

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
ім. ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

Приладобудівний факультет
Кафедра інформаційно-вимірювальних технологій

«На правах рукопису»
УДК 681.5

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри
_____ В.С. Єременко
(підпис) (ініціали, прізвище)

“ ____ ” _____ 2021р.

Магістерська дисертація

на здобуття ступеня магістра

зі спеціальності: 152 «Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка»
(код і назва)

на тему: «Модернізація контрольних карт в інформаційно-вимірювальних системах»

Виконав: студент VI курсу, групи ПА-01мп
(шифр групи)

_____ Лущик Дмитро Вікторович _____
(прізвище, ім'я, по батькові) (підпис)

Науковий керівник:

_____ професор кафедри ІВТ, д.т.н., професор, Володарський Є.Т. _____
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали) (підпис)

Консультант розділу «Розробка стартап-проекту»:

_____ професор, д.е.н., професор, Бояринова К.О. _____
(науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали) (підпис)

Рецензент:

_____ доцент, к.т.н., доцент, Нікітін О.К. _____
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали) (підпис)

Засвідчую, що у цій магістерській
дисертації немає запозичень з праць
інших авторів без відповідних посилань.
Студент _____
(підпис)

Київ – 2021 року

**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського»**

Інститут (факультет) Приладобудівний факультет
(повна назва)

Кафедра Інформаційно-вимірювальних технологій
(повна назва)

Рівень вищої освіти – другий (магістерський)

Спеціальність 152 «Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка»
(код і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ В.С. Єременко
(підпис) (ініціали, прізвище)

«__» _____ 2021 р.

ЗАВДАННЯ
на магістерську дисертацію студенту
Луцику Дмитру Вікторовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема дисертації «Модернізація контрольних карт в інформаційно-вимірювальних системах»,

науковий керівник дисертації Володарський Євген Тимофійович, доктор технічних наук, професор,
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від «03» листопада 2021 р. № 3664-с

2. Термін подання студентом дисертації 14 грудня 2021 р.

3. Об'єкт дослідження Статистичний контроль стабільності відтворення процесів

4. Предмет дослідження Застосування контрольних карт в інформаційно-вимірювальних системах

5. Перелік завдань, які потрібно розробити 1) провести огляд інформаційно-вимірювальних систем; 2) зробити огляд та аналіз контрольних карт в ІВС; 3) провести критичний аналіз різновидів контрольних карт; 4) розробити та дослідити модифікований метод ковзної регресії; 5) підготувати та оформити магістерську дисертацію

6. Орієнтовний перелік ілюстративного матеріалу _____

7. Орієнтовний перелік публікацій дві статті науково-практичних конференцій за результатами дисертаційних досліджень _____

8. Консультанти розділів дисертації*

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Розробка стартап-проєкту	Бояринова К.О., професор кафедри менеджменту підприємств		

9. Дата видачі завдання 01.09.2021 р.

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	Ознайомлення із завданням дисертації	01.09.2021 – 07.09.2021	
2	Проведення огляду літературних джерел	07.09.2021 – 21.09.2021	
3	Проведення огляду інформаційно-вимірювальних систем	21.09.2021 – 30.09.2021	
4	Проведення огляду та аналізу контрольних карт в ІВС	30.09.2021 – 25.10.2021	
5	Проведення критичного аналізу різновидів контрольних карт	25.10.2021 – 13.11.2021	
6	Розробка та дослідження модифікованого методу ковзної регресії	13.11.2021 – 20.11.2021	
7	Підготовка та оформлення магістерської дисертації	20.11.2021 – 01.12.2021	
8	Подання магістерської дисертації для перевірки науковому керівнику	01.12.2021	
9	Захист МД	15.12.2021	

Студент

(підпис)

Д.В. Луцик
(ініціали, прізвище)

Науковий керівник дисертації

(підпис)

Є.Т. Володарський
(ініціали, прізвище)

* Консультантом не може бути зазначено наукового керівника магістерської дисертації.

РЕФЕРАТ

Магістерська дисертація на тему «Модернізація контрольних карт в інформаційно-вимірювальних системах» розглядає питання підвищення оперативності виявлення розладу технологічного процесу контрольними картами в інформаційно-вимірювальних системах.

Проведено аналіз інформаційно-вимірювальних систем та описана загальна характеристика контрольних карт.

Проведено критичний аналіз різних видів контрольних карт, зокрема їх чутливості, на підставі чого визначена перевага контрольних карт кумулятивних сум.

На основі контрольних карт кумулятивних сум розглянуто модернізацію з використанням методу ковзної регресії. Зроблено експериментальні дослідження даної модифікації, зокрема визначена швидкодія виявлення розладу процесу в залежності від величини зміщення та числа послідовних контрольних точок, за якими будується ковзна лінія регресії.

Враховуючи встановлені переваги дослідженої модифікації, проведено на її основі розробку стартап-проєкту інформаційно-вимірювальної системи контролю якості виробничих процесів.

Головні положення та результати досліджень магістерської дисертації були оприлюднені, обговорені та схвалені на XVII Всеукраїнській науково-практичній конференції студентів, аспірантів та молодих вчених «Ефективність та автоматизація інженерних рішень у приладобудуванні».

Дисертаційна робота складається зі вступу, 4 розділів, висновків, списку використаних джерел із 23 найменувань, 1 додатку. Наведено 12 рисунків та 29 таблиць. Загальний обсяг роботи складає 94 сторінки.

Ключові слова: контрольні карти, інформаційно-вимірювальні системи, чутливість, розладнання процесу, метод ковзної регресії.

ABSTRACT

The master's dissertation on the topic "Modernization of control charts in information-measuring systems" considers the issue of increasing the efficiency of detecting technological process disorders by control charts in information-measuring systems.

The analysis of information-measuring systems is carried out and the general characteristic of control charts is described.

A critical analysis of different types of control charts, in particular their sensitivity, based on which the predominance of cumulative control charts was determined.

On the basis of cumulative sum charts, modernization using the method of sliding regression is considered. Experimental studies of this modification have been made, in particular, the speed of detecting a process disorder depending on the magnitude of the offset and the number of consecutive control points at which the sliding regression line is built is determined.

Taking into account the established advantages of the studied modification, a startup project of the information-measuring system of quality control of production processes was developed on its basis.

The main provisions and results of research of the master's dissertation were published, discussed and approved at the XVII All-Ukrainian scientific-practical conference of students, graduate students and young scientists "Efficiency and automation of engineering solutions in instrument making".

The dissertation consists of an introduction, 4 chapters, conclusions, a list of sources used from 23 titles, 1 addition. There are 12 figures and 29 tables. The total volume of the work is 94 pages.

Keywords: control charts, information-measuring systems, sensitivity, process disorder, sliding regression method.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ ТА СКОРОЧЕНЬ.....	8
ВСТУП.....	9
1. КОНТРОЛЬНІ КАРТИ В ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНИХ СИСТЕМАХ.....	11
1.1 Аналіз інформаційно-вимірювальних систем.....	11
1.2 Контрольні карти в ІВС.....	14
1.2.1 Загальні відомості про контрольні карти.....	14
1.2.2 Контрольні карти кількісних і альтернативних даних.....	20
1.2.3 Формування контрольних вибірок для проведення досліджень.....	21
Висновки до розділу 1.....	23
2. АНАЛІЗ РІЗНОВИДІВ КОНТРОЛЬНИХ КАРТ.....	25
2.1 Контрольні карти Шухарта (ККШ).....	25
2.1.1 Загальні відомості про ККШ.....	25
2.1.2 Типи ККШ.....	25
2.1.3 Побудова ККШ.....	28
2.1.4 Типи помилок ККШ.....	30
2.1.5 Етапи застосування ККШ.....	31
2.2 Карти середніх значень і розмахів	33
2.3 Контрольні карти індивідуальних значень та ковзних розмахів.....	34
2.4 Контрольні карти медіан і розмахів.....	35

2.5 Контрольні карти кумулятивних сум.....	36
2.6 Чутливість різновидів контрольних карт.....	39
Висновки до розділу 2.....	42
3. РОЗРОБКА ТА ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДУ КОВЗНОЇ РЕГРЕСІЇ.....	43
3.1 Теоретичне обґрунтування методу ковзної регресії.....	43
3.2 Експериментальні дослідження.....	49
Висновки до розділу 3.....	60
4. РОЗРОБКА СТАРТАП-ПРОЄКТУ «FAST CONTROL CHARTS».....	61
4.1 Опис та технологічний аудит ідеї стартап-проєкту.....	61
4.2 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проєкту.....	64
4.3 Розроблення ринкової стратегії стартап-проєкту.....	74
4.4 Розроблення маркетингової програми стартап-проєкту.....	77
Висновки до розділу 4.....	81
ВИСНОВКИ.....	83
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	85
ДОДАТОК А. ОПУБЛІКОВАНІ СТАТТІ.....	88

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ ТА СКОРОЧЕНЬ

- IBC – інформаційно-вимірювальна система;
CUSUM-карта – карта кумулятивних сум;
ККШ – контрольна карта Шухарта;
СДС – середня довжина серії;
СКВ – середньоквадратичне відхилення ;
ЦЛ – центральна лінія;
ВКМ – верхня контрольна межа;
НКМ – нижня контрольна межа;
X-карта – контрольна карта індивідуальних значень;
R-карта – карта розмахів;
 R_m -карта – контрольна карта ковзних розмахів;
 δ – допустиме зміщення процесу;
 σ – стандартне відхилення процесу;
 σ^2 – дисперсія;
 μ – опорне значення процесу;
 Δ – зміщення відносно опорного значення μ .

ВСТУП

Актуальність теми. Забезпечення якості виготовленої продукції чи наданих послуг у всі часи є актуальним питанням. Для того, щоб залишатись конкурентноздатними на ринку, необхідно завжди підвищувати якість свого продукту і в той же час знижувати різного виду витрати. Таким чином, сьогодні дуже активізована діяльність з управління якістю продукції, адже бездіяльність коштує дорожче. Тому, важливою є розробка, дослідження та покращення інструментів, які дозволяють проводити контроль якості, перевіряючи за певною методологією параметри виробничого процесу та надаючи відповіді про можливі причини відхилень від цільових значень. Одним із таких інструментів є контрольні карти в інформаційно-вимірювальних системах.

Мета роботи. Підвищення оперативності виявлення розладнання технологічного процесу, для чого розробити та дослідити чутливість методу ковзної регресії в залежності від зміщення процесу та числа послідовних контрольних точок, за якими будується ковзна лінія регресії.

Об'єкт дослідження. Статистичний контроль стабільності відтворення процесів.

Предмет дослідження. Застосування контрольних карт в інформаційно-вимірювальних системах.

Методи дослідження. Проведення експериментальних досліджень на базі імітаційного моделювання процесів з можливими його зміщеннями, при використанні розробленого програмного забезпечення на базі мови програмування Python.

Результати роботи та їхня новизна. Результатом магістерської роботи є вперше отримання даних оперативності виявлення розладнання технологічного процесу модернізованим методом ковзної регресії в залежності від величини зміщення та числа послідовних контрольних точок, за якими будується ковзна лінія регресії.

Також було досліджено чутливість інших різновидів контрольних карт, їх види, правила побудови, переваги та недоліки.

Було проведено аналіз можливості впровадження сучасної інформаційно-вимірjuвальної системи контролю якості виробничих процесів на базі контрольних карт з використанням модифікованого методу ковзної регресії, що дозволило б виробникам вирішити проблему несвоєчасного виявлення неякісних товарів чи наданих послуг, в результаті чого уникнути економічних та іміджевих втрат.

Рекомендації щодо використання результатів роботи. Отримані результати роботи можна використовувати при побудові ефективних інформаційно-вимірjuвальних систем контролю розладнання технологічних процесів, в основному на виробничих підприємствах або в наукових лабораторіях.

Апробація дисертації. Основні результати теоретичної і практичної роботи були оприлюднені, обговорені та схвалені на XVII Всеукраїнській науково-практичній конференції студентів, аспірантів та молодих вчених «Ефективність та автоматизація інженерних рішень у приладобудуванні» (Київ, 2021).

Публікації. За результатами проведеної роботи було написано 2 статті: «Швидкодія методу ковзної регресії» та «Чутливість різновидів контрольних карт», які опубліковані в Збірнику праць XVII Всеукраїнської науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених «Ефективність та автоматизація інженерних рішень у приладобудуванні», Київ, 07-08 грудня 2021 рік.

Структура та обсяг дисертації. Дана робота складається зі вступу, 4 розділів, висновків, списку використаних джерел із 23 найменувань та 1 додатку. Наведено 12 рисунків та 29 таблиць. Загальний обсяг роботи складає 94 сторінки.

1. КОНТРОЛЬНІ КАРТИ В ІНФОРМАЦІЙНО-ВІМІРЮВАЛЬНИХ СИСТЕМАХ

1.1 Аналіз інформаційно-вимірювальних систем

Інформаційно-вимірювальна система (ІВС) – це сукупність функціонально об'єднаних вимірювальних, обчислювальних та інших допоміжних технічних засобів для отримання вимірюваної інформації, її перетворення та обробки з метою її подання оператору в зручному вигляді для подальшого прийняття відповідного рішення [1].

Таким чином, основою даних систем є вимірювання – процес знаходження значення фізичної величини дослідним шляхом за допомогою спеціальних технічних засобів, при цьому отримуючи числове значення, яке характеризує вимірювану величину [2].

Будь-яке технічне обладнання під час роботи визначається технологічним процесом, що характеризується певним набором фізичних параметрів. Досягнення надійного протікання процесу роботи технічного обладнання можливе тільки при умові присутності постійного моніторингу та контролю з боку ІВС, що встановлюються на даному обладнанні для отримання та обробки інформації щодо стану об'єкта в умовах впливу на нього зовнішніх чинників.

Контроль – це визначення відповідності між реальним станом досліджуваного об'єкта та заданою для нього нормою [2]. У сучасному світі стрімко збільшується перелік об'єктів, які потребують контролю, а також постійно зростає кількість параметрів, які люди хочуть тримати в заданих рамках, тому логічним є те, що, при такому великому обсягу інформації, неможливо обходитись без автоматизованих ІВС.

ІВС виконує наступні функції:

- збір інформації з досліджуваного процесу;
- обробка зібраної інформації;
- подача результатів обробки у зручному для людини вигляді.

Будова ІВС складається з різних технічних пристроїв, які використовуються для виконання функцій, що перелічені вище. До таких компонентів відносять вимірювальні, сполучні, обчислювальні та інформаційні пристрої.

Вимірювальні пристрої ІВС – це засоби вимірювання, тобто прилади, які безпосередньо знімають покази з об'єкту. Дані пристрої по характеру перетворень бувають аналого-цифровими та цифро-аналоговими.

Сполучні компоненти ІВС використовуються для передачі сигналів з мінімальними спотвореннями між всіма елементами системи.

Обчислювальні пристрої ІВС – це пристрої з програмним забезпеченням, яке забезпечує обробку результатів вимірювань за допомогою різних методів та алгоритмів, для отримання висновків про стан стабільності процесу.

Інформаційні пристрої ІВС – це такі засоби, що надають змогу зберігати, перетворювати, обробляти та передавати інформацію, тобто по суті це засоби пам'яті системи.

ІВС може використовуватись як самостійна система, так і бути у складі інших більш складних систем, наприклад в складі керуючої системи, що робить не лише збір, обробку та відображення інформації, а і сама безпосередньо впливає на процес, тобто корегує його у разі виникнення відхилень від заданих значень або при виникненні необхідності запланованої зміни рівня параметрів процесу.

ІВС мають певні особливості, в зв'язку з якими можуть виникати деякого роду проблеми. Однією з таких рис є наявність у складі системи електронно-обчислювальної техніки, що породжує завдання постійної оцінки якості та швидкодії алгоритмів, а також самих технічних характеристик комп'ютерів. Проте, це дозволяє одночасно оброблювати велику кількість інформації з різних джерел причому з високою частотою звернень до кожного з досліджуваних елементів, що в результаті може надати широкого уявлення про стан речей на виробництві. Але, цей значний розподіл елементів у просторі

вимагає проведення постійних досліджень впливу різних умов експлуатації на точність вимірювань.

ІВС властива багатоканальність, яка зумовлює проведення оцінки впливу одних каналів на інші, за результатами якої необхідно впроваджувати рішення про виключення певних каналів, або забезпечення меншого їх впливу. Також, багатоканальність породжує складність системи, а отже і опису всіх об'єктів та їх моделювання, що викликає складність підрахунку точності вимірів, особливо в умовах недостатньої кількості вихідних даних, що не рідко буває на виробництвах.

За функціональністю ІВС поділяють на декілька різновидів. Першими є вимірювальні системи, основною функцією яких є отримання кількісної інформації про величину фізичних величин методом прямих, сукупних чи непрямих вимірювань.

Другим різновидом виділяють системи автоматичного контролю, основною функцією яких є встановлення відповідності між нинішнім станом досліджуваного процесу й заданою нормою. Також бажаним для систем контролю є можливість прогнозування стану об'єкта в майбутньому на основі наявних даних, проте здебільшого надається характеристика стану процесу шляхом визначення того, чи не виходять виміряні параметри за встановлені різними способами та методами граничні межі.

Третім різновидом ІВС визначають системи технічної діагностики, основною функцією яких є контроль стану технічних пристроїв на предмет відмови чи виходу з ладу. Для таких систем характерним є використання спеціальних методів для пошуку і перевірки несправностей елементів.

Інколи, виділяють четвертий вид, який по своїй суті є системою розпізнавання образів, тобто функцією таких систем є визначення відповідності між досліджуваним об'єктом та попередньо заданим образом, патерном [3]. Прикладами таких образів можуть бути візуальні зображення людей, тварин, або ж певних явищ.

В даній роботі будуть досліджуватись ІВС автоматичного контролю з використанням контрольних карт як засобів встановлення граничних меж для досліджуваних процесів, що також дозволяє спостерігати вимірювану інформацію та результати обчислень у зручному графічному вигляді.

1.2 Контрольні карти в ІВС

При будь-якому виробничому процесі чи наданні послуг існує мінливість параметрів продукту внаслідок наявності великої кількості випадкових або постійних факторів, що призводять до відхилень параметрів технологічних процесів, таким чином дослідження такої мінливості надає можливість виявити причини та запобігти різним видам втрат для виробника, а також забезпечити знаходження процесу у статистично керованому стані [4]. Основним інструментом статичного управління процесами, який використовується в ІВС автоматичного контролю, є контрольні карти.

1.2.1 Загальні відомості про контрольні карти

Контрольна карта – графічний спосіб зображення даних про стан процесу, що дозволяє візуалізувати мінливість процесу [5].

Теорія контрольних карт виокремлює два види мінливості. Мінливість першого виду викликана випадковими причинами, які ще називають загальними, неконтрольованими, внутрішніми, природними. Даний вид мінливості обумовлений набором різноманітних причин, які присутні постійно та які важко чи навіть неможливо виявити. Кожна з таких причин складає дуже незначну частку від загальної мінливості і жодна з них не переважає інші. Вплив всіх цих незначних причин є вимірюваним, і вважається, що він формує внутрішню мінливість процесу. Усунення чи зменшення впливу випадкових причин вимагає прийняття відповідного рішення та виділення певних ресурсів для зміни процесу та системи.

Мінливість другого виду є реальною зміною в процесі, яка може бути наслідком певних причин, які не притаманні процесу. Ці причини називають особливими, або ж спеціальними, систематичними, неприродними. Вони можуть бути ідентифіковані та усунені, принаймні теоретично. Такими причинами можуть бути, наприклад, неоднорідність матеріалів, вихід із ладу інструментів, некоректна робота контрольного чи виробничого устаткування, порушення процедур чи зміна нормальних виробничих умов тощо.

Процес знаходиться у стані статистичної керованості, якщо мінливість викликана лише випадковими причинами. Щойно даний рівень мінливості визначений, будь-яке відхилення від нього вважається впливом особливих причин, які необхідно ідентифікувати та виключити. Для цього і використовують контрольні карти.

Контрольні карти дозволяють:

- визначити стабільність процесу, тобто чи перебуває він у стані статистичної керованості;
- оцінити власну мінливість процесу;
- порівняти інформацію з вибірок, які є наочним відображенням стану процесу, з граничними межами, які є відображенням його мінливості, з метою оцінки того, чи залишився процес стабільним та чи зменшилась його мінливість чи ні;
- ідентифікувати, дослідити та при наявності можливості зменшити або усунути вплив постійних причин мінливості, які можуть призвести до неприпустимого рівня функціонування;
- використовувати для керування процесом дані про його мінливість (наявність певного тренду серії, циклів тощо);
- визначити передбачуваність процесу, його відповідність встановленим вимогам;
- використовуючи статистичні моделі, забезпечити регулювання процесу на основі прогнозу його поведінки;
- оцінювати результативність системи вимірів.

Також контрольні карти можуть використовуватися задля безперервної реєстрації параметрів якості під час роботи процесу. Більш того, контрольні карти мають можливість виявляти нестандартні структури варіації даних, що виникають у періодичних процесах, а також забезпечують критерії виявлення втрати статистичної керованості. При ретельному використанні контрольних карт та їх детальному аналізі, можна досягти кращого розуміння процесів, що сприяє виявленню нових шляхів отримання додаткових цінностей.

Головними перевагами контрольних карт є легкість їх формування та використання. Це дозволяє оператору виробництва або обслуговування стежити за поведінкою процесу у режимі реального часу. Однак для того, щоб контрольна карта була достовірним та ефективним індикатором стану процесу, необхідно на стадії планування приділити особливу увагу вибору типу контрольної карти.

Для побудови контрольних карт, через певні інтервали часу відбирають підгрупи одиниць продукції встановленого обсягу, котрим визначають значення характеристики чи наявність ознаки. Отримані таким чином дані, як правило, подають у вигляді відповідної статистики, яку відображають на контрольній карті. Типова контрольна карта складається з центральної лінії, яка відображає рівень, навколо якого в середньому змінюється контрольована статистика. Також, на контрольній карті є дві лінії, які називаються контрольними межами, які розташовані по обидві сторони від центральної лінії і визначають область у вигляді смуги, в межах якої статистична величина в середньому змінюється випадковим чином, якщо процес знаходиться в статистично керованому стані.

Дві контрольні межі використовують для ухвалення рішення про стан процесу. Граничні межі визначають ширину смуги, яка частково залежить від власної мінливості процесу. Якщо отримана статистика перебуває всередині смуги, роблять висновок, що процес знаходиться у стані статистичної керованості, а тому може функціонувати без змін. Однак значення статистики поза межами контрольних меж вказує, що процес може бути

неконтрольованим. Контрольна карта в цьому випадку сигналізує, що може існувати певна причина мінливості і необхідно вплинути на процес.

Впливи на процес, які можуть бути здійснені, включають:

- проведення досліджень для визначення джерел причини мінливості з метою усунення її впливу у майбутньому;
- регулювання процесу;
- продовження функціонування процесу з урахуванням оцінки ризику;
- зупинення процесу та проведення коригувальних дій;
- у випадках, коли причини розладу дають позитивні наслідки (наприклад, при вдосконаленні процесу), збереження дії даної причини для того, щоб вона стала постійною.

Інколи на контрольну карту наносять ще дві межі – попереджувальні межі. Якщо за результатами спостережень точка знаходиться поза попереджувальними межами, але всередині контрольних меж, то, незважаючи на те, що ніяких впливів на процес не потрібно робити, необхідно звернути увагу на процес для виявлення наявності або відсутності певного чинника мінливості процесу. У цьому випадку може бути доцільним скорочення інтервалу часу між відбором вибірок та збільшення обсягу вибірок для визначення змін процесу.

Для прийняття рішення про стан процесу використовують додаткові правила, засновані на аналізі розташування даних усередині контрольних меж. Ці правила часто називають правилами прийняття рішень.

В основному, якщо процес перебуває у статистично керованому стані, можна достовірно передбачити його поведінку, тоді як за наявності причин відхилень поведінка процесу не може бути спрогнозованою без інформації про наявність та вплив цих причин. Процес, що не перебуває у стані статистичної керованості, є неконтрольованим і потребує зусиль його приведення у статистично керований стан.

Контрольні карти використовують не лише для контролю стабільності процесу, а і для прийняття рішень про прийнятність процесу. Якщо процес перебуває у стані статистичної керованості, то можна ухвалити рішення з відповідним рівнем помилок, чи відповідає результат роботи процесу встановленим вимогам. Таке застосування контрольної карти найбільш ефективне, коли мінливість процесу не така велика у порівнянні зі встановленим допуском. У таких ситуаціях рівень процесу може тимчасово наблизитися до межі неконтрольованого стану, хоча продукція та послуги все ще відповідають встановленим вимогам. Контрольну карту у цьому випадку використовують для забезпечення прийнятного статусу процесу, незважаючи на зміни рівня процесу.

Якщо під впливом причин, які можна усунути, з'являється дрейф рівня процесу, наприклад при контролі концентрації певної речовини в партії, то керуючи концентрацією компенсаційної складової, можна регулювати рівень процесу. У цій ситуації можуть бути використані спеціально розроблені контрольні карти, що дозволяють визначити, коли та як необхідно відрегулювати процес, щоб компенсувати такі дії. Такий тип контролю часто призводить до суттєвого зменшення мінливості процесу. Зокрема, він гарантує, що регулювання процесу не виконуватиметься частіше, ніж необхідно, що може збільшити власну мінливість процесу.

Іноді неможливо привести процес у стан статистичної керованості або підтримувати його на цьому рівні, адже певна кількість відхилень може зникати або помітно зменшувати свій вплив. Причини таких відхилень можуть бути невідомими або їхнє усунення може вимагати великих витрат. В даному випадку, контрольні карти застосовують не для виявлення невідповідностей, а для підтримки процесу у межах цільового рівня. Це потребує застосування моделей прогнозування поведінки процесу, які дають змогу передбачити що буде, якщо процес функціонуватиме без будь-яких змін і при виконанні невідкладних дій регулювання процесу для перешкоджання відхиленням процесу від цільового рівня. Беручи до уваги, що параметри

моделі, які використовуються для прогнозування поведінки процесу, значною частиною залежать від його особливостей, потрібно розуміти, що контрольні карти для регулювання процесу мають бути побудовані з урахуванням цих особливостей.

Загалом, прогноз рівня процесу заснований на припущенні про те, що процес і далі зберігатиме тенденції зміни, що спостерігаються. При наявності гарної моделі прогнозу, її використання може бути дуже ефективним для зменшення мінливості процесу. Натомість, застосування занадто грубої моделі може призвести до збільшення мінливості процесу. Ефективність моделі прогнозу можна оцінити за допомогою фіксування на контрольній карті спрогнозованих та фактичних значень та подальшої перевірки прогнозованого статистично керованого стану.

Регулювання процесу в загальному випадку засноване на наступному:

- прогнозування наступного спостереження на основі використання моделі прогнозу;
- оцінці різниці між прогнозованим та цільовим значеннями;
- якщо можливо, зменшення даної різниці шляхом зміни контрольованих показників.

Оцінюючи стан керованості процесу з урахуванням встановлених правил прийняття рішень та даних обмеженої вибірки, можуть бути прийняті помилкові рішення двох типів – помилка першого та помилка другого роду.

Помилка першого роду виникає тоді, коли на основі спостережень, нанесених на контрольну карту, приймається рішення про те, що процес не перебуває у стані статистичної керованості, тому потрібні коригувальні дії, тоді як насправді процес функціонує в межах впливу випадкових величин. Отже, процес помилково оголошують нестабільним. Помилкою першого роду і називають імовірність такої помилки.

Помилка другого роду виникає тоді, коли під впливом певного фактору процес є нестабільним, але на основі даних, нанесених на контрольну карту, приймається рішення про те, що процес є стабільним. Поки дані на контрольній

карті не покажуть справжнього стану процесу, його помилково вважатимуть стабільним. Імовірність такої помилки називають помилкою другого роду.

Помилки першого і другого роду залежать від контрольних меж, правил прийняття рішення та обсягу вибірки, відповідна комбінація яких дозволяє обмежити помилки.

1.2.2 Контрольні карти кількісних і альтернативних даних

Контрольні карти можуть використовуватись для двох типів даних - кількісних та альтернативних.

Кількісні дані – це результати досліджень, що записуються у вигляді числових значень контрольованого показника, в результаті чого утворюється певна безперервна шкала зміни цього показника.

Альтернативні дані – це результати досліджень, що відображають наявність або відсутність певної ознаки або атрибуту для кожної одиниці досліджуваної вибірки, і підрахунку числа одиниць, що мають чи не мають цю ознаку, або кількості таких ознак, що є в одній одиниці [6]. Результати потім подають у вигляді частоти або відсотка.

В основному контрольні карти, які використовуються для кількісних даних (ще називають картами контролю за кількісною ознакою), відрізняються від контрольних карт, що використовуються для альтернативних даних, за видом розподілів контрольованих характеристик.

У більшості випадків карти контролю за кількісною ознакою застосовують в тих випадках, коли результати спостережень є статистично незалежними і можуть бути описані нормальним розподілом. В результаті використовують два види контрольних карт: для контролю середнього та для контролю мінливості процесу. На карті першого виду мірою положення використовують вибіркове середнє, медіану або єдину характеристику, що вимірюється. На карті другого виду мірою розкиду або мінливості в межах вибірки використовують стандартне відхилення, вибірковий розмах або абсолютну різницю двох послідовних спостережень, якщо вибірка містить

лише одну одиницю продукції за одиницю часу. Для ефективного контролю за кількісною ознакою застосовують обидва види карт.

Відстань між контрольними межами на контрольній карті середнього є функцією мінливості, що контролюється по карті розкиду. Тому важливо упевнитись при побудові контрольної карти середнього, що процес є статистично стабільним щодо власного розкиду.

У більшості випадків при застосуванні карт контролю за альтернативною ознакою використовують біномний розподіл або розподіл Пуассона. Кожен із цих розподілів має єдиний параметр, який контролюють для оцінки стабільності процесу. Таким чином, у разі контролю за альтернативною ознакою застосовують єдину контрольну карту. Контрольні межі такої карти знаходять на основі обсягу вибірки та кількості невідповідних одиниць виміряної величини [5].

1.2.3 Формування контрольних вибірок для проведення досліджень

Найважливішим елементом збору даних є вибір контрольованих характеристик та ідентифікація місця чи стадії контролю. Спосіб збору даних має фундаментальне значення при використанні контрольних карт для ефективного розпізнавання випадкових та постійних чинників. На основі розуміння особливостей процесу і даних, що збираються, слід приділити особливу увагу тому, як формувати вибірки або підгрупи та якими повинні бути їх обсяги і частота збору.

До виконання дій щодо управління процесом важливо забезпечити валідацію процесу вимірювань. Мінливість, пов'язану з процесом вимірювання, необхідно оцінити і переконатися, що процес здатний виявляти відхилення в продукції, а сигнали контрольних карт не містять помилок вимірювання.

Вибірки – це підгрупи вимірюваних одиниць, отриманих з контрольованого процесу та відібрані відповідно до встановленого способу. В якості даних про характеристики продукції використовують такі статистики, як

число невідповідностей, середнє арифметичне або розмах, які обчислюють та відображають на контрольній карті.

Раціональні вибірки чи підгрупи слід відбирати так, щоб кожна підгрупа була настільки однорідною, наскільки дозволяє процес. Передбачається, що у межах раціональної підгрупи, зміни можуть бути викликані лише випадковими величинами. Ці чинники є джерелами власної мінливості процесу протягом довгого часу. Раціональні підгрупи відбирають для виявлення постійних величин мінливості між підгрупами. Короткострокову мінливість вимірюють, використовуючи мінливість у межах послідовності однорідних підгруп, і на її основі визначають положення контрольних меж на контрольній карті, тоді як довгострокову мінливість оцінюють по змінам між підгрупами. Гарною основою для формування підгруп є час, оскільки такий підхід дозволяє виявити постійні фактори, поява яких потребує певного часу. Однак, інші підстави, такі як необхідність вивчити мінливість від оператора до оператора або від машини до машини, можуть вимагати формування підгруп, заснованих на групуванні цих операторів, машин.

Раціональна підгрупа має відбивати вплив всіх причин випадкових змін. Наприклад, серія повторних вимірювань зразку матеріалу може не відображати впливу розташування зразка в приладі або способу його отримання. В таких умовах повторні спостереження дають нереалістичну низьку оцінку власної мінливості вимірів. Таким чином, майже за будь-яким фактичним виміром, процес буде оцінений як нестабільний.

Важливим параметром вибірок є їх кількість. Обсяг вибірки має бути таким, щоб він міг забезпечити можливість виявлення невеликих змін процесу та низький ризик невиявлення постійних факторів. Великий обсяг вибірки є більш дорогим, але забезпечує більш точну оцінку процесу, а значить і ефективніший контроль. Проте, якщо вибірка є занадто великою, постійні чинники можуть впливати на процес у період відбору вибірки, викликаючи збільшення мінливості всередині вибірки, і, таким чином, контрольні межі

можуть виявитися занадто широкими, що може призвести до великої кількості невиявлених постійних факторів.

При контролі за альтернативною ознакою, необхідний обсяг вибірки для виявлення змін зазвичай повинен бути істотно більшим, ніж обсяг вибірки для контролю за кількісною ознакою, оскільки дані контролю за альтернативною ознакою містять набагато менше інформації, ніж дані контролю за кількісною ознакою [5].

У деяких випадках формування підгрупи є нераціональною операцією і доцільно збирати інформацію щодо окремих одиниць вимірюваної величини. Це стосується ситуацій, коли контроль має руйнівну дію на процес, або вибір вибірки вимагає великих витрат, або ж коли повторні вимірювання процесу відрізняються лише помилками аналізу або похибкою приладу вимірювання.

Також важливим параметром роботи з вибірками є частота їх відбору. Частота відбору вибірок залежить від величини змін процесу, яку необхідно своєчасно виявити, а також вартості процесу, що функціонує в стані відсутності статистичної керованості. Таким чином, чим менше змін, які необхідно виявити, тим більше вибірок заданого розміру повинно бути відібрано до появи сигналу на карті. Скорочення періоду між відборами вибірок скорочує період виявлення таких відхилень процесу, що призведе до виготовлення продукції неналежної якості. Періодичність відбору вибірок слід призначати так, щоб вона не збігалася з періодом зміни параметрів, які можуть викликати зміну процесу. Наприклад, відбір вибірки на початку робочого дня, коли температура є нижчою ніж в кінці дня, або відбір кожної тридцятої одиниці продукції на початку партії або на початку зміни.

Висновки до розділу 1

В даному розділі було розглянуто важливість вимірювання та контролю технологічних процесів, проаналізовано інформаційно-вимірювальні системи, які використовуються для даних цілей, визначені функції ІВС, їх будову,

різновиди та особливості. Було розглянуто контрольні карти, які використовуються в ІВС автоматичного контролю для аналізу стану досліджуваного процесу, проаналізовані переваги та недоліки їх використання, головні можливості та способи роботи з процесами, можливі види помилок, що виникають під час досліджень. Було наведено інформацію про контрольні карти для кількісних і альтернативних даних, їх відмінності та специфіку застосування. Розглянуто важливість правильного формування контрольних вибірок для проведення досліджень, вибір їх обсягу, кількості та частоти відбору.

2. АНАЛІЗ РІЗНОВИДІВ КОНТРОЛЬНИХ КАРТ

2.1 Контрольні карти Шухарта (ККШ)

2.1.1 Загальні відомості про ККШ

Контрольна карта Шухарта – це графік з контрольними межами Шухарта, що призначений для поділу причин мінливості контрольованої характеристики на випадкові та постійні. Вперше була запропонована доктором Уолтером Шухартом у 1924 році [7].

Для контрольних карт Шухарта потрібні дані, які отримують вибірково з процесу приблизно через однакові інтервали. Інтервали можуть задаватися за часом або за періодичністю виготовлення певної кількості продукції (наприклад кожна партія). В основному, дані формуються у вибірки або підгрупи, які складаються з однакової кількості одиниць продукції або послуг одного типу. Значення заданої характеристики підгрупи, відповідно до номера підгрупи, наносяться на контрольну карту.

2.1.2 Типи ККШ

ККШ поділяють на два основних типи: для кількісних та альтернативних даних. Перший тип даних є класичним застосуванням в управлінні процесами, адже карти за кількісними досліджуваними характеристиками мають наступні переваги:

- в більшості випадків продукція та процеси мають вимірні характеристики, тобто по суті кількісні дані, тому і застосовність таких карт є досить широкою;
- ККШ для кількісних даних більш інформативні, адже дозволяють отримати інформацію про середнє та дисперсію процесу, а також отримати сигнал про проблеми ще до їх фактичної появи;
- кількість підгруп для кількісних даних здебільшого значно менша при такій же ефективності, хоча і отримання цих даних, як правило,

дорожче, ніж альтернативних. Проте, менша кількість необхідних даних дає змогу зменшити тимчасовий розрив між виробництвом продукції та коригуючою дією;

- такі карти є візуальним засобом аналізу процесу незалежно від встановлених вимог, тобто розгляд карт та гістограм у певних інтервалах допомагає при розробці пропозицій щодо покращення процесу.

ККШ для кількісних даних описують стан процесу за допомогою показників розкиду та положення (середнього процесу). Тому ККШ для кількісних даних майже завжди використовують та аналізують парами – карта положення та карта мінливості процесу. Зазвичай, спершу аналізують карту мінливості процесу, адже вона забезпечує обґрунтування оцінки стандартного відхилення процесу, яка потім може бути використана при встановленні контрольних меж для карти положення.

Щодо контрольних карт за альтернативними даними, то спершу потрібно зрозуміти, що альтернативні дані – це спостереження, які визначають присутність або відсутність певних характеристик у кожній одиниці вибірки. Враховуючи ці дані, проводиться підрахунок кількості одиниць результатів, що мають цю ознаку, або відсоток таких подій серед групи чи більш широкої області. Зазвичай альтернативні дані отримуються швидко та дешево, причому для їхнього збору не потрібні спеціальні знання.

Здебільшого, велику увагу приділяють кількісним даним, але практичні дані з промислових виробництв показують, що більше ніж 80% проблем якості фінальної продукції пов'язані із альтернативними даними. Таким чином, варто не нехтувати використанням ККШ за альтернативними даними.

Що стосується ККШ для кількісних даних, прийнято будувати пару карт: одну для контролю середнього, другу для контролю мінливості, адже вихідний розподіл вважається нормальним, а отже і залежним від цих двох параметрів. А от для ККШ за альтернативними даними достатньо однієї карти, адже

передбачуваний розподіл має лише один незалежний параметр – середній рівень.

Розрахунки даних типів контрольних карт схожі, окрім випадків непостійності обсягів підгруп. Коли розмір вибірок постійний, то для кожної вибірки можуть бути застосовані одні й ті ж контрольні межі. Проте, якщо у кожній вибірці кількість контрольованих елементів різна, то контрольні межі повинні визначатися окремо для кожної вибірки, причому чим менший розмір вибірки – тим ширша смуга між цими межами, і навпаки. Якщо обсяг вибірки змінюється незначно, то можна обмежитися одними контрольними межами, що обрані на основі середнього розміру вибірок. На практиці достатньо, щоб обсяги вибірок перебували у межах $\pm 25\%$ від цільового розміру.

Проте, незалежно від того, ККШ для кількісних чи для альтернативних даних ми використовуємо, в обох ситуаціях можливі два випадки:

- значення параметрів процесу задані;
- значення параметрів процесу не задані.

Ці значення можуть бути задані на основі встановлених вимог, цільових значень або ж оцінок параметрів, які отримані на основі даних протягом тривалого часу, коли ще процес перебував у стані статистичної керованості.

Ціллю контрольних карт Шухарта, для яких не задані значення параметрів, є виявлення таких відхилень, які перевищують варіації, що викликані лише випадковими причинами. У цьому разі ККШ будуються лише за даними самого процесу. Такі контрольні карти використовують для виявлення мінливості, обумовленої не випадковими причинами, а також для надання процесу статистично керованого стану.

Ціллю контрольних карт Шухарта, для яких задані значення параметрів, є визначення того, що досліджувані характеристики для кількох підгруп, кожна з яких обсягом n спостережень, відрізняються від відповідних заданих значень більше, ніж можна очікувати при дії лише випадкових причин.

Отже, головною відмінністю карт із заданими параметрами та карт із не заданими параметрами є наявність додаткових вимог, які визначають параметри

положення центральної лінії та мінливості процесу. Допускається встановлення відповідних значень на основі досвіду, який отримано при використанні ККШ без апіорної інформації чи заданих значень, а також на основі економічних показників, що можуть задаватись після аналізу потреб в послугі чи аналізі вимог до кінцевої продукції. Проте, бажаним є варіант встановлення значень на основі досліджень попередніх даних, адже передбачається, що ці значення є типовими для усіх майбутніх даних. Для ефективного використання контрольних карт Шухарта, встановлені значення повинні бути зіставні з власною мінливістю процесу, яка йому властива. Карти, що базуються саме на таких встановлених значеннях, є особливо корисними для управління процесами та підтримки однорідності продукції на заданому рівні.

2.1.3 Побудова ККШ

Відображенням опорного значення характеристики на контрольних картах Шухарта є центральна лінія (ЦЛ). Для визначення стану статистичної керованості процесу зазвичай використовують опорне значення, що дорівнює середньому арифметичному вимірюваного показника. Також, опорним значенням може бути значення параметру, яке встановлене в технічних умовах, або яке базується на попередніх даних про процес, що ще знаходився у керованому стані, або ж можна використовувати заплановане значення характеристики, яке було б ідеальним для готового продукту.

По обидва боки від ЦЛ, контрольна карта Шухарта має дві контрольні межі: верхню контрольну межу (ВКМ) та нижню контрольну межу (НКМ). Зображення будови ККШ в загальному вигляді наведено на рисунку 2.1.

Контрольні межі ККШ, як правило, розташовують на відстані 3σ від ЦЛ, де σ – це відоме стандартне відхилення. Рішення використовувати контрольні межі саме на відстані 3σ було прийнято Уолтером Шухартом з огляду на економічний баланс витрат на пошук проблем процесу, коли такі проблеми не існують, та неможливістю виявити проблеми, коли насправді процес не відповідає вимогам функціонування.

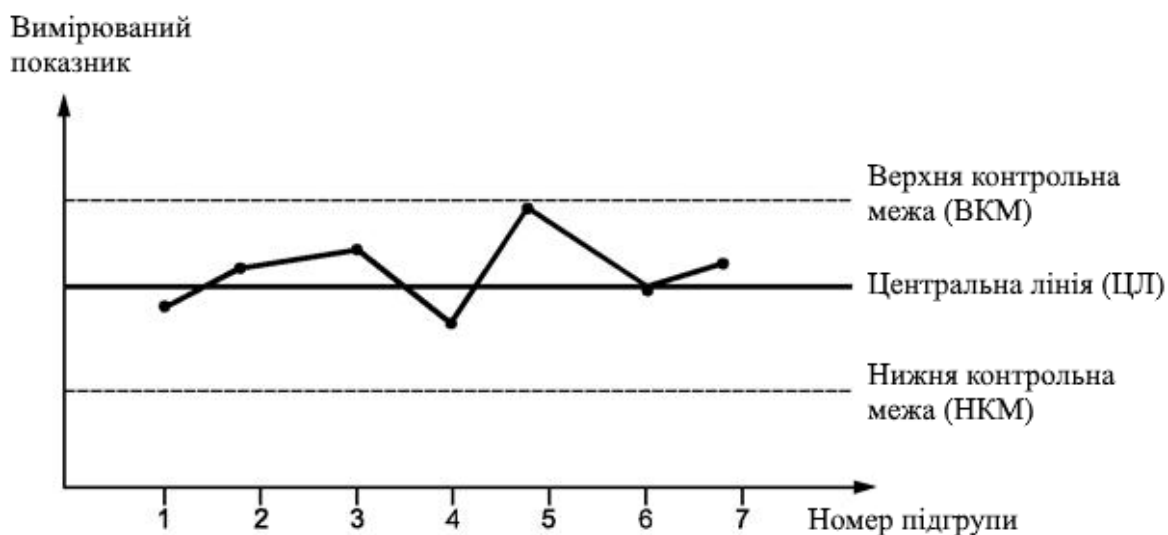


Рисунок 2.1 – Вигляд контрольної карти Шухарта

Розміщення контрольних меж занадто близько до ЦЛ може призвести до помилкового виявлення проблем, що реально не існують, а розміщення меж надто далеко від центральної лінії збільшує вірогідність помилкового невиявлення проблем, які насправді існують.

Якщо вимірювана характеристика підпорядковується нормальному розподілу, то контрольні межі на відстані $\pm 3\sigma$ від ЦЛ показують, що приблизно 99,7% значень даної характеристики потраплять у ці межі за умови, що процес перебуває у стані статистичної керованості [8]. Таким чином, ймовірність того, що, при стабільному процесі, точка на карті буде поза контрольними межами, дорівнює близько 0.003, або ж іншими словами три випадки на тисячу точок. Слово "близько" використане тому, що на значення ймовірності впливають вихідні припущення, наприклад розподіл вимірюваних даних, який в реальних умовах може мати відхилення від припущення про нормальний розподіл.

Деякі практики прагнуть замість множника, що дорівнює 3, використовувати значення 3.09 для забезпечення ймовірності в 0.001, або ж в середньому одна помилка на тисячу спостережень, проте Шухарт обрав число 3 для того, щоб уникнути спроб врахування значення ймовірностей. Таким самим чином в деяких випадках використовують фактичні значення ймовірностей для карт, що засновані на розподілах, які відрізняються від нормального. У ККШ

використовуються межі на відстані $\pm 3\sigma$ з акцентом на емпіричній інтерпретації [8].

Ймовірність порушення меж, викликана випадковістю події, а не реальною зміною процесу, вважається настільки малою, що поява точки поза граничними межами говорить про те, що слід втрутитись і зробити певні дії. Через те, що такі дії роблять саме у цій точці, то контрольні межі рівня 3σ інколи іменуються межами дій.

Не рідко на контрольній карті Шухарта межі розташовують на відстані $\pm 2\sigma$ від ЦЛ. В цьому випадку, будь-яке вибране значення, яке потрапляє за межі $\pm 2\sigma$, може бути попередженням про наближення виходу процесу зі стабільного стану. Таким чином, межі $\pm 2\sigma$ інколи називають "запобіжними". Незважаючи на те, що в такому разі дії не потрібні, деякі користувачі прагнуть негайно відібрати іншу вибірку такого ж обсягу для визначення необхідності коригуючих дій, що лише призводить до зайвих витрат ресурсів і часто не дає ніякого результату.

2.1.4 Типи помилок ККШ

Коли визначають стан процесу з використанням контрольних карт Шухарта, можливі помилки двох типів – першого та другого роду.

Помилка першого роду виникає в тих випадках, коли процес знаходиться у стані статистичної керованості, проте поточна точка виходить за контрольні межі. В результаті приймається невірне рішення про те, що процес вийшов зі статистично керованого стану, що призводить до непотрібних витрат на пошук причин проблеми, яка насправді не існує.

Якщо процес не знаходиться в статистично керованому стані, але при цьому точки вибірових значень випадково знаходяться всередині контрольних меж, то це свідчить про виникнення помилки другого роду. В результаті приймається помилкове рішення про те, що процес знаходиться у стані статистичної керованості. Така помилка також спричиняє суттєві витрати, які

пов'язані з кінцевим виготовленням продукції, що не відповідає необхідним вимогам.

Імовірність помилки другого роду є функцією трьох параметрів: обсягу вибірки, ширини зони між контрольними межами та ступеня некерованості процесу. В більшості випадків масштаб змін процесу не може бути відомим, тому мало що можна сказати про значення величини даної помилки. Отже, в загальному випадку не є доцільним виконання аналізу ризиків та витрат, які пов'язані з помилкою другого роду, тому система ККШ розроблена для роботи з помилкою першого роду.

2.1.5 Етапи застосування ККШ

Якщо процес перебуває у стані статистичної керованості, ККШ реалізують метод безперервної статистичної перевірки нульової гіпотези про те, що процес не змінився і залишається стабільним [9]. Так як на етапі 1 часто існує невизначеність у таких питаннях, як розподіл ймовірностей досліджуваного параметру, а припустимі значення відхилення характеристики процесу зазвичай не визначені, то ККШ не варто суворо розглядати як інструмент перевірки гіпотез. Доктор Шухарт більше звертав увагу на емпіричну корисність своєї карти для визначення виходу процесу зі стабільного стану та скоротив роль імовірнісних інтерпретацій.

Якщо значення характеристики виходить за будь-які з контрольних меж або ж серія досліджуваних значень показує незвичайну структуру, то в подальшому не можна вважати, що процес знаходиться у стані статистичної керованості. В такому разі необхідно виявити та дослідити невинноваті причини, в той час як процес може бути зупинений або переналаштований. Коли особливі причини виявлено та усунуто, процес знову має змогу продовжити роботу. Проте, в окремих випадках можна і не знайти ніякої особливої причини. Тоді вважається, що сталася доволі рідкісна випадкова подія, що призвела до виходу точки за контрольні межі, хоча сам процес знаходиться у статистично керованому стані.

Якщо процес має бути досліджений вперше з завданням досягнення стану статистичної керованості, то в більшості випадків потрібно використовувати раніше отримані дані спостережень за процесом або отримати нові дані до побудови ККШ. Даний етап, під час якого встановлюються параметри контрольної карти, зазвичай називають етапом 1. Потрібно зібрати достатньо даних для отримання достовірних оцінок для побудови центральної лінії та контрольних меж. Контрольні межі, які встановлюються на етапі 1, вважаються пробними межами, оскільки вони засновані на даних, зібраних в умовах, коли процес, можливо, не перебував у стані статистичної керованості. Виявлення причин появи сигналів на контрольній карті Шухарта на даному етапі може бути досить важким завданням через недостачу інформації про попередні зміни параметрів процесу. Проте, якщо спеціальні причини варіації процесу виявлені та було вжито заходів щодо ліквідації їх впливу, ретроспективні дані про процес, які були отримані під впливом спеціальної причини, мають бути видалені, а параметри ККШ повинні бути перераховані. Цю циклічну процедуру продовжують до тих пір, поки пробна контрольна карта не покаже відсутність сигналів, а значить процес можна розглядати як керований, отже - тобто стабільний та передбачуваний. Так як на етапі 1 деякі дані можуть бути видалені з розгляду, користувачу, скоріш за все, доведеться отримати додаткові дані щодо процесу для забезпечення достовірності оцінок параметрів.

Як тільки було досягнуто стану статистичної керованості процесу, ЦЛ та контрольні межі контрольної карти, які отримали на етапі 1, стають параметрами ККШ для подальшого моніторингу процесу. Тепер переходять до етапу 2, завдання якого полягає в тому, щоб підтримувати процес у стані статистичної керованості, а також забезпечувати швидке виявлення спеціальних причин, які час від часу можуть виникати та впливати на процес. Варто визнати, що перехід від етапу 1 до етапу 2 може бути тривалим та важким. Проте цей перехід дуже важливий, адже невдача при усуненні спеціальних причин призводить до підвищеної оцінки мінливості процесу. В

цьому разі зона між контрольними межами контрольної карти виявиться дуже широкою, що може призвести до невиявлення спеціальних причин мінливості.

2.2 Карти середніх значень і розмахів

Карти середніх значень ($\bar{X}$) і розмахів (R -карти) використовують у випадках, коли обсяг вибірки невеликий, здебільшого не більше 10. У випадку обсягів вибірки підгрупи, що перевищують значення 10, адже при збільшенні кількості досліджуваних вибірок розмах стає менш ефективною оцінкою стандартного відхилення процесу.

Середнє значення вибірок $\bar{X}_i$, яке необхідне для побудови карт середніх значень, визначається за формулою:

$$\bar{X}_i = \frac{\sum_{j=1}^n X_{ij}}{n}, \quad (2.1)$$

де X_{ij} – значення j -го спостереження i -ї підгрупи;
 n – кількість спостережень.

Для побудови даного виду карт, на горизонтальній осі відкладають номер вибірки, а по вертикальній осі відкладають середні значення цих вибірок $\bar{X}_i$. Приклад вигляду карти середніх значень та карти розмахів наведено на рис. 2.2.

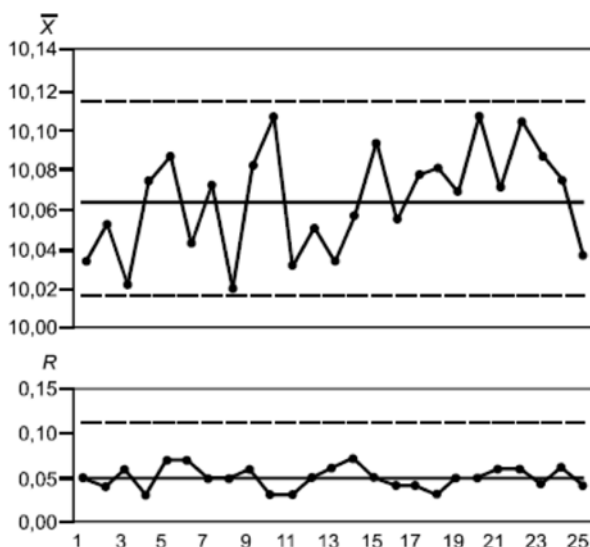


Рисунок 2.2 – Карта середніх значень $\bar{X}$ та розмахів R

2.3 Контрольні карти індивідуальних значень та ковзних розмахів

Є ситуації, коли для управління процесами неможливо, незручно чи недоцільно працювати з раціональними підгрупами, а тому необхідно дати оцінку керованості досліджуваного процесу на основі індивідуальних значень. Це може знадобитись у випадках, коли, наприклад, вартість або час, що потрібні для дослідження, є занадто великими, або багаторазові дослідження є руйнівними для процесу. В такому разі використовують контрольні карти індивідуальних значень (X -карти) та контрольні карти ковзних розмахів (R_m -карти).

Так як при застосуванні карт індивідуальних значень для оцінки мінливості, підгрупи даних не використовуються, то контрольні межі розраховують на основі міри варіації, отриманої за ковзним розмахом двох послідовних спостережень [10]. Ковзний розмах – це абсолютне значення різниці вимірів, що слідують один за одним, тобто значення різниці першого та другого вимірювання, потім другого та третього і т.д., що відображено у наступній формулі [8]:

$$R_{mi} = |X_{i-1} - X_i|, \quad (2.2)$$

де R_{mi} – поточний ковзний розмах;

X_{i-1} – результат попереднього одиночного вимірювання;

X_i – результат поточного одиночного вимірювання.

Далі, на основі ковзних розмахів розраховують середнє арифметичне ковзних розмахів, яке вже використовують для побудови контрольних карт.

При використанні X -карт потрібно брати до уваги наступні моменти:

- X -карти є менш чутливими до змін в порівнянні з картами, в яких використовуються групи даних;
- потрібно виявляти обережність при трактуванні результатів, якщо розподіл характеристики процесу відрізняється від нормального;

- $\bar{X}$ -карти знаходять мінливість процесу за допомогою середнього арифметичного послідовних різниць між спостереженнями, отже передбачається, що дані впорядковані за часом та в проміжку між двома послідовними значеннями не відбулося істотних змін процесу. Для прикладу, некоректно зібрати дані двох окремих груп продукції та обчислити ковзний розмах між першою партією першої групи та останньою партією наступної групи, якщо в період часу між ними виробництво було зупинено.

2.4 Контрольні карти медіан і розмахів

Карта медіан є альтернативною карт середніх значень при контролі положення досліджуваного процесу, коли стоїть ціль зменшити вплив екстремальних значень в підгрупі. Такий варіант може бути у випадку вибірок, які були складені із великої кількості даних, що отримані за допомогою автоматизованих вимірювань з високою мінливістю підгруп, наприклад, при вимірюванні межі міцності. Карти медіан не потребують великої кількості обчислень, особливо для вибірок малого розміру, які містять непарний обсяг спостережень. Використання даної карти стає значно зручнішим, якщо на одній карті разом із медіаною зображують окремі значення у вибірці. Карта медіан також відображає розкид процесу та показує нинішню ситуацію з його мінливості. Недоліком же даного виду карт є повільніше реагування на вихід процесу зі статистично керованого стану, ніж у карти середніх значень.

Контрольні межі карти медіан є можливість визначити двома способами: якщо використати медіану медіан вибірки та медіану розмахів, або ж якщо використати середнє арифметичне медіан та середнє арифметичне розмахів у досліджуваних вибірках. Останній підхід є простішим та доцільнішим у більшості випадків.

2.5 Контрольні карти кумулятивних сум

Контрольні карти кумулятивних сум (CUSUM-карти) – це такий вид контрольних карт, для побудови яких використовують значення накопиченої суми відхилень досліджуваних характеристик від деякого встановленого опорного значення [11]. CUSUM-карти це простий, але в той же час досить потужний графічний метод інтерпретації досліджуваних даних.

Перевагою даного методу над ККШ є те, що CUSUM-метод дозволяє виявити зміни приблизно втричі швидше, ніж останні. Проте, основними особливостями контрольних карт накопичених сум є:

- чутливість до виявлення змін середнього значення;
- можливість ретроспективного використання для дослідницьких цілей та прогнозування стану процесу наперед;
- будь-які зміни середнього значення та ступінь цих змін на карті візуально проявляються змінами кута нахилу графіка даних.

Відповідно до останньої особливості, CUSUM-карта наочно може вказати точки змін, що відбулися. Це точки зміни градієнту CUSUM-графіка. Наприклад, горизонтальний графік говорить про відповідність середнього значення процесу цільовому чи опорному значенню. Нахил графіка вниз показує, що середнє значення процесу менше опорного або цільового значення (чим більший кут нахилу, тим більша різниця), а от нахил графіка вгору говорить про те, що середнє значення процесу більше опорного або цільового значення.

CUSUM-карта має значну перевагу для управління процесами. Даний вид карт дозволяє швидко і точно визначити момент зміни процесу, тобто коли потрібні коригувальні дії. І це можна зробити без графічного зображення карти, а лише використовуючи табличну форму даних. Це дуже корисно при контролі процесу, коли кількість параметрів процесу та характеристик продукції велика. Дані про стан процесу можуть бути отримані автоматично та завантажені у відповідне програмне забезпечення для автоматичного аналізу. Відповідальна

за процес людина може бути попереджена про зміни відразу за багатьма характеристиками одночасно.

Для побудови контрольних карт кумулятивних сум потрібно:

- обрати опорне, цільове, контрольне чи бажане значення, де середнє арифметичне результатів здебільшого забезпечує карті гарну дискримінацію;
- занести виміряні результати до таблиці у послідовності, яка має сенс, наприклад, хронологічній. При цьому відняти від кожного з результатів опорне значення;
- отримані на попередньому етапі значення підсумувати, після чого послідовні суми зобразити на CUSUM-карті

Для того, щоб правильно інтерпретувати дані CUSUM-карти, необхідні правила прийняття рішень. Якщо ці правила встановлені у відповідності до властивостей процесу, то на основі CUSUM-карти можуть бути вжиті необхідні дії, які переважно включають:

- коригування умов функціонування процесу;
- аналіз та коригування моделі прогнозування або деяких її параметрів;
- дослідження причин мінливості.

Далі потрібно встановити основні критерії ухвалення рішень. Наприклад, встановити кількісні характеристики "шуму" в системі для забезпечення ефективних основ виявлення сигналу про зміну стану процесу. Чим є шум, а що є сигналом, визначає стратегія контролю, яка до того ж визначає необхідну кількість досліджень, частоту відбору вибірок, спосіб їх складання. Також варто враховувати, що міра, яка використовується для кількісного оцінювання мінливості процесу, зазвичай впливає на результат.

Найпростіші правила прийняття рішень на основі контрольних карт накопичуваних сум представлені формами V-масок. Відомі різні за формою V-маски. Вони однакові за принципом побудови та рівні за ефективністю:

- усічена V-маска;
- напівпараболічна маска;

- укорочена V-маска;
- повна V-маска.

Власну мінливість здебільшого вимірюють при допомозі однієї з наступних статистик: стандартне відхилення, якщо для побудови CUSUM-карти використовуються окремі спостереження, та стандартна помилка, якщо деяка функція підгрупи спостережень, як наприклад медіана, розмах чи середнє значення, дозволяють побудувати карту кумулятивних сум. Поняття підгрупи полягає в тому, що мінливість у межах підгрупи є наслідком впливу загальних причин, а між підгрупами - спеціальних причин. Основним завданням CUSUM-карти є виявлення загальних та спеціальних причин мінливості, а значить правильний вибір підгрупи має значення.

Проте вимога перебування процесу в стабільному ставні протягом періоду, якого достатнього для встановлення кількісних показників мінливості, таких як стандартна помилка чи стандартне відхилення, є занадто жорсткою для певних областей використання карт кумулятивних сум. Для прикладу, спостереження безперервного процесу можуть визначити незначні відхилення середнього рівня. Необхідно, щоб саме за цими відхиленнями було прийнято рішення про систематичну чи постійну мінливість.

Одним із важливих припущень у CUSUM-процедурі є те, що стандартне відхилення процесу σ вважається постійним. Таким чином, перш ніж застосовувати CUSUM-карти, процес повинен дослідитися на наявність статистичної керованості (за допомогою інших видів карт), а потім визначають оцінку σ .

Також може проявитися послідовна кореляція між спостереженнями, тобто коли спостереження впливає наступне. Для прикладу, відображенням негативної послідовної кореляції може бути ситуація, коли недостатнє або надмірне виготовлення продукції в одному місяці компенсується виробництвом в наступному місяці. Прикладом позитивної кореляції може бути процес, коли одна партія матеріалу в незначній мірі змішується з наступною партією. Отже,

потрібно розглянути інші кількісні міри мінливості в серії або в послідовності даних, в яких ці міри є адекватними.

2.6 Чутливість різновидів контрольних карт

Ідеальним виконанням правила прийняття рішення є виявлення реальних змін не пізніше ніж на задану величину, а без наявності таких змін процес міг працювати нескінченно довго без помилкових сигналів. Простою та зручною мірою ефективності правила прийняття рішень є середня довжина серії (СДС) .

СДС є математичним очікуванням кількості вибірок, необхідних для прийняття рішення про наявність розладнання [12].

На основі СДС оцінюється чутливість контрольних карт – здатність до виявлення розладнання технологічного процесу, що визначається числом вибірок з моменту розладнання процесу до його виявлення контрольною картою, тобто виходу точок параметрів процесу за граничні значення [13].

Якщо розладнання немає, то ідеальним значенням СДС є нескінченність. У цьому випадку, на практиці стоїть завдання зробити значення СДС якомога більшим, і навпаки, за присутності зміщення, ідеальне значення СДС повинно становити 1, що відповідає виявленню зміщення на першому контрольному кроці [14]. Варто зазначити, що значення СДС також піддається мінливості. Іноколи помилковий сигнал отримується після великої серії даних або наявність зміни виявляється дуже швидко. Існують випадки з невдалим відбором вибірок, що може викликати появу помилкових сигналів або приховати реальний розлад процесу. Тому, час від часу потрібно досліджувати фактичну мінливість СДС.

Розглянуті у попередніх пунктах різновиди контрольних карт можна поділити на три групи [15]:

- прості контрольні карти (карти Шухарта);
- контрольні карти з попереджувальними межами, що є модифікацією простих контрольних карт;
- контрольні карти кумулятивних сум.

Наведені три види контрольних карт відчутно відрізняються по чутливості виявлення розладу, що відображено у табл. 2.1, в якій наведені дані з [12] залежності середньої довжини серії L різних видів контрольних карт від допустимого зміщення процесу δ , приведенного в одиницях стандартного відхилення σ [14].

Таблиця 2.1. Середня довжина серії різновидів контрольних карт [12]

№ п/п	Допустиме зміщення процесу δ	Середня довжина серії $L(\delta)$		
		Контрольна карта кумулятивних сум з використання V-маски	Проста контрольна карта Шухарта	Контрольна карта Шухарта з попереджувальними межами
1	0,0	931,0	741,0	556,0
2	0,2	198,0	308,0	223,0
3	0,4	60,0	200,0	134,0
4	0,6	27,0	120,0	75,0
5	0,8	15,0	72,0	43,0
6	1,0	10,0	44,0	26,0
7	1,2	7,8	28,0	16,0
8	1,4	6,3	18,0	11,0
9	1,6	5,3	12,0	7,4
10	1,8	4,6	8,7	5,4
11	2,0	4,0	6,3	4,1
12	2,2	3,6	4,7	3,2
13	2,4	3,3	3,7	2,6
14	2,6	3,0	2,9	2,2
15	2,8	2,8	2,4	1,9
16	3,0	2,6	2,0	1,7

В діапазоні СДС від 0 до 50 контрольних кроків зображена наочна ілюстрація даних із табл. 2.1 на рис. 2.3:

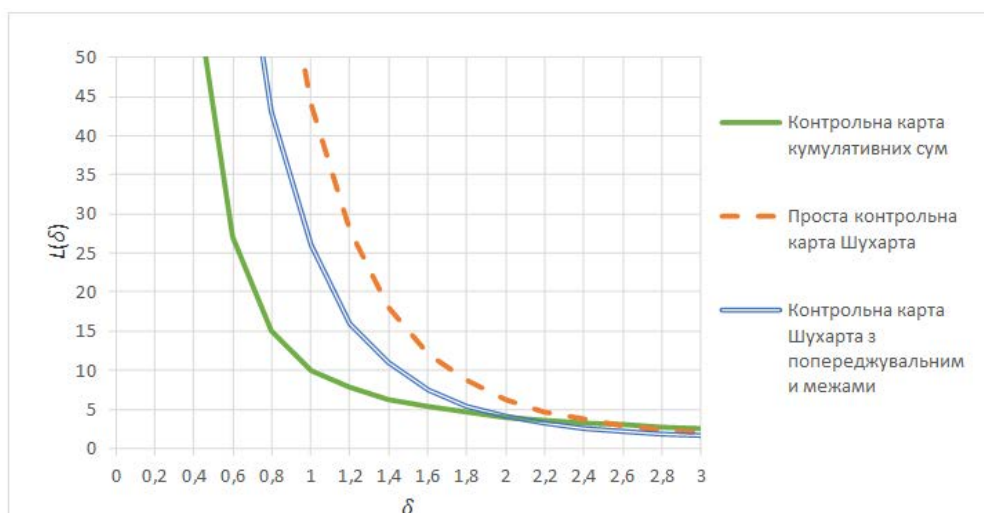


Рисунок 2.3 – Середня довжина серії різновидів контрольних карт

З даних табл. 2.1 і рис. 2.3 видно, що, при нульовому допустимому зміщенні процесу, для контрольних карт кумулятивних сум значення СДС є більшим, ніж для інших карт Шухарта. Таким чином, карти кумулятивних сум мають найнижчий рівень помилкових сигналів, адже чим більше значення СДС для цільового значення, тим нижче ймовірність помилкових сигналів. Натомість, для контрольної карти Шухарта з попереджувальними межами значення СДС є значно меншим [14].

Для зміщень менше 2σ , СДС контрольних карт кумулятивних сум менша, ніж СДС будь-яких інших карт з найбільш швидкою реакцією на зміщення процесу. Це особливо відчутно в області від $0,4\sigma$ до $1,6\sigma$ [14].

Для зміщень більше 2σ , контрольна карта Шухарта з попереджувальними межами швидше реагує на зміщення процесу, ніж два інших види карт, але при цьому карти Шухарта мають більш високий рівень помилкових сигналів [12].

Загалом, можна зробити висновки, що прості контрольні карти виявляють розладнання найменш чутливо з-поміж інших двох видів карт. Це можна пояснити тим, що характеристики, що визначають стан технологічного процесу, розглядаються незалежно одна від одної, тобто кожен наступний результат вибіркового контролю не враховує попередні дані [14].

Контрольні карти з попереджувальними межами займають проміжне місце між простими картами Шухарта та картами кумулятивних сум. Краща ефективність в порівнянні з простими контрольними картами пояснюється наявністю, крім меж регулювання, попереджувальних меж, які побудовані у зоні меж регулювання [15].

Контрольні карти кумулятивних сум є найбільш чутливими до зміщення процесу, адже для оцінки стану технологічного процесу використовуються всі дані накопичених сум вибірових статистик, тобто враховуються як поточні дані, так і попередні вибірки. Таким чином, рішення, що приймаються на підставі інформації з багатьох вибірок, є більш достовірними, ніж рішення, засновані на результатах лише однієї вибірки [14].

Висновки до розділу 2

У розділі 2 було детально розглянуто контрольні карти Шухарта, їх складові та процес будови, типи в залежності від роботи з кількісними та альтернативними даними, випадки з заданими значеннями параметрів процесу і не заданими, види можливих помилок першого та другого роду, обидва етапи встановлення та підтримання стану статистичної керованості. Досліджено побудову карт середніх значень і розмахів та встановлена їх можливість використання здебільшого при невеликих обсягах підгруп. Опрацьована інформація про контрольні карти індивідуальних значень та карти ковзних розмахів, за якою визначена доцільність їх використання коли вартість або час, що потрібні для дослідження, є занадто великими, або багаторазові дослідження є руйнівними для процесу. Визначена зручність використання контрольних карт медіан і розмахів при використанні великої кількості вихідних даних, які можуть бути отримані, наприклад, за допомогою автоматизованих вимірювань, проте відзначене повільніше реагування на вихід процесу зі статистично керованого стану, ніж у карт середніх значень. Розглянуто алгоритм побудови контрольних карт кумулятивних сум, їх основні особливості та переваги над іншими видами карт, описані критерії ухвалення рішень, розглянута класифікація V-масок. Визначена зручна міра ефективності – середня довжина серії, за допомогою якої оцінена чутливість наведених різновидів контрольних карт, яка показала, що CUSUM-карти є найбільш чутливими до зміщення процесу, адже оцінка стану досліджуваного процесу визначається на підставі інформації з багатьох вибірок, а не лише за одиничними підгрупами.

3. РОЗРОБКА ТА ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДУ КОВЗНОЇ РЕГРЕСІЇ

3.1 Теоретичне обґрунтування методу ковзної регресії

Згідно першого розділу даної роботи було встановлено, що найбільш чутливою до розладу процесу контрольною картою є CUSUM-карта, тому, щоб досягти найбільш високопродуктивних результатів швидкості виявлення змін, для модифікації обрано саме даний вид контрольних карт.

Досягти покращення швидкодії CUSUM-карт допоможуть ковзні лінії регресії, які частіше за все використовуються для згладжування раптових коливань та прогнозування довготермінових трендів. При використанні ковзних ліній регресії, ефект згладжування полягає у тому, що при визначенні середніх значень зменшується внесок випадкових величин на результат в цілому. Досягається це завдяки заміні початкових значень необхідної характеристики середнім арифметичним значенням всередині певного періоду часу. В даному випадку такою характеристикою будуть накопичені суми відхилень процесу. Далі інтервал пересувається на одне значення вперед і знову відбувається обчислення середнього. В той же час, період розрахунку середнього залишається таким самим. В загальному, ковзне середнє X_{MA} розраховується за наступною формулою:

$$X_{MA} = \frac{\sum_{i=1}^n \overline{X}_i}{n}, \quad (3.1)$$

де $\overline{X}_i$ – середнє значення, яке було визначене під час i -ї проміжної перевірки;
 n – ширина періоду згладжування.

Лінія ковзної регресії буде тим більш плавнішою, чим ширшим є період згладжування, проте згладжений ряд буде коротшим за початковий на $n - 1$ значень.

Для того, щоб перейти до контрольних карт кумулятивних сум, необхідно знайти значення відхилень ΔX_i кожної вибірки від цільового значення μ_0 :

$$\Delta X_i = \overline{X}_i - \mu_0. \quad (3.2)$$

Значення накопичуваної суми відхилень фактичних результатів від цільового значення (ΔX_Σ) обчислюється за формулою:

$$\Delta X_\Sigma = \sum_{i=1}^n \Delta X_i. \quad (3.3)$$

Згідно формул (3.2) та (3.3) перефразуємо для CUSUM-карт: відхилення $(\overline{X}_{jn} - \mu_0)$ середнього $\overline{X}_{jn}$ значення j -ої підгрупи, яка має n елементів, від опорного значення μ_0 додається з відхиленнями, отриманими з моменту моніторингу процесу в i -й момент часу (при $i = 1, (n - 1)$), де обчислене таким способом значення наноситься як ордината на карту накопичуваних сум і відповідає підгрупі в момент t [16]:

$$\overline{Y}_t = \sum_{j=1}^t (\overline{X}_j - \mu_0). \quad (3.4)$$

Наведена статистика, зміну якої в часі ми досліджуємо, передбачає, що $\overline{X}_{jn}$ має нормальний розподіл $N(\mu_t, \sigma_0^2/n)$ з математичним очікуванням [17]:

$$E(Y_t) = \sum_{j=1}^t E(\mu_j - \mu_0) = \sum_{j=1}^t (\mu_j - \mu_0). \quad (3.5)$$

При умові, що рівень налаштування процесу μ_j в середньому не змінюється, то $E(Y_t) = (\mu - \mu_0)$, а також збігається з віссю часу t , причому графік значень Y_t на контрольній карті розташовується поблизу осі t [18].

При виникненні розладу процесу, в момент часу t_0 з'являється зміщення рівня налаштування, крива значень Y_t коливатиметься біля променя півпрямой, що є математичним очікуванням, яке містить ненульову крутизну $(\mu_t - \mu_0)$. При умові, що крива на карті кумулятивних сум віддаляється від осі t , можна сказати, що відбулося недопустиме відхилення від рівня налаштування.

Через те, що вибіркові середні є випадковими величинами, потрібно зменшити можливий вплив, що зумовлений даною випадковістю. Для досягнення даної мети висувається нульова гіпотеза H_0 : $\mu_t = \mu_0$, що означає

нерозладжений процес, та альтернативна гіпотеза $H_1: \mu_t = \mu_0 \pm \Delta$, що означає розладжений процес, де Δ – це зміщення відносно опорного значення μ_0 [17].

Для перевірки наведених гіпотез, використовується відношення ймовірностей [17]:

$$LQ = \frac{L(x | \mu_0 + |\Delta|)}{L(x | \mu_0)}, \quad (3.6)$$

де $L(x | \mu_0 + |\Delta|)$ та $L(x | \mu_0)$ – це функції правдоподібності за справедливості відповідних гіпотез H_0 и H_1 .

Дане відношення LQ називається LQ -критерієм (likelihood quotient), який виступає мірою правдоподібності обох гіпотез H_0 та H_1 . Таким чином, при $LQ > 1$, правдоподібнішою гіпотезою вважається H_1 , натомість при $LQ < 1$ – правдоподібнішою гіпотезою є H_0 . При виконанні процедури перевірки даних гіпотез можлива поява помилкових рішень про прийняття першої або другої гіпотези.

Ймовірність помилки першого роду про прийняття гіпотези H_1 , коли насправді справедливою є гіпотеза H_0 , визначається задаванням верхньої межі α , тобто рівнем значущості. Ймовірність помилки другого роду β при визначеному обсязі вибірки n потрібно обчислювати для кожного значення $\mu \neq \mu_0$ [19].

У класичному LQ -критерії Неймана-Пірсона використовується одне граничне значення і рішення приймається для постійного числа вибірових значень, проте, запропонований Вальдом (Wald) послідовний критерій відношення ймовірностей, використовує два граничних значення A і B ($A < 1 < B$), які розділяють гіпотези H_0 і H_1 [16]. В останньому випадку, кількість вибірових значень поступово збільшується на один, та кожного разу приймають рішення про те, чи достатня кількість отриманих даних для кінцевого прийняття рішення чи необхідно збільшити їх кількість. Статистично критерії цього роду відносять до послідовного аналізу [20]. Використання даного виду статистичних критеріїв зменшує обсяг вибірок, а контроль виконується доти, поки значення LQ не заходять за межі границь, які приближені до одиниці. З формули (3.6)

виходить, що при $LQ \leq A$ обирається рішення, що правдоподібною є гіпотеза H_0 , а коли $LQ \geq B$, то правдоподібною є гіпотеза H_1 , де A і B здебільшого задаються значеннями α і β [17]:

$$A = \frac{\beta}{\left(1 - \frac{\alpha}{2}\right)}; \quad (3.7)$$

$$B = \frac{(1 - \beta)}{\frac{\alpha}{2}}. \quad (3.8)$$

Рисунок 3.1 показує положення значень A і B у ситуації прийняття нульової гіпотези H_0 (рис. 3.1, а) та у ситуації прийняття гіпотези H_1 (рис. 3.1, б).

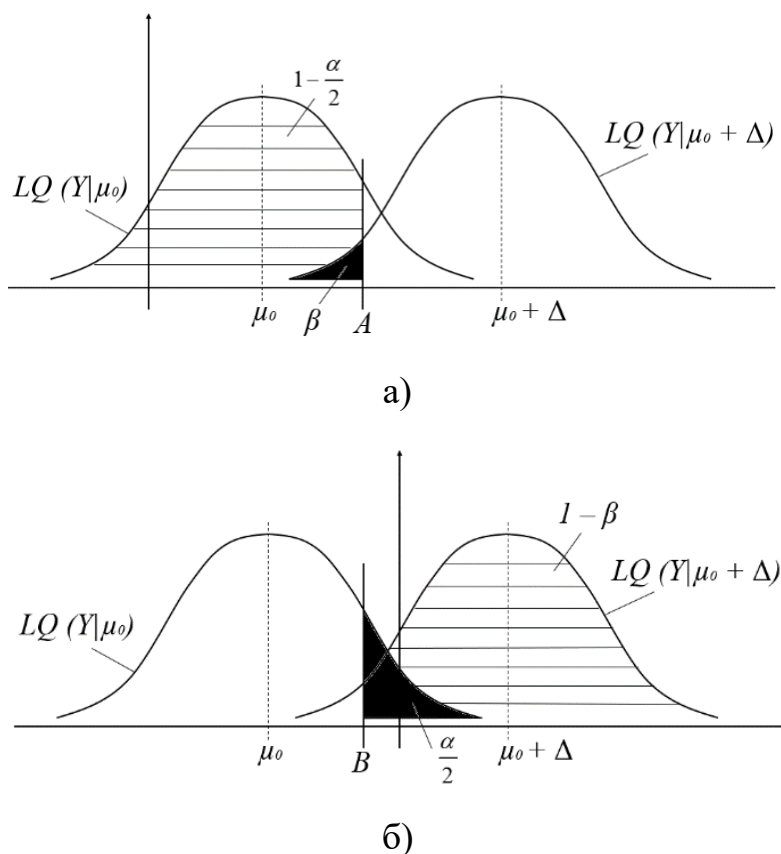


Рисунок 3.1 – Граничні значення прийняття гіпотез:

а) для ситуації правдоподібності прийняття гіпотези H_0 ; б) для ситуації правдоподібності прийняття гіпотези H_1 .

Так як застосовується двосторонній критерій, то рівень значущості вважається рівним $\alpha/2$. При моніторингу досліджуваного процесу, граничні значення є функцією від часу t , що графічно зображується як два паралельні промені з кутом нахилу c чи $-c$, що відображено на рис. 3.2.

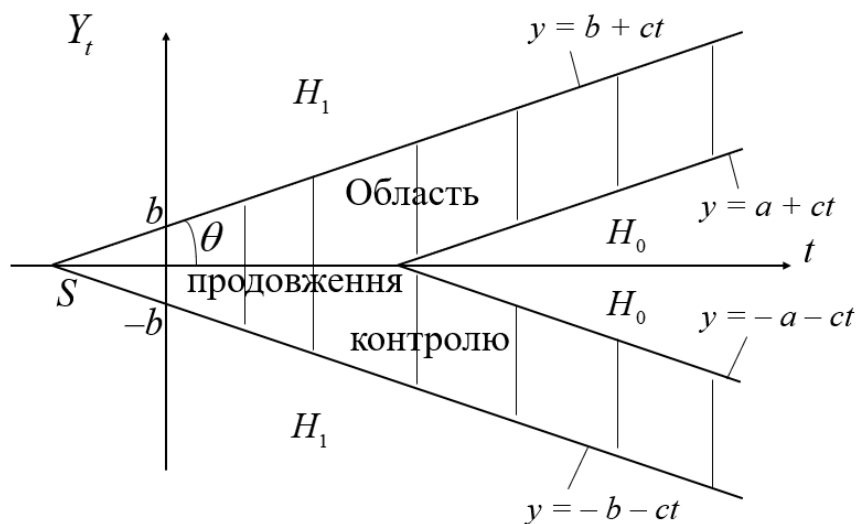


Рисунок 3.2 – Області прийняття рішень при застосуванні послідовної процедури

При виконанні умови $|y_t| \leq a + ct$ для поточного значення статистики (3.4), гіпотеза H_0 вважається справедливою, тобто процес не знаходиться в розладнанні. Якщо ж $|y_t| \geq b + ct$, то справджується гіпотеза H_1 , тобто процес є розладженим, а тому необхідно здійснювати коригування.

При отриманні результату y_t при $t = j$ всередині області, яка обмежена даними променями, береться наступна підгрупа, та процес перевірки y_{j+1} продовжується. Область, яка знаходиться поміж даними променями, є областю продовження контролю. З рисунку 3.2 можна побачити, що область продовження контролю схожа за своєю формою на нахилену букву «V», зовнішні сторони якої іменуються межами відхилення нульової гіпотези H_0 .

При застосуванні карт контролю, справедливість гіпотези H_0 коли $t = j$ є всього лиш умовою продовження моніторингу досліджуваного процесу, у зв'язку з чим, рішення про зупинку досліджуваного процесу або про проведення дій коригування приймається лише в тому випадку, коли статистика (3.4)

входить в область прийняття альтернативної гіпотези H_1 , тобто при $|y_t| \geq b + ct$ [17].

Розглянутий та зображений на рис. 3.2 метод перевірки гіпотез $H_0: \mu_t = \mu_0$ та $H_1: \mu_t = \mu_0 + \Delta$, іменують прямо направленим послідовним LQ-критерієм.

У роботі [16] було розглянуто застосування даного критерію, результатом чого було визначено тангенс кута нахилу променів c :

$$\operatorname{tg} \theta = \frac{\delta \sigma_0}{2} \quad (3.9)$$

Таким чином, було отримано вираз (3.9), що дозволяє визначити тангенс кута нахилу променів, що відповідають нижньому та верхньому граничному значенню допустимих відхилень процесу [16].

Для розробки методу ковзної регресії було введено позначення граничного значення допустимих відхилень $\operatorname{tg} \theta_{\lim} = \operatorname{tg} \theta$. Далі, розраховуємо тангенс кута нахилу лінії, яка утворилася за допомогою двох послідовних точок на контрольній карті, та порівнюємо це значення зі встановленим граничним значенням $\operatorname{tg} \theta_{\lim}$. Таким чином, для встановлення зміни процесу не потрібно чекати, поки графік на контрольній карті накопичуваних сум вийде за рамки однієї із сторін V-маски, а достатнім буде вихід поточного значення тангенсу кута нахилу лінії $\operatorname{tg} \theta_i$ за одну із наступних меж (відповідно для позитивного та негативного зміщень) [4]:

$$\operatorname{tg} \theta_i > \operatorname{tg} \theta_{\lim}; \quad (3.10)$$

$$\operatorname{tg} \theta_i < -\operatorname{tg} \theta_{\lim}. \quad (3.11)$$

При цьому, метод ковзної регресії полягає в тому, щоб будувати регресійні лінії не за двома послідовними точками на контрольній карті накопичуваних сум, а за $n = (3, 4, 5, 6, \dots)$. Також, для зменшення кількості помилкових сигналів, запропоновано ввести додатковий критерій, при якому прийняття рішення про стан технологічного процесу вважатиметься достовірним, якщо у випадку перевищення поточним значенням $\operatorname{tg} \theta_i$ граничної межі $\operatorname{tg} \theta_{\lim}$, чотири

останні послідовні контрольні значення Y , що використовувалися у побудові ковзної лінії регресії, зростають [4]:

$$Y_{i-3} < Y_{i-2} < Y_{i-1} < Y_i. \quad (3.12)$$

Логічно, що для випадку $tg\theta_i < -tg\theta_{lim}$, додатковий критерій матиме вигляд:

$$Y_{i-3} > Y_{i-2} > Y_{i-1} > Y_i. \quad (3.13)$$

Таким чином, чутливістю методу ковзної регресії буде такий контрольний крок з початку виникнення розладнання, при якому будуть виконані пари умов (3.10) і (3.12), або ж (3.11) і (3.13).

3.2 Експериментальні дослідження

Головною метою проведення експериментальних досліджень є аналіз чутливості до визначення розладу технологічного процесу розглянутими модифікованими картами кумулятивних сум з використанням ковзних ліній регресії в залежності від зміщення та числа послідовних контрольних точок n , за якими будується лінія регресії.

Для того, щоб краще зрозуміти логіку всього процесу досліджень, детальніше розглянемо окремий одиничний випадок. Для цього промодельємо випадковий процес з нормальним розподілом, який має опорне значення $\mu_0 = 100$ одиниць та стандартне відхилення $\sigma_0 = 10$ одиниць. Насправді, немає різниці якими обирати дані параметри, адже щодо опорного значення, то в дослідях використовуються значення відхилень ΔX_i (див. формулу 3.2), тобто значення різниці поточних даних та μ_0 . Тому неважливо, чи досліджується $\mu_0 = 100$ чи $\mu_0 = 1000$, все залежить по суті від значення стандартного відхилення σ , але для дослідів також неважлива його величина, адже результати дослідів при $\sigma_0 = 20$ та фактичному зміщенні $\Delta = 20$ будуть такими ж самими, як і результати дослідів при $\sigma_0 = 100$ та фактичному зміщенні $\Delta = 100$, адже відношення даних величин (σ_0 та Δ) в обох випадках дорівнює одному й тому ж числу (одиниці).

Цю залежність між зміщенням та стандартним відхиленням в собі відображає такий параметр як допустиме зміщення процесу δ , який і буде в подальшому використовуватись. Він визначається за формулою:

$$\delta = \frac{\Delta}{\sigma_0}. \quad (3.14)$$

Отже, для кожного моменту часу $t = 1, 2, \dots, 25$ взято вибірку обсягом $m = 5$ одиниць і обчислені середні значення $\overline{X}_i$ для цих вибірок, що зображено на рисунку 3.3.

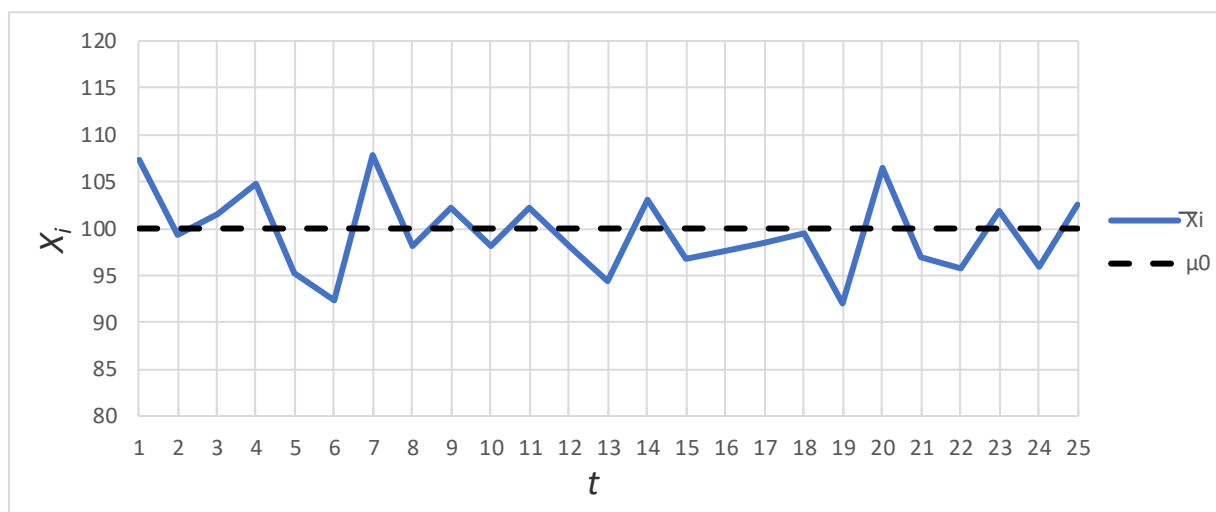


Рисунок 3.3 – Вибіркові середні значення процесу

Далі, згідно виразу (3.2), знаходимо значення відхилень ΔX_i кожної вибірки від цільового значення μ_0 . Результати середніх значень $\overline{X}_i$ та значення відхилень ΔX_i занесені до таблиці 3.1.

Таблиця 3.1. Вибіркові значення процесу

N_0 n/n	$\overline{X}_i$	ΔX_i	$\Delta X_i + \Delta$
1	107,3	7,3	7,3
2	99,4	-0,6	-0,6
3	101,6	1,6	1,6
4	104,7	4,7	4,7
5	95,3	-4,7	-4,7
6	92,3	-7,7	-7,7
7	107,8	7,8	7,8
8	98,2	-1,8	-1,8
9	102,3	2,3	2,3
10	98,2	-1,8	-1,8
11	102,3	2,3	2,3

Продовження таблиці 3.1.

12	98,2	-1,8	-1,8
13	94,4	-5,6	-5,6
14	103,1	3,1	3,1
15	96,7	-3,3	-3,3
16	97,6	-2,4	10,6
17	98,5	-1,5	11,5
18	99,5	-0,5	12,5
19	92	-8	5
20	106,5	6,5	19,5
21	96,9	-3,1	9,9
22	95,7	-4,3	8,7
23	101,9	1,9	14,9
24	95,9	-4,1	8,9
25	102,6	2,6	15,6

Наступним кроком в даний процес вводимо зміщення, яке в рамках одиничного прикладу становить $\Delta = +1.3\sigma_0$, що фактично дорівнює 13 одиницям або $\delta = 1.3$. Дане зміщення вводиться в момент часу $t = 16$ і залишається постійним, що відображено у четвертій колонці табл. 3.1. Наочне порівняння процесу без зміщення та зі зміщення наведено на рисунку 3.4:

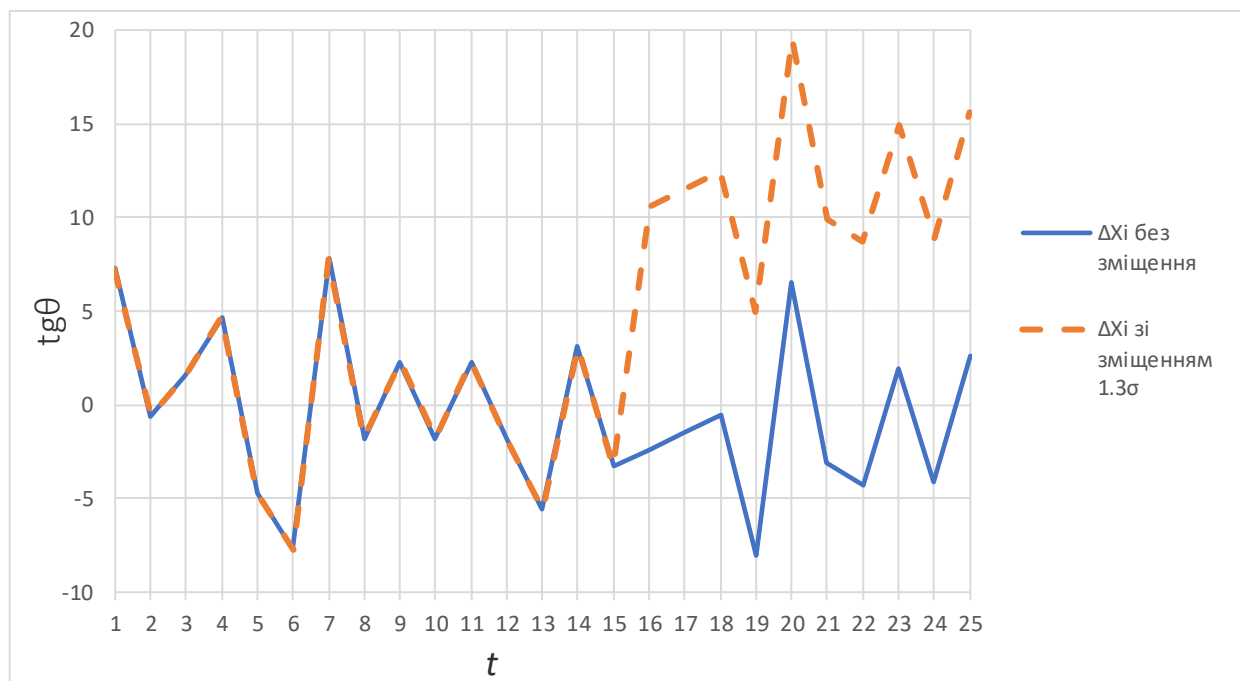


Рисунок 3.4 – Значення відхилень процесу

Для того, щоб виявити чутливість розглянутого методу ковзної регресії у випадку зміщення $+1.3\sigma_0$ в залежності від числа n послідовних контрольних

точок ковзної лінії регресії, побудуємо для нашого процесу дані лінії ковзної регресії згідно виразу (3.1) для значень $n = 2, 3, \dots, 9$. Результати наведено у таблиці 3.2:

Таблиця 3.2. Тангенси кутів нахилу ковзних ліній

№ n/n	ΔX_i	Тангенс кута нахилу ковзних ліній $tg\theta_{in}$							
		$n = 2$	$n = 3$	$n = 4$	$n = 5$	$n = 6$	$n = 7$	$n = 8$	$n = 9$
1	7,3								
2	-0,6	3,35							
3	1,6	0,5	2,77						
4	4,7	3,15	1,9	3,25					
5	-4,7	0	0,53	0,25	1,66				
6	-7,7	-6,2	-2,57	-1,52	-1,34	0,1			
7	7,8	0,05	-1,53	0,02	0,34	0,18	1,2		
8	-1,8	3	-0,57	-1,6	-0,34	-0,02	-0,1	0,82	
9	2,3	0,25	2,77	0,15	-0,82	0,1	0,31	0,2	0,99
10	-1,8	0,25	-0,43	1,62	-0,24	-0,98	-0,17	0,05	-0,02
11	2,3	0,25	0,93	0,25	1,76	0,18	-0,51	0,14	0,3
12	-1,8	0,25	-0,43	0,25	-0,16	1,17	-0,1	-0,68	-0,08
13	-5,6	-3,7	-1,7	-1,72	-0,92	-1,07	0,2	-0,79	-1,22
14	3,1	-1,25	-1,43	-0,5	-0,76	-0,25	-0,47	0,56	-0,36
15	-3,3	-0,1	-1,93	-1,9	-1,06	-1,18	-0,69	-0,82	0,13
16	10,6	3,65	3,47	1,2	0,6	0,88	0,5	0,73	0,44
17	11,5	11,05	6,27	5,48	3,26	2,42	2,4	1,88	1,92
18	12,5	12	11,53	7,83	6,88	4,8	3,86	3,66	3,06
19	5	8,75	9,67	9,9	7,26	6,57	4,83	4	3,81
20	19,5	12,25	12,33	12,12	11,82	9,3	8,41	6,66	5,72
21	9,9	14,7	11,47	11,72	11,68	11,5	9,39	8,6	7,02
22	8,7	9,3	12,7	10,78	11,12	11,18	11,1	9,3	8,61
23	14,9	11,8	11,17	13,25	11,6	11,75	11,71	11,57	9,92
24	8,9	11,9	10,83	10,6	12,38	11,15	11,34	11,36	11,28
25	15,6	12,25	13,13	12,02	11,6	12,92	11,79	11,88	11,83

Далі, розраховуємо граничні межі $\pm tg\theta_{lim}$ згідно виразу (3.9):

$$tg\theta_{lim} = \frac{\delta\sigma_0}{2} = \frac{1,3 \cdot 10}{2} = 6,5.$$

Відповідно нижня границя $-tg\theta_{lim} = -6,5$.

Для наочності отриманих результатів, зобразимо дані таблиці 3.2 разом з граничними межами на рисунку 3.5.

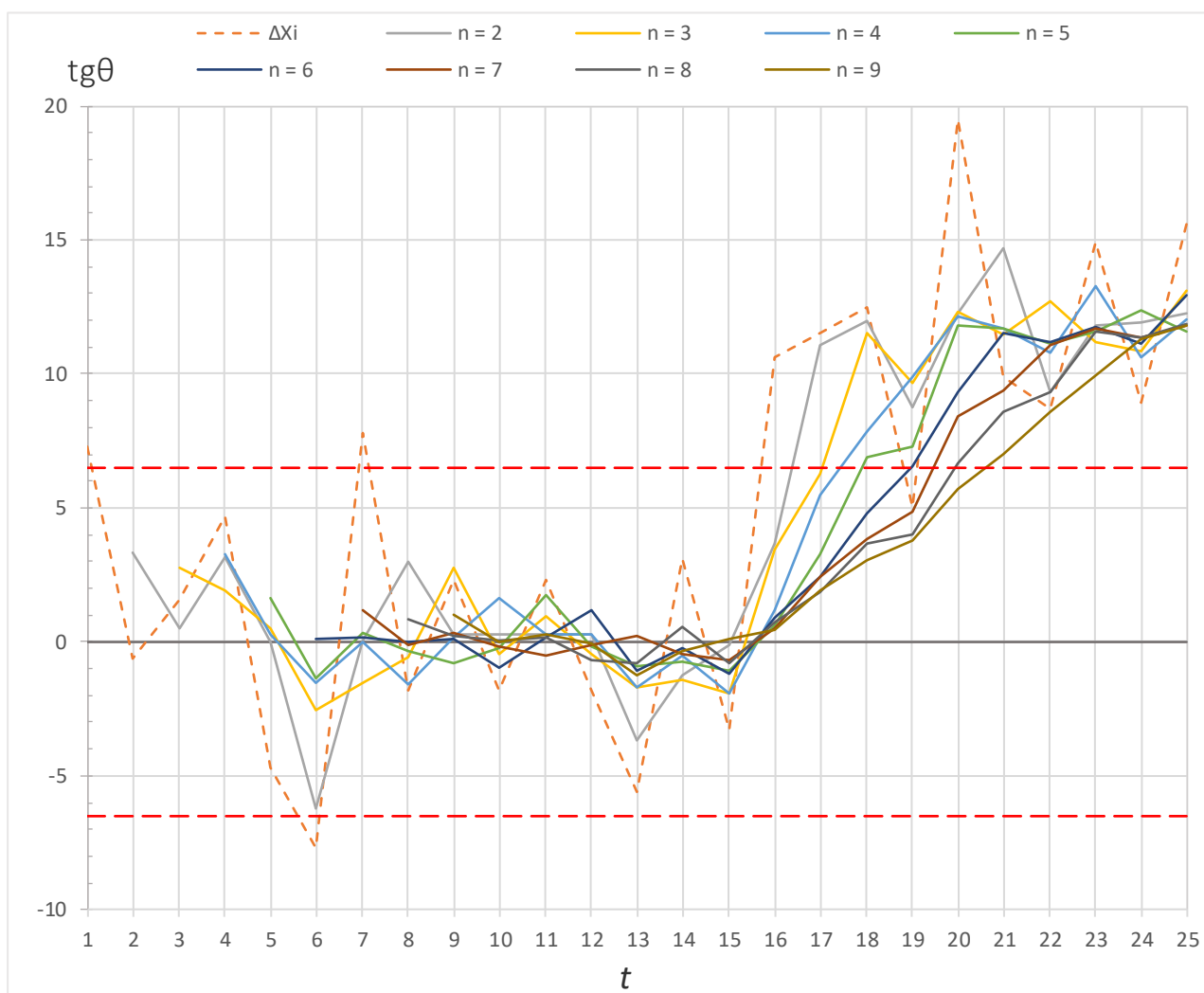


Рисунок 3.5 – Тангенси кутів нахилу ковзних ліній регресії

На рисунку 3.5 можна побачити наскільки добре вдається ковзним лініям регресії згладжувати початкову лінію процесу. Проте, чим краще згладжується крива, тим пізніше вона перетинає граничні межі, що свідчить про збільшення кількості необхідних контрольних кроків для встановлення методом наявності зміщення.

Беручи до уваги, що середня довжина серії в 1 крок означає встановлення наявності розладнання на тому ж кроці, на якому виникло зміщення, та проаналізувавши рисунок 3.5, враховуючи виконання додаткових критеріїв (3.12) та (3.13), можна визначити, що середня довжина серії $L(n=2) = 2$ кроки, $L(n=3,4,5) = 3$ кроки, $L(n=6) = 4$ кроки, $L(n=7,8) = 5$ кроків, $L(n=9) = 6$ кроків.

Отримавши результати чутливості, необхідно перевірити наскільки вони є репрезентативними. Для цього промодельємо $k = 10000$ випадкових процесів

з нормальним розподілом з такими ж самими параметрами процесу (μ_0 , σ_0 , δ), що використовувались до цього. Єдиною відмінністю між всіма ітераціями будуть різні значення вихідних характеристик, хоча і згенеровані за нормальним законом розподілу. Для кожного з 10 тисяч випадків будемо 8 ковзних ліній регресії за $n = 2, 3, \dots, 9$ точками, перевіряємо чи виконуються умови (3.10) і (3.12), або ж (3.11) і (3.13), і у випадку успішного виконання умов, записуємо скільки кроків знадобилось методу ковзної регресії для виявлення зміщення.

Однак, під час виконання алгоритму, траплялися випадки, коли розроблений метод не знаходив зміщення взагалі (наприклад у випадках недостатнього згладжування лінії регресії при малих n , через що чергування більших та менших чисел не давало змоги задовольнити критерії (3.12) або (3.13)), або виникали ситуації, коли розроблений метод знаходив зміщення ще до його фактичного введення в процес, що є відображенням перевірки методу на одиничні промахи, які виходять за контрольні межі. Тому, важливим фактором, окрім чутливості, є кількість помилкових сигналів, які видає даний алгоритм. Таким чином, коли розроблений метод знаходить розлад або раніше за його фактичне введення, або не знаходить його взагалі, ми вилучаємо такі результати з масиву даних і підраховуємо їх кількість. Отримані результати наведені у табл. 3.3, де кількість помилкових результатів наведена у відсотках від загальної кількості дослідів k :

Таблиця 3.3. Результати досліджень при зміщенні $1.3\sigma_0$

Параметр	$n = 2$	$n = 3$	$n = 4$	$n = 5$	$n = 6$	$n = 7$	$n = 8$	$n = 9$
Середня довжина серії $L(\delta)$	2,73	2,52	2,8	3,16	3,6	4,07	4,54	5,04
Кількість помилкових сигналів, %	31,15	8,32	3,12	1,03	0,37	0,15	0,06	0,08

Для того, щоб краще зрозуміти результати отриманих даних, потрібно провести дослідження зміни чутливості та помилковості методу ковзних ліній

регресії в залежності від величини зміщення. Тому, проведемо по 10 тисяч випробувань для кожного значення зміщення, починаючи від зміщення рівного $0.1\sigma_0$ і до тих пір, поки помилковість результатів не стане дорівнювати 0. Те, що помилковість повинна стати рівною нулю, логічно випливає з виразу (3.9), який показує, що при збільшенні значення зміщення збільшуються і граничні межі, а отже навіть при виникненні грубих одиночних промахів, вони не будуть перетинати граничні межі. Також, при збільшенні значень зміщень, перепад між звичайними значеннями процесу і зміщеними значеннями стає все більшим, що виражається у стрімкішому підйомі кута нахилу ковзної лінії регресії, що збільшує швидкість початку аналізу даних на предмет зміщення, а це призводить до зменшення помилкових сигналів з причини не знайденого зміщення. Таким чином, при прямуванні величини зміщення до нескінченності, обидві причини помилкових рішень прямують до нуля.

Отже, за результатами досліджень було виявлено, що вже при зміщенні рівному $3\sigma_0$, результати чутливості перестають змінюватись і набувають стабільного сталого значення, а помилковість стає рівною нулю, тому розглядати виміри при $\delta > 3$ немає сенсу. Таким чином, результати середньої швидкості визначення розладу процесу на підставі методу ковзної регресії в залежності від величини зміщення та числа послідовних контрольних точок, за якими будується ковзна лінія регресії, наведені у таблиці 3.4.

Таблиця 3.4. Середня швидкість визначення розладу

№ n/n	Допустиме зміщення процесу δ	Середня довжина серії $L(\delta)$							
		$n = 2$	$n = 3$	$n = 4$	$n = 5$	$n = 6$	$n = 7$	$n = 8$	$n = 9$
1	0,1	4,4	3,92	4,3	4,32	4,34	4,36	4,44	4,47
2	0,2	4,26	3,79	4,2	4,22	4,4	4,4	4,62	4,77
3	0,3	4,09	3,53	3,95	4,15	4,27	4,49	4,81	5,1
4	0,4	3,79	3,46	3,71	4,01	4,28	4,53	4,95	5,29
5	0,5	3,66	3,36	3,62	3,93	4,19	4,52	4,92	5,32
6	0,6	3,38	3,1	3,34	3,75	4,07	4,43	4,88	5,35
7	0,7	3,23	3	3,26	3,62	3,99	4,35	4,85	5,29
8	0,8	3,11	2,82	3,1	3,47	3,85	4,27	4,74	5,23
9	0,9	3,01	2,76	3,03	3,41	3,82	4,25	4,73	5,2
10	1	2,92	2,66	2,95	3,32	3,73	4,18	4,65	5,15

Продовження таблиці 3.4.

11	1,1	2,84	2,59	2,87	3,25	3,67	4,11	4,6	5,09
12	1,2	2,81	2,55	2,84	3,2	3,63	4,09	4,58	5,08
13	1,3	2,73	2,52	2,8	3,16	3,6	4,07	4,54	5,04
14	1,4	2,73	2,49	2,76	3,13	3,57	4,04	4,53	5,03
15	1,5	2,71	2,48	2,73	3,11	3,56	4,04	4,53	5
16	1,6	2,73	2,48	2,72	3,09	3,55	4,03	4,5	5
17	1,7	2,68	2,48	2,71	3,08	3,53	4	4,5	5
18	1,8	2,7	2,47	2,71	3,07	3,5	4	4,5	5
19	1,9	2,66	2,47	2,7	3,06	3,5	4	4,5	5
20	2	2,67	2,46	2,7	3,05	3,5	4	4,5	5
21	2,1	2,68	2,48	2,7	3,05	3,5	4	4,5	5
22	2,2	2,66	2,48	2,7	3,05	3,5	4	4,5	5
23	2,3	2,68	2,47	2,7	3,05	3,5	4	4,5	5
24	2,4	2,68	2,48	2,7	3,03	3,5	4	4,5	5
25	2,5	2,7	2,47	2,7	3,03	3,5	4	4,5	5
26	2,6	2,69	2,47	2,7	3,02	3,5	4	4,5	5
27	2,7	2,71	2,49	2,7	3,03	3,5	4	4,5	5
28	2,8	2,67	2,48	2,7	3,02	3,5	4	4,5	5
29	2,9	2,66	2,48	2,7	3,02	3,5	4	4,5	5
30	3	2,7	2,49	2,7	3,02	3,5	4	4,5	5

Для наочності, результати таблиці 3.4 зображені на рисунку 3.6.

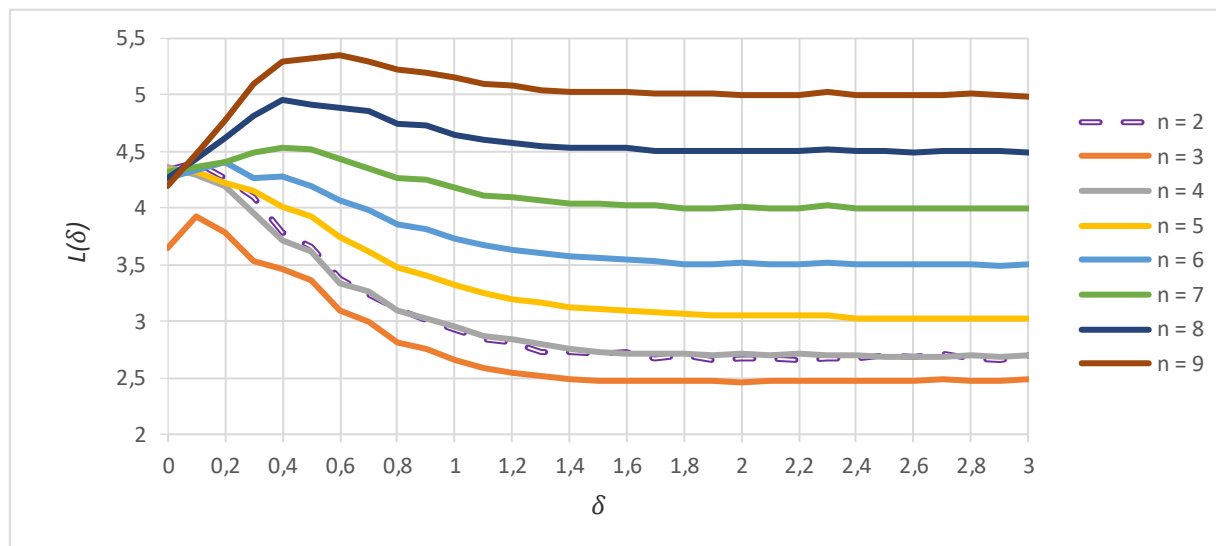


Рисунок 3.6 – Середня швидкість визначення розладу

Залежність кількості помилкових рішень, наведених у відсотках, від значень зміщень, при різних n ковзної регресії, наведена у таблиці 3.5.

Таблиця 3.5. Помилковість визначення розладу

№ n/n	Допустиме зміщення процесу δ	Кількість помилкових сигналів, %							
		$n = 2$	$n = 3$	$n = 4$	$n = 5$	$n = 6$	$n = 7$	$n = 8$	$n = 9$
1	0,1	84,38	91,34	82,78	80,07	75,68	71,83	67,64	61,65
2	0,2	83,44	89,57	80,26	76,01	71,29	66,93	59,84	54,42
3	0,3	82,58	86,43	76,19	69,6	64,02	56,9	50,07	43,69
4	0,4	79,37	81,7	68,83	59,49	50,63	44,06	36,18	30,45
5	0,5	76,4	76,63	60,97	49,62	39,08	31,31	24,54	19,85
6	0,6	72,17	67,41	51,27	37,68	27,15	20,54	15,36	11,76
7	0,7	66,39	57,33	40,17	26,8	17,87	12,43	8,01	6,07
8	0,8	60,54	47,25	29,84	17,52	9,94	6,74	4,24	2,89
9	0,9	54,02	36,93	20,85	10,98	5,77	3,37	2,08	1,38
10	1	47,4	28,28	15,04	6,5	3,16	2,05	1,19	0,66
11	1,1	41,3	19,39	9,12	3,79	1,65	0,86	0,43	0,26
12	1,2	35,95	13	5,37	2,04	0,69	0,33	0,15	0,13
13	1,3	31,15	8,32	3,12	1,03	0,37	0,15	0,06	0,08
14	1,4	26,66	4,8	1,65	0,54	0,13	0,04	0,04	0
15	1,5	23,7	3,02	1,19	0,34	0,06	0,03	0	0
16	1,6	21,97	1,85	0,51	0,2	0,05	0	0	0
17	1,7	20,13	0,82	0,31	0,05	0	0	0	0
18	1,8	19,18	0,42	0,13	0,07	0	0	0	0
19	1,9	17,91	0,27	0,04	0,03	0	0	0	0
20	2	17,51	0,11	0,06	0	0	0	0	0
21	2,1	17,24	0,05	0,04	0	0	0	0	0
22	2,2	16,88	0,04	0	0	0	0	0	0
23	2,3	16,31	0	0	0	0	0	0	0
24	2,4	17,1	0	0	0	0	0	0	0
25	2,5	17,23	0	0	0	0	0	0	0
26	2,6	16,83	0	0	0	0	0	0	0
27	2,7	16,57	0	0	0	0	0	0	0
28	2,8	16,26	0	0	0	0	0	0	0
29	2,9	16,61	0	0	0	0	0	0	0
30	3	16,68	0	0	0	0	0	0	0

Для наочності, результати таблиці 3.5 зображені на рисунку 3.7. Зіставивши дані таблиць 3.4 та 3.5, можна прийти до висновку, що існує певна залежність між зміною чутливості та зміною кількості помилкових рішень. Наприклад, саме в той час, коли кількість хибних сигналів методу стає рівною нулю, параметр середньої довжини серії стає стабільним та незмінним. Отже, можна зробити висновок, що значення швидкості визначення розладу є достовірним тільки для таких значень зміщення, при яких кількість хибних спрацювань даного алгоритму для даного n точок дорівнює нулю.

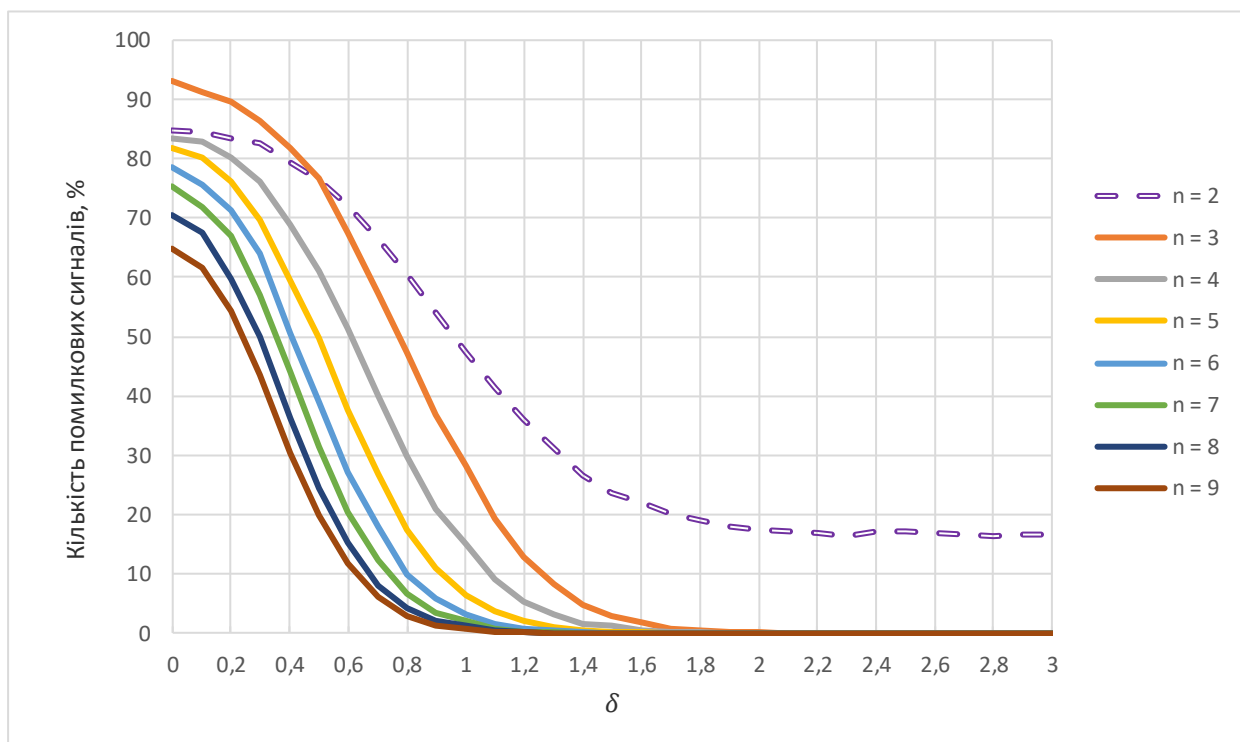


Рисунок 3.7 – Кількість помилкових сигналів

Наприклад, при зміщенні $0.3\sigma_0$ для $n=3$ послідовних точок, у 86.43% випадків алгоритм знаходив зміщення або раніше його введення, або не знаходив його взагалі, тому визначати швидкість для даного зміщення по тим 13.57% вдалих результатів не є коректним, що і відображено в отриманій завищеній середній швидкості рівній 3.53 контрольних кроки, коли натомість при зміщеннях, що не дають помилкових результатів, середня швидкість є стабільною і рівною 2.5 контрольних кроків [4].

Проте, середня швидкість не відображає мінімальну необхідну кількість кроків, якої буде достатньо для гарантованого визначення наявності зміщення тим чи іншим видом ковзної регресії. Тому, проаналізувавши отримані дані, було округлено результати в сторону більшого значення кількості контрольних кроків, що зображено на рисунку 3.8 [4]. Варто зауважити, що рисунок 3.8 справедливий при використанні n -ковзних ліній регресії для виявлення тільки тих значень зміщень, при яких згідно таблиці 3.5 метод не має помилкових сигналів.

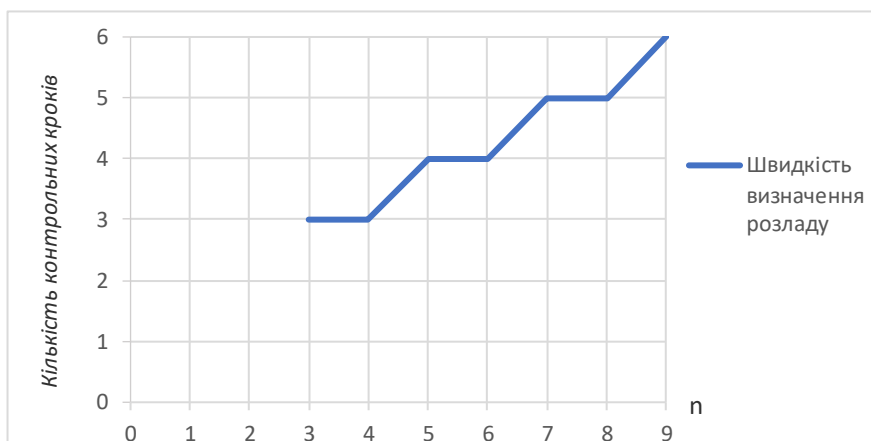


Рисунок 3.8 – Швидкість визначення розладу

Проаналізувавши рисунок 3.8, можна зробити висновок про наявність тренду залежності швидкості визначення розладу від кількості точок n , що використовуються для побудови ковзної лінії регресії. Для ілюстрації цього тренду було побудовано на рисунку 3.9 прогнозований тренд до числа $n = 20$.

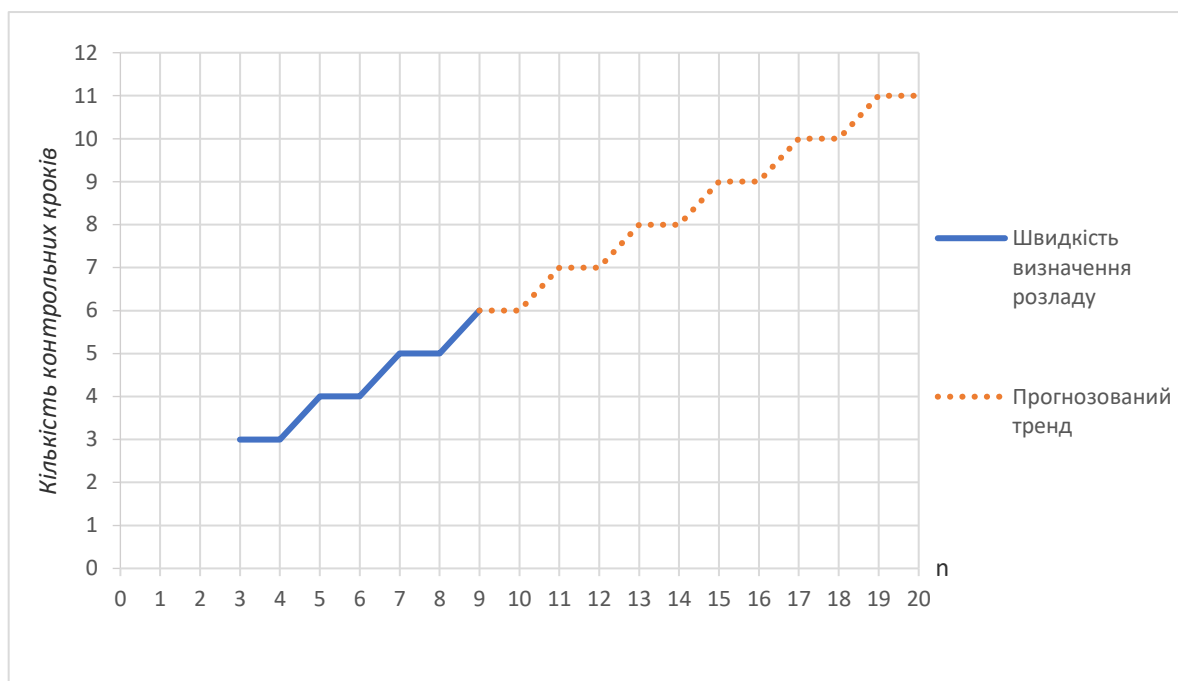


Рисунок 3.9 – Тренд залежності швидкодії методу від кількості точок ковзної регресії

На рисунку 3.9 можна спостерігати певну «сходинокість» лінії. Дане явище обумовлене парністю та непарністю числа точок n , які використовуються для побудови ковзної лінії регресії.

Висновки до розділу 3

В результаті проведених досліджень у розділі 3 було розроблено та теоретично обґрунтовано метод ковзної регресії; проведені практичні дослідження чутливості контрольних карт кумулятивних сум з використанням методу ковзної регресії в залежності від величини зміщення та числа послідовних контрольних точок, за якими будується ковзна лінія регресії; встановлено, що збільшення кількості послідовних n точок для побудови ковзної лінії дозволяє зменшити значення зміщення, при якому може бути достовірно визначена наявність розладу; показано, що результати швидкості можна вважати дійсними лише у випадках відсутності помилкових результатів алгоритму; визначено, що швидкість встановлення наявності розладнання, при значеннях зміщень, для яких не виникає помилкових результатів, не залежить від величини зміщення, а є стабільним показником, що, в свою чергу, є перевагою у порівнянні з деякими іншими видами карт, в яких, в залежності від зміщення, може падати чи зростати показник середньої довжини серії; на рисунку 3.9 отримано тренд росту кількості необхідних контрольних кроків для визначення зміщення від кількості послідовних n точок ковзної регресії; проаналізовано причини виникнення хибних сигналів та обґрунтована тенденція зниження кількості помилкових рішень при збільшенні величини допустимого зміщення.

4. РОЗРОБКА СТАРТАП-ПРОЄКТУ «FAST CONTROL CHARTS»

4.1 Опис та технологічний аудит ідеї стартап-проєкту

У сучасному світі роль якості продукції невіддільно зростає через постійне підвищення потреб людей та стрімкий розвиток технологій виробництва.

Якість - це ступінь, до якого сукупність власних характеристик задовольняє вимоги [21]. Важливим завданням для будь-якого виробника є підтримання якості власної продукції на високому рівні. Для цього використовують різноманітні методи та системи контролю процесів виробництва чи надання послуг.

Контроль якості – це встановлення відповідності продукції та процесів вимогам нормативно-технічної документації, зразкам чи еталонам; сукупність інформації про перебіг виробничого процесу та його стабільність; виявлення дефектної продукції на ранніх етапах; запобігання випуску недоброякісної продукції [22].

Таким чином, важливою задачею є розробка та впровадження сучасних систем контролю якості, які дозволять уникнути виробникам небажаних втрат. У минулих розділах було розглянуто та досліджено, на базі контрольних карт кумулятивних сум, модифікований метод ковзної регресії, який дозволяє точніше та швидше виявляти розладнання технологічних процесів, тому пропонується ідея створення на його основі інформаційно-вимірювальних систем контролю якості продукції.

Спектр послуг:

- встановлення інформаційно-вимірювальної системи контролю якості продукції;
- встановлення вимірювального обладнання;
- підключення програмного забезпечення для контролю виробничих процесів та процесів надання послуг;
- налаштування систем контролю під поставлені задачі;
- планове та позапланове обслуговування систем.

У таблиці 4.1 наведено зміст ідеї, вказані головні напрямки застосування та перераховані найсуттєвіші вигоди для клієнтів.

Таблиця 4.1. Опис ідеї стартап-проєкту

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для користувача
Ідея полягає в тому, щоб на запит виробників покращувати якість виготовленої продукції чи наданих послуг. Для цього впроваджується інтелектуальна інформаційно-вимірjuвальна система на базі покращеного алгоритму виявлення відхилень параметрів якості товарів чи процесів.	Контроль якості виготовленої продукції	Покращення якості виготовленої продукції чи наданих послуг. Попередження економічних і репутаційних втрат від можливого виготовлення партій товарів, які можуть виявитись бракованими. Зменшення витрат на контроль якості продукції, адже контроль проводить автоматизована система, для якої потрібен лише один оператор, а не цілий відділ працівників по забезпеченню контролю якості. Оперативніше отримання результатів про розлад досліджуваного процесу ніж у конкурентів, за рахунок використання модифікованого методу ковzної регресії.
	Контроль параметрів виробничих процесів	
	Контроль якості наданих послуг	

Таким чином, пропонується новий спосіб контролю якості виробничих процесів на основі модифікованого методу ковzної регресії, на базі якого буде розроблена інтелектуальна інформаційно-вимірjuвальна система, яка дозволить покращити якість виготовлених товарів, попередити економічні та репутаційні втрати від неякісної чи бракованої продукції, забезпечить оперативне виявлення відхилень досліджуваних процесів.

Далі, в таблиці 4.2 проведемо порівняльний аналіз техніко-економічних переваг запропонованої ідеї відносно пропозицій конкурентів:

- опишемо перелік техніко-економічні параметри ідеї;
- визначимо основне коло конкурентів, товари-замінники та товари-аналоги, які вже представлені на ринку;

- проведемо порівняння слабких, нейтральних та сильних сторін проєкту.

Таблиця 4.2. Визначення слабких, нейтральних та сильних характеристик ідеї проєкту

№ п/п	Техніко-економічні характеристики ідеї	(Потенційні) товари/концепції конкурентів			W слабка сторона	N нейтраль-на сторона	S сильна сторона
		Мій проєкт	Компанія «Omron»	Компанія «TG Consulting»			
1.	Швидкодія виявлення відхилень якості	125%	100%	90%	-	-	+
2.	Вартість послуг	95	100	100	-	+	-
3.	Спектр послуг	5	11	9	+	-	-
4.	Можливість дослідження невиробничих процесів	Так	Ні	Так	-	+	-
5.	Торгова марка	Назва відразу ідентифікує суть і переваги запропонованої послуги. Логотип не сформований.	Назва і логотип не дають змоги ідентифікувати запропоновані послуги.	Назва та логотип дозволяють ідентифікувати послуги, що пропонує компанія.	-	+	-

Таким чином, запропонований стартап-проєкт містить кращий параметр швидкодії ніж у існуючих конкурентів, нижчу вартість послуг та найкращу назву, яка відразу говорить про рід діяльності компанії. Проте, слабкою стороною є спектр послуг, який в силу невеликого розміру компанії очевидно поступається конкуруючим виробникам, що вже не один рік працюють на даному ринку.

Далі, в таблиці 4.3 проводимо аудит технологічної здійсненності проєкту, а саме дослідження мов програмування, які можуть використовуватись для написання програмної частини системи.

Таблиця 4.3. Технологічна здійсненність ідеї проєкту

№ п/п	Ідея проєкту	Технології її реалізації	Наявність технологій	Доступність технологій
1.	Алгоритм оцінки якості досліджуваного процесу з використанням модифікованого методу ковзної регресії	Мова програмування Python	+	+
		Мова програмування C#	+	+
		Мова програмування Java	+	+
Обрана технологія реалізації ідеї проєкту: Технологія №1				

Таким чином, більшість сучасних мов програмування підходять для реалізації стартап-проєктів різного рівня складності, проте в нашому випадку було обрано технологію Python як найбільш швидку та просту в освоєнні, що робить пошук кваліфікованих працівників легшим та дешевшим. Також її великим плюсом є постійні оновлення, що підвищують швидкодію, та повна безкоштовність.

4.2 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проєкту

В даному підрозділі визначимо можливості ринку, які допоможуть нам при впровадженні проєкту, та загрози ринку, які перешкоджатимуть реалізації поставлених задач. В таблиці 4.4 було проаналізовано стан ринку, його обсяги, наведена рентабельність, кількість основних конкурентів, наявність чи відсутність певних специфічних вимог тощо.

Таблиця 4.4. Попередня характеристика потенційного ринку стартап-проєкту

№ п/п	Показники стану ринку (найменування)	Характеристика
1.	Кількість головних гравців, од	7
2.	Загальний обсяг продаж, грн/ум.од	1300000
3.	Динаміка ринку (якісна оцінка)	Зростає
4.	Наявність обмежень для входу (вказати характер обмежень)	Відсутні
5.	Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	Відсутні
6.	Середня норма рентабельності в галузі (або по ринку), %	40%

Таким чином, ринок, на який планує виходити даний стартап-проєкт, можна охарактеризувати як помірно-сприятливий, адже на ньому немає великої присутності іноземних великих компаній, сам ринок знаходиться у стані росту, а величина рентабельності дозволяє вже в короткі строки відбити витрачені ресурси.

Далі в таблиці 4.5 характеризуємо потенційних клієнтів нашого проєкту, визначаємось з основною цільовою аудиторією, їхніми цінностями та бажаннями.

Таблиця 4.5. Характеристика потенційних клієнтів стартап-проєкту

№ п/п	Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку)	Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів до товару
1.	Потреба в забезпеченні якості виготовлених товарів чи наданих послуг і скороченні фінансових та іміджевих втрат від надання неякісних послуг покупцям.	Великі та середні виробничі підприємства. Компанії зі сфери надання послуг.	Присутність або відсутність необхідності до встановлення вимірювальних датчиків – можливе використання лише програмної частини системи на базі наявних технічних засобів.	Висока швидкість виявлення відхилень досліджуваних характеристик від заданих. Висока відмовостійкість. Низька вартість утримання системи. Можливість роботи зі системою працівників без спеціальних знань.

Таким чином, основною цільовою аудиторією є великі та середні підприємства, а також компанії з надання різного виду послуг, в яких існує потреба в забезпеченні якості виготовленої продукції на високому рівні, а також в скороченні фінансових та іміджевих втрат. Також була визначена наявність попиту не тільки на встановлення повного комплексу система, а і впровадження тільки окремих її частин.

Проте, завадити успішній реалізації стартап-проєкту можуть певні загрози, зміст яких наведено у таблиці 4.6.

Таблиця 4.6. Фактори загроз

№ п/п	Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
1.	Конкуренти	Можливий стрімкий розвиток технологій у конкурентів.	Покращення власних алгоритмів і технічних засобів.
2.	Репутація	Великі компанії неохоче допускають до своїх процесів людей, що ще не зарекомендували себе на ринку.	Співпраця з більшими компаніями ринку, щоб вони поручились за якість нашого продукту. Використання агресивнішого маркетингу.
3.	Нове законодавство	Прийняття нових жорсткіших вимог до продукції	Приведення продукту до вимог, встановлених законом
4.	Фінансовий	Недостатня кількість коштів для потреб компанії	Участь у конкурсах від фондів стартапів. Залучення прямих інвестицій.
5.	Ціноутворення	Подорожчання основних компонентів, з яких виготовляється продукт	Пошук інших постачальників. Перехід на інші компоненти.
6.	Рекламна кампанія	Неефективне проведення рекламної кампанії	Зміна стратегії просування на ринку

Таким чином, багато факторів загроз не залежать від нас, а є зовнішніми чинниками. Незважаючи на це, для кожної такої загрози наведено план по зменшенню збитків від її виникнення, тим самим підвищується стійкість стартап-проекту і його інвестиційна привабливість. Найбільш вірогідними загрозами є подорожчання основних компонентів, з яких виготовляється продукт, а також фактор низької репутації та неефективної рекламної кампанії. В то же час, найменш вірогідною загрозою є прийняття жорсткішого законодавчого регулювання.

Далі, в таблиці 4.7 визначаємо найбільш небезпечні ризики за співвідношенням ступенів їх контролюваності та загрозливості для стартапу.

Таблиця 4.7. Контрольованість ризиків

Загрозливість ризику	Контрольованість ризику		
	Неконтрольований ризик (НКТ)	Частково контрольований ризик (ЧКТ)	Повністю контрольований ризик (ПКТ)
Катастрофічний ризик (КТ)			Репутація
Критичний ризик (КТ)		Ціноутворення Рекламна кампанія	
Прийнятний ризик (ПР)	Конкуренти Нове законодавство	Фінансовий	

Таким чином, у нас відсутні катастрофічні ризики, тому запуск стартапу та його реалізація з великою долею вірогідності не будуть схильні до різкого провалу. Також було визначено, що найбільш загрозливими ризиками є неконтрольовані ризики пов'язані з конкурентами та новим законодавством, а також частково контрольовані ризики пов'язані з проведенням рекламної кампанії та ціноутворенням на готовий продукт, а повністю контрольованим ризиком, який також значно впливає на результат, є репутація компанії. Щодо найменш важливих ризиків, то таким є фінансовий ризик, адже для успішного

старту проєкту не потрібні значні кошти, тому навіть з невеликим бюджетом компанія зможе пропонувати свої послуги на ринку, проте буде працювати скоріше з одиничними клієнтами, а не відразу з багатьма споживачами.

Проте, знівелювати ризики від деяких загроз допоможуть фактори можливостей, які відображені у таблиці 4.8.

Таблиця 4.8. Фактори можливостей

№ п/п	Фактор	Зміст можливості	Можлива реакція компанії
1.	Конкуренція	Невелика кількість компаній-конкурентів. Відсутність іноземних компаній в широкому вигляді.	Захоплення домінуючої позиції на ринку
2.	Технології	Поява нових технологій та обчислювальних машин може покращити можливості продукту	Впровадження нових технологій
3.	Уніфікована система	Створення однієї системи «все в одному»	Перехід від розробки індивідуальних замовлень до розробки стандартних рішень для великої кількості однотипних замовників
4.	Міжнародний ринок	Можливість надання послуг за кордоном	Співпраця з іноземними компаніями
5.	Спектр послуг	Розширення спектру послуг	Впровадження послуг, які не надають конкуренти

Таким чином, реалізація факторів можливостей для нашого стартапу залежить в основному від нас, тому теоретичні шанси побудувати успішний проєкт дуже зростають, в порівнянні з такими випадками можливостей, які, наприклад, залежать від прийняття певного законодавства чи від дій інших компаній. Визначено, що найбільш привабливими можливостями на досліджуваному ринку є розширення спектру послуг такими пропозиціями, яких не пропонують компанії конкуренти, а також перспективи виході на міжнародні ринки.

При виході на ринок, потрібно чітко усвідомлювати як цей ринок функціонує, якими є його основні параметри конкуренції, в чому проявляється ці фактори та який вплив вони мають на діяльність підприємства, тому у таблиці 4.9 наведено ступеневий аналіз конкуренції на ринку.

Таблиця 4.9. Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

Особливості конкурентного середовища	В чому проявляється дана характеристика	Вплив на діяльність підприємства (можливі дії компанії, щоб бути конкурентоспроможною)
1. Тип конкуренції: - чиста конкуренція	Вільне суперництво між виробниками коли жоден з підприємців не може впливати на загальну ситуацію на ринку або даний вплив є незначним і його можна не брати до уваги.	Потрібно в умовах вільного суперництва пропонувати споживачам кращу якість продукції ніж конкуренти
2. За рівнем конкурентної боротьби: - національна	Основна конкуренція розглядається на рівні країни	Потрібно мати можливість охопити всю територію країни як в рамках маркетингу, так і в наданні безпосередньо послуг
3. За галузевою ознакою: -внутрішньогалузева	Конкуренція відбувається між компаніями з однієї галузі надання послуг по забезпеченню контролю якості	Потрібно докладати зусиль для створення нових переваг над конкурентами в рамках галузі
4. Конкуренція за видами товарів: -товарно-родова	Конкуренція відбувається на рівні задоволення потреби контролю якості незалежно від виду засобів, що можуть використовуватись для цього	Потрібно розширювати спектр видів вирішення основної потреби
5. За характером конкурентних переваг: -нецінова	Для більшості виробників визначальними є технологічні характеристики запропонованих продуктів на ринку	Потрібно покращувати технологічні параметри продукту
6. За інтенсивністю: -не марочна	Невелика роль торгової марки	Потрібно постійно вдосконалювати запропонований продукт

Таким чином, завдяки проведеному аналізу конкуренції, було встановлено, що в цілому ринок є сприятливим для заходу нових гравців, проте необхідно створювати можливості по охопленню всієї території країни, постійно вдосконалювати розроблену систему, а також розширювати спектр рішень, що може постачати компанія.

Наступним кроком проведено аналіз умов конкуренції в даній галузі за М. Портером, що наведено у таблиці 4.10.

Таблиця 4.10. Аналіз конкуренції в галузі за М. Портером

	Прямі конкуренти в галузі	Потенційні конкуренти	Постачальники	Клієнти	Товари-замінники
Складові аналізу	Компанія «Omron» Компанія «TG Consulting»	Бар'єрами можуть бути низька доступність фінансових ресурсів, наявність патентів	Значення розміру поставок постачальникам, налагоджені поставки	Наявність змінних витрат, продуктова диференціація, прибутки	Вигідніші індивідуальні системи реалізації контролю якості
Висновки:	Інтенсивність конкурентної боротьби за контракти з серйозними компаніями є великою, проте, при роботі з невеликими виробниками, інтенсивність є помірною.	Є можливості входу на ринок за рахунок більшої ефективності запропонованих послуг, гнучких цін	Диктування умов роботи від постачальників немає	Клієнти диктують: фактичні параметри реалізації системи, впізнаваність на ринку	Обмежень для роботи немає

Таким чином, визначено головні фактори, які впливають на вибір ринку згідно характеру конкуренції. Аналіз цих факторів говорить про те, що існує серйозна конкуренція за контракти з великими промисловими виробництвами, проте є можливість виходу на ринок середніх і малих підприємств, а завдяки

більшій ефективності розробленої системи і відсутності диктування умов постачальниками, є великий шанс досягти успіху.

Далі переходимо до аналізу та обґрунтування факторів конкурентоспроможності. Варто пам'ятати, що підприємство надає своїм клієнтам найшвидший спосіб виявлення дефектів продукції та процесів, працює індивідуально з кожним споживачем незалежно від ціни заказаної системи чи статусу виробництва, готове до покриття власними послугами всієї території країни та надає повний інформаційний супровід у впровадженні та роботі як зі своїми системами, так і зі старішим обладнанням. Це все відображено у таблицях 4.11 та 4.12.

Таблиця 4.11. Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Обґрунтування (наведення чинників, що роблять фактор для порівняння конкурентних проєктів значущим)
1.	Індивідуальний підхід	Кожне виробництво унікальне, тому в більшості випадків потрібно буде розробляти індивідуальну систему під кожного замовника
2.	Швидкодія системи	Швидкодія системи є однією із головних характеристик продукту, адже вона дозволяє зменшити величину кількості втрат різних видів
3.	Ціна	Будь-який товар чи послуга оцінюється співвідношенням ціни і заявлених характеристик, тому величина ціни є дуже чутливим моментом у визначенні даного співвідношення
4.	Інформаційне забезпечення	Інформаційне забезпечення дозволяє використовувати продукт без особливої підготовки, що виражається у можливості виробників бути незалежними від інших компаній та мати неперервний виробничий процес
5.	Репутація	Виробники неохоче дозволяють втручатись у свої налагоджені процеси, тому якщо таке відбувається, то дозвіл на це отримують тільки зарекомендовані на ринку компанії.

Таблиця 4.12. Порівняльний аналіз сильних та слабких сторін «Fast Control Charts»

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Бали 1-20	Рейтинг товарів-конкурентів у порівнянні з Fast Control Charts						
			-3	-2	-1	0	+1	+2	+3
1.	Індивідуальний підхід	18		+					
2.	Швидкодія системи	16	+						
3.	Ціна	13			+				
4.	Інформаційне забезпечення	10				+			
5.	Репутація	14						+	

Як видно з таблиць 4.11 та 4.12, конкурентоспроможні фактори є суттєвими та мають значний позитивний внесок при впровадженні інформаційно-вимірювальних систем для статистичного оцінювання виробничих процесів. Вагомою перевагою та досягненням є найшвидша швидкодія система серед всіх конкурентів, а також гнучкий індивідуальний підхід та адекватна ціна.

Проте, ідеальних продуктів не існує, тому поряд з сильними сторонами є і слабкі, що відображено у таблиці 4.13, в якій також було наведено можливості та загрози, які є на досліджуваному ринку.

Таблиця 4.13. SWOT-аналіз

Сильні сторони: 1. Висока швидкодія реалізації контролю 2. Індивідуальний підхід 3. Можливість роботи з невиробничими процесами 4. Комплексна інформаційно-вимірювальна система 5. Гнучке ціноутворення 6. Відсутність необхідності спеціальних знань для роботи з системою	Слабкі сторони: 1. Відсутність репутації на ринку 2. Недостатній доступ до фінансових ресурсів
---	--

Можливості: 1. Розробка універсальних систем 2. Розширення спектру послуг 3. Вихід на міжнародні ринки 4. Залучення прямих інвестицій 5. Вдосконалення програмної та технічної складових систем	Загрози: 1. Мала зацікавленість в продукті у разі провалу рекламної кампанії 2. Поява великих іноземних конкурентів на ринку 3. Перебої в роботі постачальників 4. Можливий стрімкий розвиток технологій у конкурентів 5. Недостатня кількість коштів для потреб компанії 6. Здорожчання основних компонентів системи
--	---

За даними SWOT-аналізу можна зробити висновок, що переваг у продукту набагато більше ніж слабких сторін, тому навіть велика кількість загроз не є приводом для скасування планів по заходу на ринок.

На основі попереднього аналізу визначаємо альтернативи ринкової поведінки з метою виведення проєкту на ринок за оптимальний час та ресурси, що відображено у таблиці 4.14.

Таблиця 4.14. Альтернативи ринкового впровадження стартап-проєкту

№ п/п	Альтернатива (орієнтовний комплекс заходів) ринкової поведінки	Ймовірність отримання ресурсів	Строки реалізації
1.	Ресурсовитратне вдосконалення технічних та програмних параметрів продукту	Середня	6 міс.
2.	Запрошення досвідчених рекламних маркетологів для проведення ефективної рекламної кампанії	Висока	1 міс.
3.	Розширення спектру послуг	Висока	4 міс.

З наведених альтернатив обираємо стратегію агресивного та ефективного маркетингу з використанням досвідчених маркетологів, їх зв'язків та досвіду. Дана стратегія має найкраще співвідношення отриманої користі для проєкту за

період часу. Проте, існує також висока ймовірність впровадження розширеного спектру послуг.

Таким чином, в даному підрозділі було проаналізовано основні характеристики ринку, можливості та загрози, які на ньому існують, а також переваги і недоліки запропонованого продукту, які можуть нівелювати негативні аспекти ринку, згідно чого можна зробити висновок, що вихід продукту на ринок є доцільним і не тягне за собою особливої складності.

4.3 Розроблення ринкової стратегії стартап-проекту

Розроблення ринкової стратегії передбачає визначення стратегії охоплення ринку, для якої першим кроком у таблиці 4.15 описуємо цільові групи потенційних споживачів.

Таблиця 4.15. Вибір цільових груп потенційних споживачів

№ п/п	Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів	Готовність споживачів сприйняти продукт	Орієнтовний попит в межах цільової групи (сегменту)	Інтенсивність конкуренції в сегменті	Простота входу у сегмент
1.	Промислові компанії	Висока	Високий	Висока	Помірна
2.	Компанії з надання послуг	Висока	Середній	Середня	Помірна
3.	Науково-дослідні лабораторії	Середня	Низький	Середня	Важка
Обрано цільові групи: промислові компанії та компанії з надання послуг.					

За результатами дослідження потенційних споживачів, було обрано за основну цільову групу промислові компанії та компанії з надання послуг. Дані групи є найбільш готовими до впровадження такого роду систем, в той час к

науково-дослідні лабораторії або вже мають такі системи, або переважно самі їх розробляють якраз в рамках науково-дослідних робіт. Найбільший попит на продукт забезпечують промислові виробництва, адже в них легше оцінити втрати у разі поганої якості продукції, аніж в компаніях з надання послуг, де оцінити втрати важче, що призводить до меншої зацікавленості даних груп в наших пропозиціях. Було визначено, що простого входу не буде в жоден сегмент, проте сама наявність входу існує і в двох випадках вона є помірною, що є позитивним моментом.

Щоб працювати в обраному сегменті ринку, була сформована базова стратегія розвитку, наведені ключові дані про обрану стратегію, а також обрана альтернативна стратегія та описані її основні конкурентоспроможні позиції, що відображено у таблиці 4.16.

Таблиця 4.16. Визначення базової стратегії розвитку

№ п/п	Обрана альтернатива розвитку проєкту	Стратегія охоплення ринку	Ключові конкурентоспроможні позиції відповідно до обраної альтернативи	Базова стратегія розвитку*
1.	Стратегія спеціалізації. Концентрація на одному цільовому сегменті.	Розробка всеохоплюючих уніфікованих систем в рамках одного обраного сегменту ринку. Диференційований маркетинг	Забезпечення найкращого продукту серед конкурентів саме для обраного сегменту ринку.	Стратегія спеціалізації.

Таким чином, за основу була взята стратегія спеціалізації, яка полягає в концентрації підприємства на потребах одного обраного сегменту без необхідності розпилення ресурсів у багатьох сегментах. Отже, головною метою даної стратегії є максимальне задоволення потреб одного цільового сегменту, щоб надати вузькому колу споживачів кращої якості продукту під їх потреби, ніж надають конкуренти.

Далі обираємо стратегію конкурентної поведінки (табл. 4.17).

Таблиця 4.17. Визначення базової стратегії конкурентної поведінки

№ п/п	Чи є проєкт «першопрохідцем» на ринку?	Чи буде компанія шукати нових споживачів, або забирати існуючих у конкурентів?	Чи буде компанія копіювати основні характеристики товару конкурента, і які?	Стратегія конкурентної поведінки*
1.	Ні	Компанія буде шукати нових споживачів, які ще не використовують системи контролю якості власних продуктів.	Так, здебільшого мікросхеми, датчики та інші складові збірки приладу, які виготовляються іншими виробниками.	Стратегія заняття конкурентної ніші

Таким чином, було визначено стратегію заняття конкурентної ніші як базову стратегію конкурентної поведінки, в рамках якої важливим елементом є постійне формування лояльності та прихильності своїх клієнтів, а також, як би це дивно не було, підтримка бар'єрів для входу іншими компаніями в дану нішу.

Тому, найважливішим моментом в даній стратегії є вибір правильної ніші, яка була б досить прибутковою, стабільною, захищеною та непривабливою для конкурентів.

Також, завданням компанії буде шукати нових споживачів, щоб, надавши їм першими унікальні послуги даної ніші, надовго закріпити їх у списку своїх постійних клієнтів.

Далі розробляємо стратегію позиціонування, що відповідає за формування ринкової позиції, за якою клієнти повинні ідентифікувати проєкт. Тому, на основі вимог до продукту від цільової аудиторії, до постачальника, а також у відповідності до стратегії розвитку та конкурентної поведінки, у таблиці 4.18 визначені параметри стратегії позиціонування.

Таблиця 4.18. Визначення стратегії позиціонування

№ п/п	Вимоги до товару цільової аудиторії	Базова стратегія розвитку	Ключові конкурентоспроможні позиції власного стартап-проєкту	Вибір асоціацій, які мають сформувати комплексну позицію власного проєкту (три ключових)
1.	Висока швидкодія продукту.	Стратегія спеціалізації	Висока швидкодія продукту. Індивідуальних підхід по розробці товару та ціноутворенню. Висока точність та надійність.	Висока швидкодія. Надійність. Індивідуальний підхід.
2.	Низька частота хибних спрацювань.			
3.	Надійність системи.			
4.	Простота використання.			

Таким чином, в рамках даного підрозділу було сформовано узгоджену систему рішень відносно поведінки на ринку, яка буде визначати напрями роботи, способи та стратегію розвитку, вибір моделі поведінки з конкурентними компаніями та клієнтами. Визначено найкращими стратегіями зосередження на конкретному сегменті ринку та надаванню найкращих пропозицій в межах однієї ніші.

4.4 Розроблення маркетингової програми стартап-проєкту

Для того, щоб розробити ефективну маркетингову програму для нашого стартап-проєкту, потрібно почати з формулювання маркетингової концепції продукту, що отримає клієнт. Тому, одним з перших кроків підсумуємо у таблиці 4.19 попередні результати аналізу конкурентоспроможності продукту, а саме наведемо потреби споживачів та вигоду, яку пропонує наш товар для них.

Таблиця 4.19. Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

№ п/п	Потреба	Вигода, яку пропонує товар	Ключові переваги перед конкурентами (існуючі або такі, що потрібно створити)
1.	Зменшення витрат через брак товарів.	Забезпечення швидкої реєстрації відхилень виготовленої продукції від заданих еталонів	Швидке та своєчасне попередження виробника про виникнення розладнання процесу, що дозволяє уникнути виготовлення великої кількості незадовільних товарів
2.	Підвищення якості виготовлених товарів.	Точна ідентифікація незначних за розміром відхилень	Більша точність вимірювань, що дозволяє зменшити допуски виробництва і тим самим підвищити якість продукції.

Таким чином, у наших цільових клієнтів існує такий перелік потреб, який нашій продукт в змозі задовольнити, тому важливою задачею є донести цю інформацію до потенційних покупців, щоб максимальна кількість ключових переваг над конкурентами була відомою та спонукала до користування нашими послугами.

Наступним кроком є деталізація характеристик продукту стартап-проєкту у вигляді їх розбиття на різні рівні товару, що дозволяє уточнити сутність товару за задумом, його фізичні та нематеріальні властивості, а також навести інформацію про процес надання послуги, що відображено у таблиці 4.20.

Таблиця 4.20. Опис трьох рівнів моделі товару

Рівні товару	Сутність та складові		
I. Товар за задумом	Інформаційно-вимірювальна система контролю розладу процесу		
II. Товар у реальному виконанні	Властивості/характеристики	М/Нм	Вр/Тх /Тл/Е/Ор
	1. Швидкодія виявлення браку	Нм	Тл
	2. Ціна	М	Е
	3. Складність роботи з системою	Нм	Тл
	4. Підтримка продукту з часом	Нм	Ор
	5. Точність системи	Нм	Тх
Якість: норми ДСТУ виконані			

III. Товар із підкріпленням	Пакування: картонний контейнер
	Марка: Fast Control Charts
	До продажу: технічні компоненти інформаційно-виміральної системи, програмне забезпечення на флеш-накопичувачу Після продажу: оновлення програмної частини системи для підвищення якості продукту; можливе оновлення технічної частини системи; інформаційна підтримка клієнтів у разі виникнення звернень.

Таким чином, основними характеристиками досліджуваного продукту є нематеріальні характеристики, які в той же час дозволяють отримувати матеріальні винагороди для їх користувачів. Визначено, що зовнішній вигляд компонентів системи, їх пакування, не впливають на задоволеність чи незадоволеність клієнтів, тому використовуються прості картонні контейнери, причому в рідкісних випадках, адже в більшості випадків співробітники проєкту будуть привозити та встановлювати систему самостійно.

Далі, потрібно встановити цінові межі, що будуть використовуватись компанією при встановленні граничної ціни на продукт. Для цього у таблиці 4.21 наведена порівняльна інформація щодо рівня цін у рішень конкурентів.

Таблиця 4.21. Визначення меж встановлення ціни

№ п/п	Рівень цін на товари-замінники	Рівень цін на товари-аналоги	Рівень доходів цільової групи споживачів	Нижня та верхня межі встановлення ціни на товар/послугу
1.	10000 - 20000 грн	8000 – 16000 грн	Неможливо встановити	6000 – 14000 грн

Таким чином було встановлено межі ціни на розроблювану систему, які є конкурентними як у порівнянні з товарами-замінниками, так і в порівнянні з товарами-аналогами, причому наш продукт має кращі технічні характеристики.

Далі, визначаємо оптимальну систему збуту, що буде відповідати за прийняття рішень щодо процесів зберігання та реалізації товару, оптимальної

глибини каналу збуту, функцій постачальників та посередників, що відображено у таблиці 4.22.

Таблиця 4.22. Формування системи збуту

№ п/п	Специфіка закупівельної поведінки цільових клієнтів	Функції збуту, які має виконувати постачальник товару	Глибина каналу збуту	Оптимальна система збуту
1.	Нерегулярне замовлення послуги з подальшим індивідуальним встановленням системи	Зберігання складових системи, сортування, організація доставки товару, встановлення системи, контакт із замовниками	Канал прямого маркетингу нульового рівня	Роздрібна торгівля власними силами

Таким чином, глибиною каналу збуту встановлено канал нульового рівня, тобто наша компанія буде використовувати прямий маркетинг для подальшої роздрібної торгівлі власними силами.

Наступною складовою нашої маркетингової програми є визначення концепції маркетингових комунікацій (табл. 4.23), яка базується на обраній основі для позиціонування.

Таблиця 4.23. Концепція маркетингових комунікацій

№ п/п	Специфіка поведінки цільових клієнтів	Канали комунікацій, якими користуються цільові клієнти	Ключові позиції, обрані для позиціонування	Завдання рекламного повідомлення	Концепція рекламного звернення
1.	Замовлення послуг онлайн	Соціальні мережі Месенджери Інтернет-портали	Швидкодія Надійність Гнучка ціна	Демонстрація переваг над конкурентами	Таргетована реклама; інтернет-оголошення; розіграші
2.	Замовлення послуг офлайн	Особиста комунікація Месенджери	Швидкодія Простота Індивідуальний підхід	Демонстрація роботи системи	Розповсюдження рекламних листівок, реклама на тематичних заходах

Таким чином, було визначено дві основні специфіки комунікації цільових клієнтів, які виражаються у комунікації через інтернет та особисте спілкування, згідно чого встановлені кожному виду найефективніші способи комунікації та розгортання реклами, як наприклад таргетована реклама в інтернеті та розповсюдження рекламних листівок на тематичних заходах.

Висновки до розділу 4

В даному розділі було розроблено згідно вимог [23] стартап-проект, ідея якого полягає в розробці та впровадженні сучасної інформаційно-вимірjuвальної системи контролю якості виробничих процесів на базі контрольних карт з використанням швидкого модифікованого методу ковзної регресії. Було визначено, що дана система вирішує проблему контролю за виникненням неякісних товарів чи наданих послуг, що дозволяє встановлювати причини відхилень процесів від заданих параметрів, результатом чого є уникнення підприємствами економічних та іміджевих втрат.

Проведено дослідження технологічної здійсненності проекту, який показав, що з технічної точки зору проект є можливим для здійснення, причому з використанням безкоштовних технологій.

Проаналізовано ринкові можливості запуску стартапу, згідно чого можна сказати, що ринок є в цілому привабливим, адже він постійно зростає, має гарний показник рентабельності та невелику конкуренцією, причому ті компанії, що представлені на ньому, пропонують по багатьом аспектам гірший продукт в порівнянні з параметрами конкурентоспроможності нашого продукту. Проте, існують і фактори загроз, що можуть завадити успішній реалізації стартапу, але в проведеній роботі було розроблено для кожної такої загрози план дій по зменшенню негативного впливу від їх виникнення, тим самим підвищуючи стійкість проекту та його інвестиційну привабливість.

Було розроблено ринкову стратегію, за якою визначені основні цільові групи потенційних клієнтів (промислові компанії та компанії з надання послуг)

та обрана стратегія спеціалізації, яка полягає в концентрації зусиль на вирішенні потреб одного сегменту без розпилення ресурсів в інших сферах.

Також було розроблено маркетингову програму стартап-проєкту, результатами якої є чітке визначення основних переваг потенційного товару для подальшого його просування з урахуванням специфіки поведінки цільових клієнтів.

Таким чином, розглянувши всі головні підрозділи по розробленню стартапу, можна зробити висновок, що проєкт є здійсненним та з великою долею вірогідності матиме успіх в практичній реалізації.

ВИСНОВКИ

В даній магістерській дисертації було досліджено методи контрольних карт по визначенню розладнання технологічного процесу в інформаційно-вимірювальних системах. В результаті роботи, було проаналізовано різновиди контрольних карт, принципи їх роботи та побудови, наведені переваги та недоліки, зокрема щодо швидкодії виявлення розладнання процесу в залежності від параметру зміщення. Було розібрано контрольні карти для кількісних і альтернативних даних, їх відмінності та специфіку застосування. Розглянуто параметри правильного формування контрольних вибірок для проведення досліджень, вибір їх обсягу, кількості та частоти відбору.

Проведено опис контрольних карт Шухарта, правила їх побудови, розглянуто випадки з заданими значеннями параметрів процесу і не заданими, види можливих помилок першого та другого роду, обидва етапи встановлення та підтримання стану статистичної керованості. Розглянуто алгоритм побудови контрольних карт кумулятивних сум, їх основні особливості та переваги над іншими видами карт, описані критерії ухвалення рішень, розглянута класифікація V-масок. Визначена зручна міра ефективності – середня довжина серії, за допомогою якої оцінена чутливість наведених різновидів контрольних карт, яка показала, що CUSUM-карти є найбільш чутливими до зміщення процесу, тому саме на основі даних карт був розроблений та теоретично обґрунтований метод ковзної регресії.

Було проведено практичні дослідження чутливості контрольних карт на основі методу ковзної регресії в залежності від величини зміщення та числа послідовних контрольних точок, за якими будується ковзна лінія регресії, результатом чого вперше отримано дані швидкодії розглянутого модифікованого методу. Встановлено, що збільшення кількості послідовних n точок для побудови ковзної лінії дозволяє зменшити значення зміщення, при якому може бути достовірно визначена наявність розладу. Показано, що результати швидкодії можна вважати дійсними лише у випадках відсутності

помилкових результатів алгоритму. Визначено, що швидкість встановлення наявності розладнання, при значеннях зміщень, для яких не виникає помилкових результатів, не залежить від величини зміщення, а є стабільним показником, що, в свою чергу, є перевагою у порівнянні з іншими видами карт, в яких, в залежності від зміщення, може падати чи зростати показник середньої довжини серії. Проаналізовано причини виникнення хибних сигналів та обґрунтована тенденція зниження кількості помилкових рішень при збільшенні величини допустимого зміщення.

Враховуючи розглянуті особливості та переваги даного методу, було розроблено на його основі стартап-проект, ідея якого полягає в розробці та впровадженні сучасної інформаційно-вимірювальної системи контролю якості виробничих процесів. Згідно проведеного дослідження було встановлено, що стартап-проект є здійсненним та з великою долею вірогідності матиме успіх в практичній реалізації.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Метрологическое обеспечение информационно-измерительных систем. Сборник руководящих документов. – М.: Издательство стандартов. 1984. – 264 с.
2. Закон України «Про метрологію та метрологічну діяльність» / Відомості Верховної Ради (ВВР), 2014, № 30, ст.1008. (Із змінами, внесеними згідно із Законом № 124-VIII від 15.01.2015, ВВР, 2015, № 14, ст.96).
3. Паламар М. І. Контрольно-вимірювальні комплекси: Конспект лекцій. - Тернопіль: ТНТУ, 2014. – 157 с.
4. Лущик Д.В., Володарський Є.Т. Швидкодія методу ковзної регресії // Ефективність та автоматизація інженерних рішень у приладобудуванні. – 2021. – №. 17. – С. 218-221.
5. Статистичний контроль. Карти контрольні. Частина 1. Загальні настанови (ISO 7870-1:2014, IDT): ДСТУ ISO 7870-1:2016. – [Чинний від 2016-09-01]. – (Національний стандарт України).
6. Воронцов К.В. Основи статистичного аналізу даних. Статистичний аналіз даних. URL: <https://hram-bal.ru/uk/osnovy-statisticheskogo-analiza-dannyh-statisticheskii-analiz/>
7. Shewhart W.A. Economic Control of Manufactured Product. D. Van Norstrand, Co, New York, 1931, pp.501.
8. Статистичний контроль. Карти контрольні. Частина 2. Карти Шухарта (ISO 7870-2:2013, IDT): ДСТУ ISO 7870-2:2016. – [Чинний від 2016-09-01]. – (Національний стандарт України).
9. Завгородня Є.Є. Статистичні методи контролю якості: навч. посіб. / за ред. Є.Є. Завгородня, О. Є Снітко. Старобільськ : Альма-матер, 2017. – 74 с.
10. Методичні вказівки до практичних робіт з дисципліни "Методи управління якістю". URL: <https://nadoest.com/metodichni-vkazivki-do-praktichnih-robit-z-disciplini-metodi-u-v2-stor-3>

11. Шведова В.В. Можливості застосування контрольних карт при статистичному керуванні якістю // Двадцять шоста всеукраїнська практично-пізнавальна інтернет-конференція. – 2014. – №. 26.
12. Статистичний контроль. Карти контрольні. Частина 4. Карти кумулятивних сум (ISO 7870-4:2011, IDT): ДСТУ ISO 7870-4:2016. – [Чинний від 2016-09-01]. – (Національний стандарт України).
13. Володарський Є. Т., Добролюбова М. В., Клевцова М. О. Аналіз чутливості контрольних карт Шухарта // Інформаційні системи, механіка та керування. – 2017. – №. 17. – С. 51-60.
14. Лущик Д.В. Чутливість різновидів контрольних карт // Ефективність та автоматизація інженерних рішень у приладобудуванні. – 2021. – №. 17. – С. 215-217.
15. Виды контрольных карт, применяемые для статистического регулирования технологических процессов — [Электронный ресурс] — URL: <https://studfile.net/preview/2152073/page:15/>
16. Потоцький І. О. Методи встановлення інтервалів калібрування еталонів та засобів вимірювальної техніки : дис. ... канд. техн. наук : спец. 05.01.02 «Стандартизація, сертифікація та метрологічне забезпечення» / Потоцький Ігор Олексійович ; КПІ. — К., 2020. — 147 с.
17. Володарский Е.Т. Особенности, возможности и применение контрольных карт накопленных сумм. Часть 1. Метод графической оценки разлаженности технологического процесса / Е.Т. Володарский, Л.А.Кошечая, И.А. Потоцкий // Метрологія і прилади, 2019. – № 4. – С. 24 – 30.
18. Володарский Е.Т. Особенности, возможности и применение контрольных карт накопленных сумм. Часть 2. Численный метод оценки разлаженности технологического процесса / Е.Т. Володарский, Л.А. Кошечая, И.А. Потоцкий // Метрологія і прилади, 2019. – № 5, С. 3-7.
19. Gatti, P.L. Probability Theory and Mathematical Statistics for Engineers. – Taylor & Francis. – 2004.

20. Вальд А. Последовательный анализ: Монография. – [переклад з англ.]. – М.: Физматиз. – 1960. – 320 с.
21. Системи управління якістю. Основні положення та словник термінів (ISO 9000:2015, IDT): ДСТУ ISO 9000:2015. – [Чинний від 2016-01-01]. – (Національний стандарт України).
22. Метрологія, стандартизація та управління якістю. Л. П. Клименко, Л. В. Пізінцалі, Н. І. Александровська, В. Д. Євдокимов — Миколаїв: Вид-во ЧДУ ім. Петра Могили, 2011.
23. Розроблення стартап-проекту [Електронний ресурс] : Методичні рекомендації до виконання розділу магістерських дисертацій для студентів інженерних спеціальностей / За заг. ред. О.А. Гавриша. – Київ : НТУУ «КПІ», 2016. – 28 с.

УДК 681.5

Д.В. Луцик, студент гр. ПА-01мн
КПІ ім. Ігоря Сікорського

ЧУТЛИВІСТЬ РІЗНОВИДІВ КОНТРОЛЬНИХ КАРТ

Анотація. В статті досліджується чутливість контрольних карт на основі середньої довжини серії в залежності від допустимого зміщення процесу.

Ключові слова: контрольні карти, чутливість, середня довжина серії, розлад процесу.

ВСТУП

Завданням статистичного управління процесами є забезпечення та підтримка процесів на прийнятному та стабільному рівні, гарантуючи відповідність продукції та послуг встановленим вимогам [1]. Головний статистичний інструмент для цього — контрольна карта.

Контрольна карта — це графічний засіб застосовування статистичних методів, важливість яких для керування виробничими процесами була вперше показана доктором Уолтером Шухартом у 1924 р. [2].

Контрольні карти Шухарта використовують для оцінки того, чи перебуває технологічний процес, процес обслуговування чи адміністративного управління у статистично керованому стані.

Одним із головних критеріїв ефективності контрольних карт є чутливість.

МЕТА РОБОТИ

Дослідити чутливість контрольних карт на основі середньої довжини серії (СДС) в залежності від допустимого зміщення процесу.

МАТЕРІАЛИ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Чутливість контрольних карт — це здатність до виявлення розладнання технологічного процесу, яка оцінюється на основі СДС, що визначається числом вибірок з моменту розладнання процесу до його виявлення контрольною картою, тобто виходу точок параметрів процесу за граничні значення [3].

СДС є математичним очікуванням кількості вибірок, необхідним для прийняття рішення про наявність розладнання [4]. Якщо розладнання немає, то ідеальним значенням СДС є нескінченність. У цьому випадку, на практиці стоїть завдання зробити значення СДС якомога більшим. І навпаки, за присутності зміщення, ідеальне значення СДС повинно становити 1, що відповідає виявленню зміщення на першому контрольному кроці.

Для статистичного регулювання процесу застосовують різні різновиди контрольних карт, які за схемою побудови можна поділити на три групи [5]:

- прості контрольні карти (карти Шухарта);
- контрольні карти з попереджувальними межами, що є модифікацією простих контрольних карт;
- контрольні карти кумулятивних сум.

Наведені три види контрольних карт відчутно відрізняються по чутливості виявлення розладу, що відображено у табл. 1, де наведені дані залежності

середньої довжини серії L різних видів контрольних карт від допустимого зміщення процесу δ , приведеного в одиницях стандартного відхилення σ .

Таблиця 1. Середня довжина серії різних видів контрольних карт [4]

№ n/n	Допустиме зміщення процесу δ	Середня довжина серії $L(\delta)$		
		Контрольна карта кумулятивних сум з використання V- маски	Проста контрольна карта Шухарта	Контрольна карта Шухарта з попереджувальними межами
1	0,0	931,0	741,0	556,0
2	0,2	198,0	308,0	223,0
3	0,4	60,0	200,0	134,0
4	0,6	27,0	120,0	75,0
5	0,8	15,0	72,0	43,0
6	1,0	10,0	44,0	26,0
7	1,2	7,8	28,0	16,0
8	1,4	6,3	18,0	11,0
9	1,6	5,3	12,0	7,4
10	1,8	4,6	8,7	5,4
11	2,0	4,0	6,3	4,1
12	2,2	3,6	4,7	3,2
13	2,4	3,3	3,7	2,6
14	2,6	3,0	2,9	2,2
15	2,8	2,8	2,4	1,9
16	3,0	2,6	2,0	1,7

Наочна ілюстрація даних із табл.1, в діапазоні СДС від 0 до 50 контрольних кроків, зображена на Рис.1.

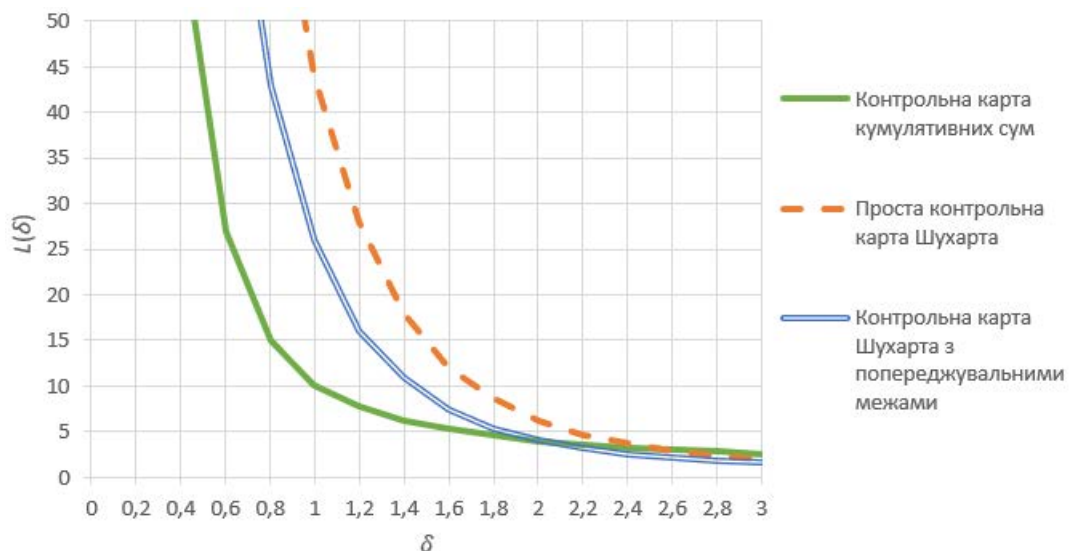


Рисунок 1. Середня довжина серії різних видів контрольних карт

З даних табл. 1 і Рис. 1 видно, що, при нульовому допустимому зміщенні процесу, для контрольних карт кумулятивних сум значення СДС є більшим, ніж для інших карт Шухарта. Таким чином, карти кумулятивних сум мають найнижчий рівень помилкових сигналів, адже чим більше значення СДС для

цільового значення, тим нижче ймовірність помилкових сигналів. Натомість, для контрольної карти Шухарта з попереджувальними межами значення СДС є значно меншим.

Для зміщень менше 2σ , СДС контрольних карт кумулятивних сум менша, ніж СДС будь-яких інших карт з найбільш швидкою реакцією на зміщення процесу. Це особливо відчутно в області від $0,4\sigma$ до $1,6\sigma$.

Для зміщень більше 2σ , контрольна карта Шухарта з попереджувальними межами швидше реагує на зміщення процесу, ніж два інших види карт, але при цьому карти Шухарта мають більш високий рівень помилкових сигналів [4].

ВИСНОВКИ

Загалом, прості контрольні карти виявляють розладнання найменш чутливо з-поміж інших двох видів карт. Це можна пояснити тим, що характеристики, що визначають стан технологічного процесу, розглядаються незалежно одна від одної, тобто кожен наступний результат вибіркового контролю не враховує попередні дані.

Контрольні карти з попереджувальними межами займають проміжне місце між простими картами Шухарта та картами кумулятивних сум. Краща ефективність в порівнянні з простими контрольними картами пояснюється наявністю, крім меж регулювання, попереджуючих меж, які побудовані у зоні меж регулювання [5].

Контрольні карти кумулятивних сум є найбільш чутливими до зміщення процесу, адже для оцінки стану технологічного процесу використовуються всі дані накопичених сум вибірових статистик, тобто враховуються як поточні дані, так і попередні вибірки. Таким чином, рішення, що приймаються на підставі інформації з багатьох вибірок, є більш достовірними, ніж рішення, засновані на результатах лише однієї вибірки.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Завгородня Є.Є. Статистичні методи контролю якості: навч. посіб. / за ред. Є.Є. Завгородня, О. Є Снітко. Старобільськ : Альма-матер, 2017. – 74 с.
- [2] Статистичний контроль. Карти контрольні. Частина 2. Карти Шухарта (ISO 7870-2:2013, IDT): ДСТУ ISO 7870-2:2016. – [Чинний від 2016-09-01]. – (Національний стандарт України).
- [3] Володарський Є. Т., Добролюбова М. В., Клевцова М. О. Аналіз чутливості контрольних карт Шухарта // Інформаційні системи, механіка та керування. – 2017. – №. 17. – С. 51-60.
- [4] Статистичний контроль. Карти контрольні. Частина 4. Карти кумулятивних сум (ISO 7870-4:2011, IDT): ДСТУ ISO 7870-4:2016. – [Чинний від 2016-09-01]. – (Національний стандарт України).
- [5] Виды контрольных карт, применяемые для статистического регулирования технологических процессов — [Электронный ресурс] — URL: <https://studfile.net/preview/2152073/page:15/>

Наук. керівник – д.т.н., проф. Володарський Є.Т.

УДК 681.5

Д.В. Луцук, студент гр. ПА-01мп, д.т.н., проф. Володарський Є.Т.
КПІ ім. Ігоря Сікорського

ШВИДКОДІЯ МЕТОДУ КОВЗНОЇ РЕГРЕСІЇ

Анотація. В статті досліджується швидкість визначення розладу технологічного процесу на підставі методу ковзної регресії в залежності від величини зміщення та числа послідовних контрольних точок, за якими будується ковзна лінія регресії.

Ключові слова: контрольні карти, ковзна регресія, зміщення, швидкість виявлення розладу.

ВСТУП

При будь-якому виробничому процесі чи наданні послуг існує мінливість параметрів продукту внаслідок наявності великої кількості випадкових або постійних факторів, що призводять до відхилень параметрів технологічних процесів. Дослідження такої мінливості надає можливість виявити причини та запобігти різним видам втрат для виробника, а також забезпечити знаходження процесу у статистично керованому стані. Основним інструментом статичного управління процесами є контрольні карти.

Контрольна карта — це графічний засіб застосовування статистичних методів, важливість яких для керування виробничими процесами була вперше показана доктором Уолтером Шухартом у 1924 р. [1]. Метою контрольних карт є визначення неприродних змін в даних для процесів, які повторюються, і надання критеріїв для виявлення недоліків статистичного керування [2].

На теперішній час, існує велика кількість різновидів і підходів до побудови контрольних карт, серед яких є модифікація карт кумулятивних сум з використанням ковзних ліній регресії, що дозволяє підвищити швидкість виявлення зміщення технологічного процесу.

МЕТА РОБОТИ

Дослідити чутливість до визначення розладу технологічного процесу за модифікованими картами кумулятивних сум з використанням ковзних ліній регресії в залежності від зміщення та числа послідовних контрольних точок, за якими будується лінія регресії.

МАТЕРІАЛИ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

В запропонованій модифікації карт кумулятивних сум [3], для часового зменшення затримки у виявленні моменту появи розладнання технологічного процесу вводиться, обумовлене тільки впливом випадкових величин, граничне значення допустимих відхилень $tg\theta_{\lim}$:

$$tg\theta_{\lim} = \frac{\delta\sigma_0}{2}, \quad (1)$$

де δ — нормоване допустиме зміщення процесу;

σ_0 — нормоване стандартне відхилення процесу.

Таким чином, достатньою ознакою зміщення характеристик процесу буде вихід поточного значення тангенсу кута нахилу лінії $tg\theta_i$, що утворюється n

послідовними контрольними точками, за одну із наступних меж (відповідно для позитивного та негативного зміщень):

$$\operatorname{tg} \theta_i > \operatorname{tg} \theta_{\lim}; \quad (2)$$

$$\operatorname{tg} \theta_i < -\operatorname{tg} \theta_{\lim}. \quad (3)$$

При цьому, щоб зменшити кількість отриманих хибних сигналів, пропонується ввести додатковий критерій, при якому прийняття рішення про стан технологічного процесу вважатиметься достовірним, якщо у випадку перевищення поточним значенням $\operatorname{tg} \theta_i$ граничної межі $\operatorname{tg} \theta_{\lim}$, чотири останні послідовні контрольні значення Y , що використовувалися у побудові ковзної лінії регресії, зростають:

$$Y_{i-3} < Y_{i-2} < Y_{i-1} < Y_i. \quad (4)$$

Логічно, що у випадку $\operatorname{tg} \theta_i < -\operatorname{tg} \theta_{\lim}$, додатковим критерієм буде:

$$Y_{i-3} > Y_{i-2} > Y_{i-1} > Y_i. \quad (5)$$

Для перевірки ефективності даного підходу з наведеними критеріями, було промодельовано випадковий процес з нормальним розподілом, в який вводилось нормоване зміщення δ відповідне $0.1\sigma_0, 0.2\sigma_0, \dots, 3\sigma_0$, і, в залежності від даного зміщення, використовуючи наведені вище критерії, визначалась швидкість виявлення цього зміщення при різній кількості n точок, що використовуються для побудови ковзної лінії регресії. Результати дослідження зображені на Рис. 1., де мірою швидкості виявлення зміщення є середня довжина серії $L(\sigma)$ — математичне очікування кількості контрольних кроків, необхідних для ухвалення рішення про наявність змін [4].

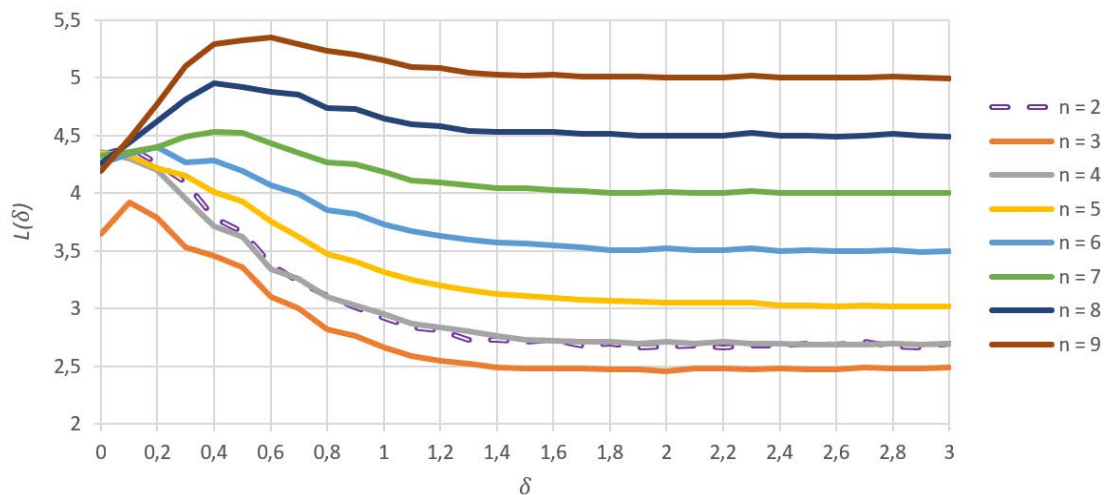


Рисунок 1. Середня швидкість визначення розладу

Таку поведінку графіків при малих значеннях зміщення можна пояснити тим, що при малих зміщеннях виникає велика кількість хибних результатів, а саме: наведений вище алгоритм визначення наявності розладу знаходить даний розлад або раніше за його фактичне введення, або не знаходить його взагалі. І в тому і в іншому випадку це є помилковою роботою алгоритму при таких зміщеннях. Тому ми вилучаємо такі результати з масиву даних і підраховуємо їх кількість. Залежність кількості помилкових рішень від значень зміщень, при різних n ковзної регресії, наведена на Рис. 2.

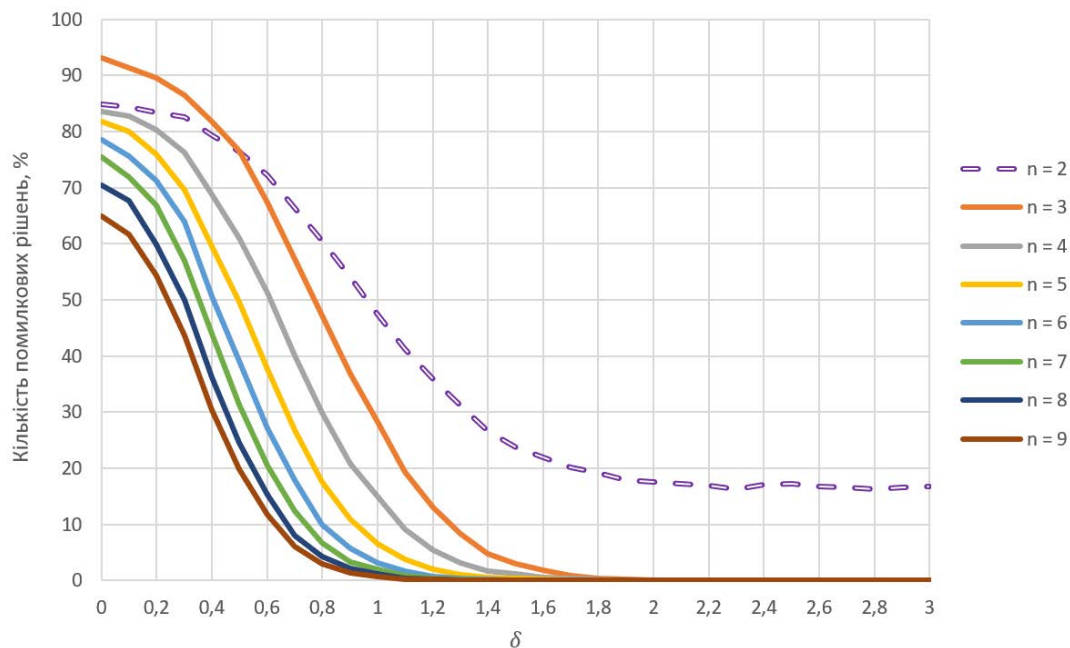


Рисунок 2. Помилковість визначення розладу

Таким чином, зіставивши обидва графіки, можна зробити висновок, що значення швидкості визначення розладу є стабільними, а найголовніше достовірними, тільки для таких значень зміщення, при яких кількість хибних спрацювань даного алгоритму для даного n точок дорівнює нулю.

Наприклад, при зміщенні $0.2\sigma_0$ для $n=3$ послідовних точок, у 89.35% випадків алгоритм знаходив зміщення або раніше його введення, або не знаходив його взагалі, тому визначати швидкість для даного зміщення по тим 10.65% вдалих результатів не є коректним, що і відображено в отриманій завищеній середній швидкості рівній 3.62 контрольних кроки, коли натомість при зміщеннях, що не дають помилкових результатів, середня швидкість є стабільною і рівною 2.5 контрольних кроків.

Проте, середня швидкість не відображає мінімальну необхідну кількість кроків, якої буде достатньо для гарантованого визначення наявності зміщення тим чи іншим видом ковзної регресії. Тому, проаналізувавши отримані дані, було округлено результати в сторону більшого значення кількості контрольних кроків, що зображено на Рис. 3.

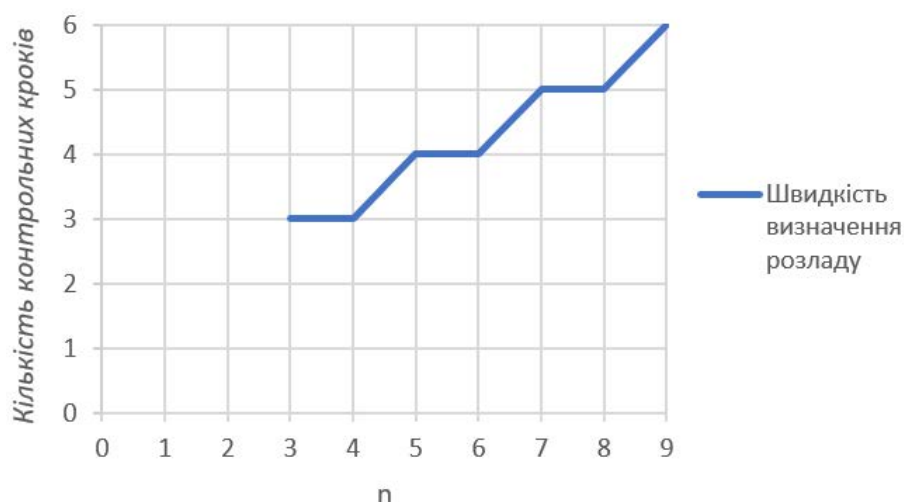


Рисунок 3. Швидкість визначення розладу

Відображення результатів на Рис. 3 починається з $n=3$ ковзної регресії, адже згідно Рис. 2, критерії даного підходу не дозволяють регресії за двома контрольними точками досягти безпомилкового встановлення розладнання навіть при великих значеннях зміщення.

Таким чином, з Рис. 3 можна зробити висновок, що зі збільшенням кількості послідовних контрольних точок n , за якими будується ковзна регресія, зростає і кількість контрольних кроків, необхідних для встановлення зміщення.

Проаналізувавши всі вище наведені залежності, можна встановити, що швидкість виявлення зміщення є стабільною для кожного n ковзної регресії, при умові відсутності помилкових результатів алгоритму, які виникають при невеликих значеннях зміщення.

ВИСНОВКИ

В результаті проведених досліджень було встановлено, що збільшення кількості послідовних n точок для побудови ковзної лінії дозволяє зменшити значення зміщення, при якому може бути достовірно визначена наявність розладу.

Встановлено, що результати швидкості можна вважати дійсними лише у випадках відсутності помилкових результатів алгоритму.

Визначено, що швидкість встановлення наявності розладнання, при значеннях зміщень, для яких не виникає помилкових результатів, не залежить від величини зміщення, а є стабільним показником, що відображений на Рис. 3. В свою чергу, це є перевагою у порівнянні з деякими іншими видами карт, в яких, в залежності від зміщення, може падати чи зростати показник середньої довжини серії.

Отримано тенденцію росту кількості контрольних кроків визначення зміщення від кількості послідовних n точок ковзної регресії.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Статистичний контроль. Карти контрольні. Частина 1. Загальні настанови (ISO 7870-1:2014, IDT): ДСТУ ISO 7870-1:2016. – [Чинний від 2016-09-01]. – (Національний стандарт України).
- [2] Статистичний контроль. Карти контрольні. Частина 2. Карти Шухарта (ISO 7870-2:2013, IDT): ДСТУ ISO 7870-2:2016. – [Чинний від 2016-09-01]. – (Національний стандарт України).
- [3] Потоцький І. О. Методи встановлення інтервалів калібрування еталонів та засобів вимірювальної техніки : автореф. дис. ... канд. техн. наук : спец. 05.01.02 «Стандартизація, сертифікація та метрологічне забезпечення» / Потоцький Ігор Олексійович ; КПП. — К., 2020. — 22 с.
- [4] Статистичний контроль. Карти контрольні. Частина 4. Карти кумулятивних сум (ISO 7870-4:2011, IDT): ДСТУ ISO 7870-4:2016. – [Чинний від 2016-09-01]. – (Національний стандарт України).

Наук. керівник – д.т.н., проф. Володарський Є.Т.