленої моделі розподілу

Спершу отримані значення показників якості необхідно перевірити, щоб встановити, чи мають вони відхилення від моделі розподілу, яка є визначена для параметрів процесу, який досліджується.

Видання:	a	b	c	d	e	Автор: Л.Мороз	Дата: 12.09.2015
Дата:	12/09						

3.4.4.2 Оцінка за часовою моделлю процесу типу A1

У разі виявлення нормального розподілу, в якому отримані значення показників якості процесу не виявляють значного відхилення від моделі розподілу, які є визначені для параметрів процесу, тоді поведінка процесу описується за моделлю типу A1 і визначення індексів придатності процесу здійснюється відповідно за формулами (2.1) – (2.5), а межі розмаху процесу визначаються згідно із (2.2).

3.4.4.3 Оцінка за часовою моделлю процесу типу A2

Якщо отримані значення показників якості процесу суперечать встановленій моделі розподілу, або ж не може бути підібрана жодна інша модель розподілу досліджуваного параметру процесу, тоді поведінка процесу позначається як модель типу A2 і визначення індексів придатності процесу проводиться як для невизначеної моделі розподілу відповідно до (2.10) – (2.19), залежно від меж розмаху процесу.

3.4.5 Дослідження на відхилення від миттєвого нормального закону розподілу (експоненціального)

Якщо існує значна зміна розташування отриманих значень показників якості процесу, але без значної зміни дисперсії процесу, необхідно провести дослідження на відхилення від миттєвого нормального закону розподілу.

Причиною значного відхилення отриманих значень показників якості процесу від миттєвого нормального закону розподілу може бути, наприклад, відбір взірців з різного виробничого обладнання.

Співвідношення миттєвого стандартного відхилення і виміряного значення повинне бути не менше 5. В іншому випадку це дослідження не слід використовувати. Нормальний закон розподілу передбачається, якщо він є наближений до формули:

Видання:	a	b	c	d	e	Автор: Л.Мороз	Дата: 12.09.2015
Дата:	12/09						

$$\frac{\mu}{\sigma} \geq 3 \quad (3.2).$$

3.4.6 Оцінювання за часовою моделлю процесу типу С

Якщо існує значна зміна розташування отриманих значень показників якості процесу, але дисперсія залишається сталою, та якщо немає протиріччя з припущенням про миттєвий нормальний розподіл, то дослідження проводимо згідно з процесною часовою моделлю С.

3.4.6.1 Тест на відхилення від нормального закону розподілу

Спершу отримані значення показників якості необхідно перевірити, щоб встановити, чи мають вони значне відхилення від нормального закону розподілу, який є визначений для параметрів виробничого процесу, який досліджується.

3.4.6.2 Оцінка за часовою моделлю процесу типу С1

Якщо при дослідженні виробничого процесу не було виявлено похибки, та немає жодного заперечення для припущення про отримані значення показників якості процесу за нормальним законом розподілу, тоді поведінка процесу описується за моделлю типу С1. Визначення індексів придатності процесу здійснюється відповідно за формулами (2.1) – (2.5), а межі розмаху процесу визначаються згідно із (3.2).

3.4.6.3 Оцінка за часовою моделлю процесу типу С4

Якщо при дослідженні виробничого процесу не було виявлено похибки, і отримані значення показників якості процесу суперечать нормальному закону розподілу, тоді поведінку процесу описуємо за моделлю типу С4 і визначення індексів придатності процесу здійснюється за формулами (2.1) – (2.5). Для визначення меж діапазону дисперсії і залежно від допустимого відхилення, в

Видання:	a	b	c	d	e	Автор: Л.Мороз	Дата: 12.09.2015
Дата:	12/09						

цьому випадку повинен підходити змішаний розподіл, який є результатом накладення декількох нормальних розподілів.

Визначення індексів придатності процесу для змішаного розподілу проводимо відповідно до (2.10) – (2.16), залежно від меж розмаху процесу, в результаті чого верхня межа допуску найвищого розподілу і нижня межа допуску найнижчого розподілу повинні бути вказані в якості меж розмаху процесу (діапазону дисперсії).

3.4.6.4 Оцінка за часовою моделлю процесу типу С3

Якщо при дослідженні виробничого процесу були виявлені похибки, тоді поведінку процесу описуємо за моделлю типу С3 і визначення індексів придатності процесу здійснюється відповідно до формул (2.1) – (2.5).

3.4.7 Оцінка за часовою моделлю процесу типу В

У разі значних змін дисперсії, але без суттєвих змін розташування отриманих значень показників якості процесу, тоді поведінку процесу описуємо за моделлю типу В.

Визначення індексів придатності процесу для вільного розподілу проводимо відповідно до (2.10) – (2.19), залежно від допустимих відхилень показників якості виробничого процесу.

3.4.8 Оцінка за часовою моделлю процесу типу D

У разі значних змін розташування отриманих значень показників якості процесу і дисперсії, або при зміні розташування процесу і при отриманні закону розподілу, який є відмінний від нормального, поведінку процесу описуємо за моделлю типу D і визначення індексів придатності процесу здійснюється відповідно до

Видання:	a	b	c	d	e	Автор: Л.Мороз	Дата: 12.09.2015
Дата:	12/09						

формул (2.10) – (2.19), залежно від допустимих відхилень показників якості виробничого процесу.

3.5 Документування

Документація ДПП щодо отриманих значень показників якості процесу повинна містити щонайменше такі відомості:


1) Загальна інформація:

- відділ, прізвище та ім'я особи, яка проводить дослідження та дата початку проведення дослідження;
- інформація про досліджувану продукцію;
- назва, номінальний розмір і діапазон допустимих відхилень показників якості процесу;
- дані обладнання, на якому виконується дослідження;
- засоби вимірювань, якими перевіряється продукція;
- встановлений термін завершення ДПП.

2) Результати :

- графічне представлення однієї кривої отриманих значень показників якості процесу з граничними межами допуску (допустимі відхилення);
- гістограма отриманих значень показників якості процесу, граничні межі допуску та дисперсії, а також середнє значення отриманих результатів;
- обсяг і частота вимірювань, загальна кількість вимірювань;
- ефективний загальний розмір випадкового зразка;
- кількість похибок;
- розрахункові значення меж діапазону дисперсії;

Видання:	a	b	c	d	e	Автор: Л.Мороз	Дата: 12.09.2015
Дата:	12/09						

	Методика	Сторінка 32 з 32
---	----------	---------------------

- закон розподілу;
- часова модель розподілу;
- індекси придатності показників Sr і Srk (до 2 знаків після коми).

Посилання та примітки :

У разі необхідності, посилання на обмежений ДПП і опис обмежень.

Видання:	a	b	c	d	e	Автор: Л.Мороз	Дата: 12.09.2015
Дата:	12/09						

Додаток Б

Акт про впровадження результатів дисертаційної роботи в навчальний процес
Національного університету «Львівська політехніка», кафедри «Метрологія,
стандартизація та сертифікація»

ЗАТВЕРДЖУЮ



АКТ

про впровадження результатів дисертаційної роботи в навчальний процес

Мороз Лесі Василівни**«Нормативно-методичне забезпечення статистичного контролю виробничих процесів та якості продукції»**представленої на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю
05.01.02 – *стандартизація, сертифікація та метрологічне забезпечення*

Комісія НУ «Львівська політехніка» у складі:

Голова комісії – заступник голови науково-методичної ради інституту комп'ютерних технологій, автоматизації та метрології, д.т.н., проф. Микитин І.П.

Члени комісії: професор кафедри «Метрологія, стандартизація та сертифікація», д.т.н., проф. Походило Є.В., професор кафедри «Метрологія, стандартизація та сертифікація», д.т.н., проф. Яцук В.О., доцент кафедри «Метрологія, стандартизація та сертифікація», д.т.н., доц. Гоц Н.Є.

Даний акт підтверджує, що проведені дисертанткою наукові дослідження виконувалися на кафедрі метрології, стандартизації та сертифікації Національного університету «Львівська політехніка». Основні положення та результати дисертаційної роботи, впроваджені у навчальний процес кафедри «Метрологія, стандартизація та сертифікація» Національного університету «Львівська політехніка», зокрема досліджено потреби застосування статистичних методів у виробничих процесах, наведено важливість поєднання новітніх методик як універсальний підхід до процесу безперервного покращення та гармонізації вимог європейської та міжнародної практики, що дасть змогу підвищити рівень конкурентоспроможності вітчизняних підприємств, а також підготовку фахівців за спеціалізаціями: 0601 «Якість, стандартизація та сертифікація» та 0401 «Метрологічне забезпечення випробувань та якості продукції» і використовуються при вивченні дисципліни «Управління якістю», тема №12 «Статистичні методи управління якістю».

Голова комісії:
заступник голови
науково-методичної ради ІКТА
д.т.н., проф.

Микитин І.П.

Члени комісії:

проф. каф. МСС, д.т.н. проф.

Походило Є.В.

проф. каф. МСС, д.т.н. проф.

доц. каф. МСС, д.т.н. доц.

Яцук В.О.

Гоц Н.Є.

Додаток В

Акт про впровадження результатів дисертаційної роботи у виробничий процес підприємства ТзОВ «Бадер Україна»



ЗАТВЕРДЖУЮ

Директор ТзОВ «Бадер-Україна»

Павлунь А.М.

" 11 " 05 2016 р.

АКТ

про впровадження результатів дисертаційної роботи

Мороз Лесі Василівни**«Нормативно-методичне забезпечення статистичного контролю виробничих процесів та якості продукції»**представленої на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.01.02 – *стандартизація, сертифікація та метрологічне забезпечення*

Даним актом підтверджується, що за результатами наукових досліджень про поєднане використання методологій Теорії Обмежень, Ощадливого виробництва та Шести Сигм є доведеною доцільність їх комплексного застосування для покращення якості виготовлення продукції і контролю виробничих процесів. Результати дисертаційної роботи Мороз Л.В., отримані при проведенні численних досліджень з аналізу і виявлення моделей розподілу показників якості продукції під час технічної обробки шкіряних викроїв та викроювання текстильних матеріалів, а також розроблена методика дослідження придатності даних процесів з врахуванням цих моделей розподілу, використовуються на нашому підприємстві.

Запропоновані в роботі методи забезпечують можливість комплексного системного підходу для покращення контролю за виробничими процесами та якістю продукції.

Керівник відділу якості
ТзОВ «Бадер Україна»

Ковальчук В.М.