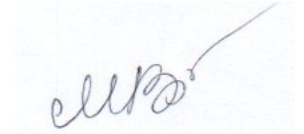


МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ “ЛЬВІВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА”

**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

**Автореферат**  
дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Львів – 2016

Дисертацією є рукопис

Робота виконана у Національному університеті “Львівська політехніка”  
Міністерства освіти і науки України

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор  
**Байцар Роман Іванович**, професор кафедри метрології,  
стандартизації та сертифікації, Інституту комп’ютерних  
технологій, автоматики та метрології, Національного  
університету «Львівська політехніка»

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор  
**Трищ Роман Михайлович**,  
завідувач кафедри охорони праці, стандартизації  
та сертифікації Української інженерно-педагогічної академії,  
м. Харків

кандидат технічних наук,  
**Середюк Денис Орестович**,  
старший науковий співробітник науково-дослідної  
лабораторії Центру наукового забезпечення вимірювань  
ДП “Івано-Франківськстандартметрологія”,  
м. Івано-Франківськ

Захист відбудеться “26” грудня 2016р. о 10<sup>00</sup> годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 35.052.21 у Національному університеті “Львівська політехніка” (79013, Львів-13, вул. С. Бандери, 28а, ауд. 713 п’ятого навчального корпусу).

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Національного університету “Львівська політехніка” (79013, Львів, вул. Професорська, 1)

Автореферат розісланий «25» листопада 2016 р.

Учений секретар спеціалізованої  
вченої ради, д.т. н., доцент



Т. З. Бубела

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**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 методику 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 вибирати методи їх визначення для конкретного розподілу їхніх значень.
2. З використанням методології теорії обмежень проведено аналіз можливостей виникнення дефектів під час виробництва автомобільних чохлах 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 методику 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 [1,9], поєднання трьох методологій як універсальний підхід для

безперервного покращення якості виготовлення продукції і контролю виробничих процесів [2,4], аналіз статистичних методів та визначення їх особливостей [3], структурна схема концептуальної моделі інформаційної технології для дослідження придатності процесу [5]. Робота [6] – 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); 11<sup>th</sup> 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.

## **ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ**

У **вступі** наведено загальну характеристику роботи. Обґрунтовано актуальність теми досліджень, сформульовано мету, завдання та методи досліджень, показано зв'язок роботи з науковими програмами та планами, визначено наукову новизну, практичне значення та особистий внесок здобувача в одержаних результатах, наведено відомості про їхню апробацію і впровадження.

У **першому розділі** проаналізовано вимоги стандартів ISO серії 9000 та іншої науково-технічної інформації з наукового обґрунтування вимог до управління якістю. Встановлено, що найважливішим завданням будь-якого підприємства є налагоджена система виробничих процесів, адже саме в цьому закладено науку про найбільш економні способи перероблення сировинних матеріалів та отримання якісної готової продукції.

ДСТУ ISO 9001:2015 “Системи управління якістю. Вимоги” підтверджує необхідність застосування статистичних методів. У розділах 6.1; 7.1.5; 9.1; 9.1.3 наголошено на виконанні дій стосовно ризиків, а також на забезпеченні моніторингу, вимірюванні, простежуванні вимірювань, порівнянні та аналізуванні показників якості процесів, однак самі методи в стандарті не вказуються, і кожне підприємство самостійно зустрічається з проблемою визначення механізму дослідження процесів. Ефективне управління якістю виробничих процесів неможливе без використання статистичних методів, здатних своєчасно, оперативно та об’єктивно відображати зміни в них.

В роботі проаналізовано статистичні методи та обґрунтовано способи їх застосування на підприємствах специфічних галузей на основі аналізу класифікації систем та вимог гармонізованих стандартів ДСТУ ISO серії 9000, що дозволить вдосконалити управління якістю виробничих процесів. Для аналізу вибрано стандарти автомобільної галузі 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” та медичної галузі ДСТУ ISO 13485:2005 “Вироби медичні. Системи управління якістю”.

Обґрунтовано, що характерною особливістю стандарту ДСТУ ISO/TS 16949:2009 є встановлення обов’язкових для виконання інструментів управління якістю, в перелік яких входять: метод FMEA (Failure Mode and Effects Analysis) – “Аналіз видів й наслідків потенційних дефектів”; 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).

Аналіз вимог міжнародного стандарту ДСТУ ISO 13485:2005 “Вироби медичні. Системи управління якістю” підтверджує необхідність системи управління якістю (СУЯ) процесів, для реалізації якого необхідно: встановити, задокументувати, проводити та підтримувати систему управління якістю і підтримувати її результативність відповідно до вимог стандарту (пп. 4.1); здійснювати моніторинг, вимірювання та аналізування процесів (пп. 4.1 е); вживати заходів, необхідних для досягнення запланованих результатів та підтримування результативності процесів (пп. 4.1 f); вхідні дані аналізування з боку керівництва повинні містити інформацію щодо функціонування процесів і відповідності продукції (пп. 5.6.2); 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 (пп. 5.6.3); визначення застосовних методів, зокрема статистичних методів, а також сфери їхнього застосування (пп. 8.1); 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 (пп. 8.4); характеристики і тенденції відхилень процесів та продукції, зокрема можливості запобіжних дій (пп. 8.4 с).

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.

Так, за результатами проведеного дисертаційного дослідження здійснений аналіз вказує на необхідність розроблення системного підходу до безперервного вдосконалення виробничих процесів з акцентом на ключових завданнях, вирішення яких суттєво покращить управління виробничими процесами та якість виготовленої продукції.

На підставі викладеного в цьому розділі також сформовано основні завдання й обґрунтовано напрям подальших досліджень.

У **другому розділі** проведено структурний аналіз забезпечення статистичного контролю виробничих процесів та якості продукції. Досліджено методи статистичного аналізу та охарактеризовано їхні особливості з метою визначення доцільності їх використання залежно від цілей управління якістю виробничих процесів. Встановлено, що досліджувані методи мають суттєві економічні та організаційні переваги, оскільки сприяють покращенню виробничих процесів, підвищенню якості продукції, послуг.

Проаналізовано стан виробничих процесів в управлінні 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 технічними умовами межах. Розв'язок відповідних проблем пов'язаний передовсім з аналізом законів розподілу виробничих процесів.

Розкид дійсних значень показників якості описується моделлю розподілу, яка характеризується параметрами і їх числовими характеристиками. Визначення моделі розподілу випадкових величин показників якості займає одне із першочергових місць при моделюванні процедур управління якістю з допомогою статистичних методів.

Поведінка виробничого процесу з плином часу характеризується певними критеріями. На їх основі можна прийняти рішення про те, чи процес керований чи ні, адже передумовою для цілеспрямованого поліпшення процесу є розроблення умов для отримання керованого процесу. Процес можна вважати керованим, якщо він характеризується сталою поведінкою (режимом роботи), і з плином часу ця поведінка слідує попередньо визначеній закономірності, а якщо зміни відбуваються, то ці зміни не виходять за визначені межі.

Метою дослідження виробничого процесу є отримання інформації про його особливості, яка необхідна для ефективного управління процесом і забезпечення необхідного рівня якості продукції. Параметри досліджуваних характеристик



визначають шляхом вибірки, отриманої під час функціонування процесу. Обсяг і густину відбору вибірки потрібно встановити залежно від особливостей процесу і продукції так, щоб усі важливі зміни можна було вчасно виявити.

Для визначення миттєвого стану параметрів розподілу процесу розглянуто поведінку характеристик процесу за короткий проміжок часу. Зазвичай це інтервали часу, протягом якого вибирають вибірку. Спостереження за процесом протягом тривалого інтервалу часу дає змогу отримати розподіл вибірки продукції для відповідного процесу і описати його у вигляді залежностей розподілів параметрів від часу, які відображають:

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

У роботі розвинуто поєднання методологій теорії обмежень, ошадливого виробництва та шести сигм, відповідно до яких доведено доцільність їхнього комплексного застосування для покращення якості виготовлення продукції та контролю виробничих процесів. Підвищення конкурентоспроможності на всіх етапах виробництва відображається в постійному прагненні до покращення виробничих процесів, яке можна досягти завдяки комплексному застосуванню вище вказаних методологій, цілі яких є досить близькі, а підходи дещо відмінні (таблиця 1).

Таблиця 1 – 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
Ошадливе 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

У **третьому розділі** розвинуто метод дослідження придатності виробничих процесів.

Запропоновано математичну модель виробничого процесу з урахуванням інтегральної функції розподілу параметрів. За допомогою моделі прогнозують розвиток виробничих процесів у часі. 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:

$$T = f(x_1, \dots, x_n), \quad (1)$$

де  $T$  – час роботи об'єкта, після якого настає втрата якості нижче від встановленого рівня, наприклад, це може бути межа 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 особливості випадкової функції  $T$ . У практичному застосуванні запропоновано користуватися інтегральною функцією розподілу параметрів виробничого процесу. Вид такої функції наведено на рисунку 1.

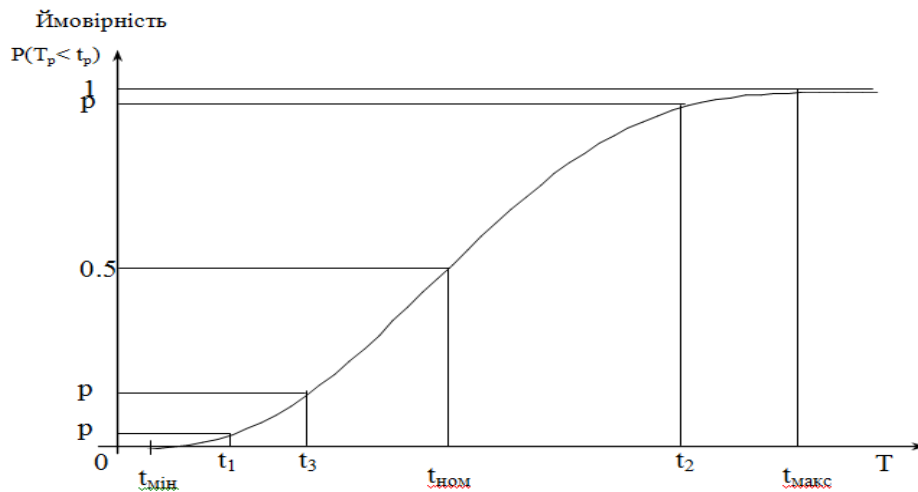


Рисунок 1 - Графічна залежність виробничого процесу з урахуванням інтегральної функції розподілу ймовірності випадкової функції незалежних величин в часі

На рисунку 1 можна виділити три особливі точки:  $t_{\min}$ ,  $t_{\text{ном}}$ , і  $t_{\text{макс}}$ :  $t_{\min}$  – час роботи об'єкта, в якому ймовірність його відмови дорівнює нулю.  $t_{\text{ном}}$  – час роботи об'єкта, що відповідає формулі (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.  $t_{\text{макс}}$  – 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 трапитися недопустима відмова з ймовірністю “Р”. З цього виходить, що:

$$P(T < t_{\min}) = 0; P(T < t_{\text{ном}}) = 0.5; P(T < t_{\max}) = 1; \text{ а також } P(T \langle t_{p1} - t_{p2} \rangle) = p_2 - p_1.$$

У результаті проведених досліджень виявлено особливості розподілу дійсних значень показників якості та встановлено взаємозв'язок між часовими розподілами та законами розподілів нормованих показників якості.

Розвинуто метод дослідження придатності процесу (ДПП) (рисунок 2), який враховує закони розподілу показників якості відмінних від нормального, ціль якого:

- стабілізувати процес;
- розрахувати індекси придатності;
- зробити висновки про придатність процесу.

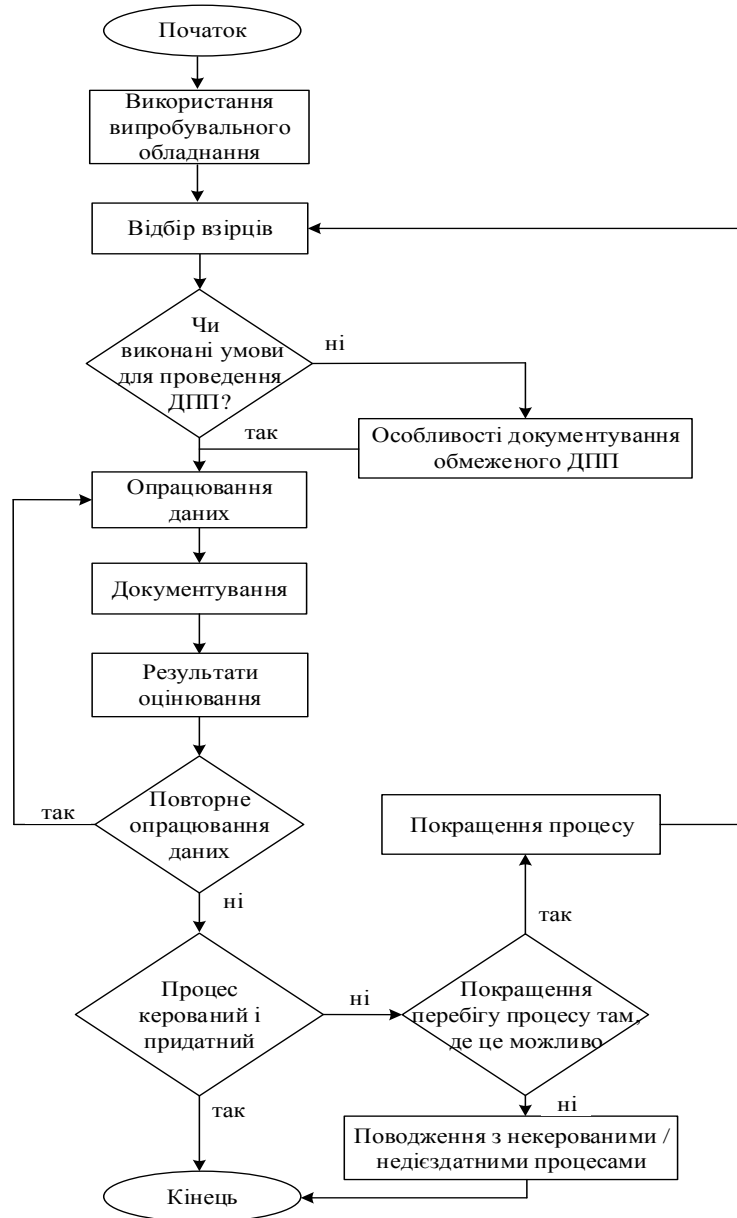


Рисунок 2 - Алгоритм дослідження придатності процесу

Метою відповідних 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.

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, 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 3.



Рисунок 3 - Концептуальна модель інформаційної технології для дослідження придатності процесу

Математичне сподівання  $Mx_0$  і СКВ (середнє квадратичне відхилення)  $\sigma_0$  визначають на основі відомих експериментальних даних:

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

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  $6\sigma$  і виражається так:

$$C_p = \frac{ВМД - НМД}{6 \cdot \sigma}, \quad (3)$$

де ВМД – верхня межа допуску ( $+3\sigma$ ); НМД – нижня межа допуску ( $-3\sigma$ ).

Цей індекс  $C_p$  можна пов'язати з частиною стандартної кривої нормального розподілу (розмах процесу  $6\sigma$ ), 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:

$$C_{pl} = \frac{C_s - НМД}{3 \cdot \sigma}, \quad C_{pu} = \frac{ВМД - C_s}{3 \cdot \sigma}, \quad (4)$$

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:

$$C_{pk} = (1 - k_s) C_p. \quad (5)$$

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  $\sigma$  може мати вигляд:

$$\xi_1 \frac{\text{abs}(Mx - Mx_0)}{Mx_0} + \xi_2 \frac{\text{abs}(\sigma - \sigma_0)}{\sigma_0} < \varepsilon, \quad (6)$$

де  $\xi_1, \xi_2$  – безрозмірні коефіцієнти вагомості;  $\varepsilon$  – заданий малий параметр, який характеризує інтегральну похибку. Числові значення величин  $\xi_1, \xi_2, \varepsilon$  вважаємо заданими, їх встановлюють на основі експертного методу.

Порівнюють значення  $\varepsilon$  на основі співвідношення (6) для поданих у роботі восьми розподілів. Мінімальне значення  $\varepsilon$  (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 (4)–(6).  $C_{pk}$  – 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 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:

$$J(P_{\xi_k}, FB(P_{\xi_k})) = \frac{1}{t_k - t_0} \int_{t_0}^{t_k} f(\bar{y}, \bar{u}, \bar{s}, K) dt \Rightarrow opt, \quad (7)$$

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

$$J_*(P_{\xi_k}, FB(P_{\xi_k})) = f(\bar{y}, \bar{u}, \bar{s}, K) \Rightarrow opt, \quad (8)$$

їх розраховують за співвідношеннями, аналогічними до:

$$K_{s1} = \frac{\partial g_{\xi}(x)}{\partial a} \cdot \frac{a}{g_{\xi}(x)}, \quad K_{s2} = \frac{\partial g_{\xi}(x)}{\partial \sigma} \cdot \frac{\sigma}{g_{\xi}(x)}, \quad (9)$$

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  $a, \sigma$ .

Якщо у співвідношеннях (8) 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 (8). Тому для знаходження нормального розподілу з оптимальними значеннями  $a$ ,  $\sigma$  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  $\lambda_1$ , в другій – апроксимуємо функцію розподілу експоненціальною залежністю з математичним сподіванням  $\lambda_2$ . Тоді покажемо результуючу функцію розподілу кусковою експоненціальною залежністю типу

$$g_{\xi}(x, \lambda_1, \lambda_2) = g_{\xi 1}(x, \lambda_1) \cdot \theta_+ + g_{\xi 2}(x, \lambda_2) \cdot \theta_- \quad (10)$$

Тут  $\theta_+$ ,  $\theta_-$  – 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 (4), (8)–(10) 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 (6). Компоненти вектора оптимальних керувань трактуємо як алгоритм послідовних наближень, за допомогою якого звужуємо межі допусків ( $\pm 3\sigma$ ), прямуючи до діапазону  $6\sigma$  (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  $g_{\xi 2}(x, a_2, \sigma_2)$  оскільки кожна із них містить два невідомі параметри, на відміну від  $g_{\xi 1}(x, \lambda_1)$  і  $g_{\xi 2}(x, \lambda_2)$ , які містять  $\lambda_1$  і  $\lambda_2$ .

Наступний крок алгоритму – використання співвідношень:

$$|a_1 - a_2| \Rightarrow \min, \quad |\sigma_1 - \sigma_2| \Rightarrow \min. \quad (11)$$

На основі (4), (6), (8)–(11) можна визначити оптимальні значення компонент вектора  $\bar{u}$  (вектора керувань), які відповідають оптимальним значенням  $C_S^*$  (центру розподілу ( $C_S^* = a^*$  для нормального), чи  $k^*$  в (5)) і відповідно результуюче значення дисперсії  $\sigma^*$ .

Враховуючи початкові залежності  $g_{\xi 1}(x, \lambda_1)$  і  $g_{\xi 2}(x, \lambda_2)$ , які містять  $\lambda_1$  і  $\lambda_2$ , можна проводити аналогічну процедуру і для іншого розподілу, наприклад, розподілу Вейбулла (тобто визначати параметри  $\lambda_0$  і  $\alpha$ ).

Встановлення оптимального розподілу непевностей вимірних величин відповідного виробничого процесу ґрунтується на аналітичних співвідношеннях (4), (6), (8)–(11).

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 (4), (6), (8)–(11) визначити компоненти вектора  $\bar{u}$  і параметри розподілу, який

найточніше відповідає експериментальним даним. Результатом розв'язку задачі (4), (6), (8)–(11) також буде оптимальне значення функціоналу якості щодо встановлення оптимального розподілу.

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

**Четвертий розділ** роботи присвячений експериментальним дослідженням придатності виробничого процесу.

Реалізація дослідження проводилася на підприємстві автомобільної промисловості ТзОВ “Бадер Україна”, яке займається виготовленням шкіряних сидінь для автомобілів марки AUDI та BMW. Автомобільне сидіння повинне характеризуватися такими загальними параметрами, як: безпека користувача, комфорт, зручність, продуктивність, ефективність, проте, питання безпеки пасажирів в комплектації будь-якого автомобіля стоїть на першому місці. Сьогодні переважно в кожному автомобілі передбачена наявність подушок безпеки Airbag, які запобігають пошкодженню водія та пасажирів у разі аварійних ситуацій, що виникають на дорогах. У разі контакту з іншим транспортним засобом або перешкодою подушка безпеки протягом десятих часток секунди наповнюється газом, заповнює простір попереду пасажирів і водія, значно знижуючи ймовірність і тяжкість їх пошкоджень під час аварії. Airbag подушки у складеному вигляді розміщують під панеллю приладів або вшивають збоку в автомобільний чохол та з'єднують з балонами, наповненими стиснутим газом. Шов, за допомогою якого до автомобільного чохла пришивається подушка безпеки, називається Side Airbag (SAB) швом.

Для визначення “ключових” недоліків, що можуть бути причинами розривання SAB шва в автомобільному чохлах, виконуємо аналіз виробничого процесу пришиття AIRBAG подушки із застосуванням підходів теорії обмежень. Встановлено та побудовано “дерево поточної реальності” для восьми основних небажаних явищ, які можуть бути причинами розривання SAB шва в автомобільному чохлах, а саме: 1) невідповідна ширина шва; 2) складки, зморщення; 3) невідповідний контур; 4) загустий стібок; 5) зарідкий стібок; 6) невідповідний натяг нитки; 7) затонка шкіра; 8) затовста шкіра. На основі встановлених небажаних явищ виявлено два ключові недоліки або, по-іншому, слабкі місця процесів (1 – процес стинання, 2 – процес розкрою), на які слід звернути увагу. Фрагмент “дерева поточної реальності”, де виявлено “слабкі місця” подано на рисунку 4.

Також у цьому розділі на основі аналізу чинників, які можуть бути причинами розривання SAB шва в автомобільному чохлах, розроблено їх узагальнену причиново-наслідкову діаграму. Запропоновану діаграму можна використати як основу для побудови окремих діаграм щодо конкретних дефектів автомобільних сидінь під час їх експлуатації з метою запровадження коригувальних і запобіжних дій виробниками чохлах.



На основі виявлених “слабких місць” процесів проведено статистичні дослідження з визначення моделей розподілу випадкових величин на основі отриманих даних. Запропоновано методика розрахунку індексів придатності багатьох процесів за результатами спостережень нормованих показників якості, незважаючи на їхню різноманітність, ступінь складності та ступінь впливу на кінцеву продукцію, а також можливість контролю за їх стабільним функціонуванням.

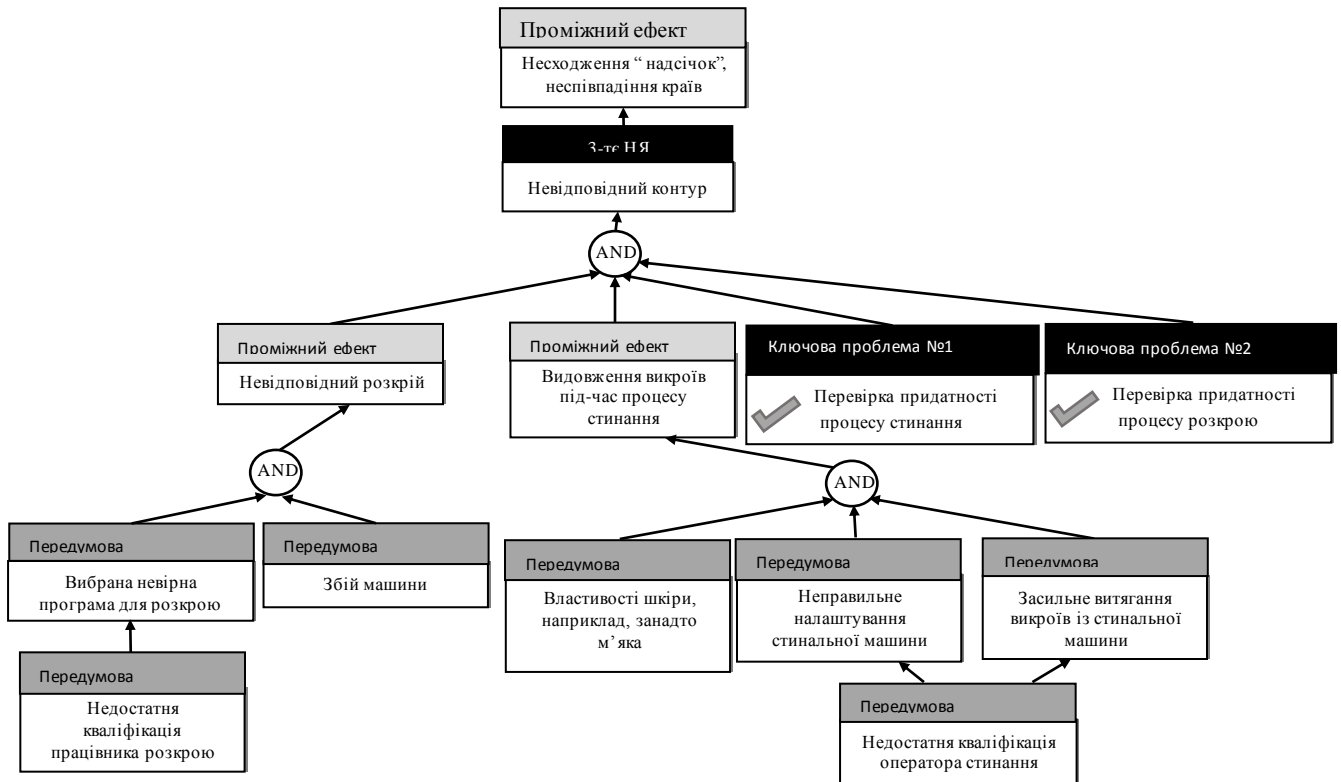


Рисунок 4 - Фрагмент “дерева поточної реальності”

На основі отриманих даних показників якості виробничих процесів та алгоритмів їх опрацювання, запропоновано структуру інтелектуальної системи, за допомогою якої визначаємо індекси  $C_p$ ,  $C_{pk}$ , які характеризують придатність виробничого процесу.

Запропонований в роботі метод статистичного дослідження придатності процесу можна застосовувати на різних підприємствах, незалежно від сфери їх діяльності, а також для оцінювання індексів придатності будь-яких процесів чи окремих операцій та систем в цілому.

## ВИСНОВКИ

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 методику дослідження придатності процесів, яка є важливою для об’єктивного визначення їх якості, а також забезпечення якісної, бездефектної продукції.

## **СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ**

1. 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.
2. 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.
3. Демчук Л. Статистичні методи в управлінні якістю виробничих процесів / Леся Демчук, Роман Байцар // Вимірювальна техніка та метрологія. – 2014. – № 75. – С. 131–137.
  4. Lesya Demchuk. Combined usage of Theory 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).
  5. Демчук Л. Статистична модель аналізу придатності виробничого процесу / Л. Демчук, В. Юзевич, Р. Байцар // Стандартизація. Сертифікація. Якість. – 2014. – № 6. – С. 60–65.
  6. Демчук Л. В. Удосконалення системи контролю якості виробничого процесу // Технологічний аудит та резерви виробництва. – 2015. – № 5/3 (25). – С. 18–21.
  7. 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.
  8. 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.
  9. Демчук Л. В. Обеспечение качества производства медицинских изделий / Л. В. Демчук, Н. В. Мороз, Р. И. Байцар // Международный журнал: “Устойчивое развитие”. – Варна : ТУ. – 2012. – № 4. – С. 68–71.
  10. 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.
  11. 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.
  12. 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.
  13. 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.

14. 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.
15. 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.
16. Lesya Demchuk. Integrated use of TOC, lean and SIX SIGMA in quality assurance of manufacturing processes / Lesya Demchuk, Roman Baitsar // Abstracts 11<sup>th</sup> Intern. Symposium on Measurement and Quality Control (ISMQC 2013), Cracow-Kielce, Poland, 11–13.09.2013. – Cracow, 2013. – P. 78.
17. L. Demchuk, R. Baitsar Integrated use of TOC, Lean and Six Sigma in quality assurance processes : XI International Symposium on Measurement and Quality Control. – Cracow ; Kielce, Poland, 2013 р. – ID104. – електр. видання: <http://www.imeko.org/publications/tc14-2013/IMEKO-TC14-2013-09.pdf>
18. 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.

## АНОТАЦІЯ

**Мороз Л. В. Нормативно-методичне забезпечення статистичного контролю виробничих процесів та якості продукції.** – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.01.02 – стандартизація, сертифікація та метрологічне забезпечення. Національний університет «Львівська політехніка», Міністерства освіти і науки України, Львів, 2016.

Дисертація присвячена питанню розроблення і впровадження нормативно-методичного забезпечення статистичного контролю виробничих процесів та якості продукції. Обґрунтовано способи застосування статистичних методів на підприємствах специфічних галузей. Розвинуто поєднання методологій теорії обмежень, ощадливого виробництва та шести сигм, відповідно до яких доведено доцільність їхнього комплексного застосування. Запропоновано математичну модель виробничого процесу з урахуванням інтегральної функції розподілу, за допомогою якої можна прогнозувати розвиток його поведінки у часі. Розвинуто метод дослідження придатності процесу, який враховує закони розподілу показників якості відмінних від нормального, та дозволяє вибрати відповідний алгоритм встановлення їх придатності. Проведено аналіз виробничого процесу пришиття подушки безпеки до автомобільного чохла із застосуванням методології теорії обмежень, побудовано “дерево поточної реальності” причинно-наслідкових ланцюгів небажаних дефектів розривання шва де пришивається автомобільна подушка безпеки, на основі чого визначено ключові недоліки процесів, на які слід

звернути увагу та покращення яких на стадії виробництва забезпечить якість виробничих процесів і виготовленої продукції. Виконано дослідження з визначення моделей розподілу випадкових величин на основі отриманих даних. Розроблено інтелектуальну систему для дослідження індексів придатності процесів. Розроблено і впроваджено в практику методику дослідження придатності процесів.

**Ключові слова:** виробничий процес, якість продукції, статистичний метод, закон розподілу, причинно-наслідкова діаграма, методологія, контроль.

### ABSTRACT

**Moroz L. V. Normative and methodical ensuring of statistical control of production processes and product quality. – Manuscript.**

Dissertation for the degree of Ph. D. of technical sciences in the specialty 05.01.02 – standardization, certification and metrology support. – National University “Lviv Polytechnic”, Ministry of Education and Science of Ukraine, Lviv, 2016.

Dissertation is devoted to the development and implementation of normative and methodical ensuring of statistical control of production processes and product quality. Ways of application of statistical methods at the entities of specific industries are proved. Combined usage of methodologies of the theory of constraints, lean and six sigma according to which feasibility of their complex application are developed. The mathematical model of integrated function of distribution is offered by means of which it is possible to predict development of behavior of processes in time. The algorithm of a technique of a research of indexes of suitability of process is developed. Is carried out the analysis of production process of sewing of AIRBAG to automobile cover, using methodology of the theory of constraints, and are constructed cause and effect chains of undesirable defects of the rupture of SAB seam, key shortcomings of processes to which it is necessary to pay attention and which improvement on a production stage will provide quality of production processes and products are determined. Numerous researches on definition of models of distribution of random variables on the basis of the obtained data are executed. The intellectual system is developed for a research of indexes of suitability of processes. It is developed and introduced in practice a technique of a research of suitability of processes.

**Key words:** production process, product quality, statistical method, distribution law, cause and effect diagram, methodology, control.

### АННОТАЦИЯ

**Мороз Л. В. Нормативно-методическое обеспечение статистического контроля производственных процессов и качества продукции. – На правах рукописи.**

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.01.02 – стандартизация, сертификация и метрологическое обеспечение. Национальный университет «Львівська політехніка», Министерства образования и науки Украины, Львов, 2016.

Диссертация посвящена вопросу разработки и внедрения нормативно-методического обеспечения статистического контроля производственных

процессов и качества продукции. Обоснованы пути применения статистических методов на предприятиях специфических отраслей на основе анализа классификации систем и требований гармонизированных стандартов ДСТУ ISO серии 9000. Развито соединение методологий теории ограничений, бережливого производства и шести сигм, согласно которому доказана целесообразность их комплексного применения для улучшения качества изготовления продукции и контроля производственных процессов. Предложена математическая модель производственного процесса с учетом интегральной функции распределения, с помощью которой можно прогнозировать развитие его поведения во времени. Развита методика исследования пригодности процесса, который учитывает законы распределения показателей качества отличных от нормального, и позволяет выбрать подходящий алгоритм установления их пригодности. Целью исследования было определение систематических воздействий и эффективности мероприятий по улучшению производственного процесса изготовления продукции на основе анализа распределений неопределенностей. Расшифровывая распределения неопределенностей измеренных параметров для различных ситуаций, можно давать рекомендации по оптимизации производственных процессов. Необходимо определять контрольные пределы допуска контролируемых характеристик и выяснить предпосылки для возможностей эффективного управления соответствующими производственными процессами. Проведен анализ производственного процесса пришивания подушки безопасности к автомобильному чехлу с применением методологии теории ограничений, построено "дерево текущей реальности" причинно-следственных цепей нежелательных дефектов разрыва шва где пришивается автомобильная подушка безопасности, на основе чего определены ключевые недостатки процессов, на которые следует обратить внимание и улучшение которых на стадии производства обеспечит качество производственных процессов и выпускаемой продукции. Выполнены многочисленные исследования по определению моделей распределения случайных величин на основе полученных данных. Разработана интеллектуальная система для исследования индексов пригодности процессов, реализация которой дает возможность контролировать стабильное функционирование производственных процессов, а также определять индексы пригодности любого процесса или отдельной операции, и системы в целом.. Разработано и внедрено в практику методологию исследования пригодности процессов.

**Ключевые слова:** производственный процесс, качество продукции, статистический метод, закон распределения, причинно-следственная диаграмма, методология, контроль.