

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет _____ Інфокомунікацій _____
(повна назва)
Кафедра _____ Інформаційно-вимірювальних технологій _____
(повна назва)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
Пояснювальна записка

рівень вищої освіти _____ другий (магістерський) _____

Застосування методу Measurement System Analysis (MSA)
для підвищення якості метрологічного забезпечення контролю
в системі НАССР
(тема)

Виконав:

здобувач _____ другого _____ року навчання,
групи _____ ЗЯМ-24-1 _____

Шугай Валерія Володимирівна
(прізвище, ініціали)

Спеціальність _____ 175 «Інформаційно-
вимірювальні технології» _____
(код і повна назва спеціальності)

Тип програми _____ освітньо-професійна _____
(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Освітня програма _____ «Забезпечення якості» _____
(повна назва освітньої програми)

Керівник _____ доц. Дегтярьов О.В. _____
(посада, прізвище, ініціали)

Допускається до захисту
Зав. кафедри

_____ Захаров І.П. _____
(підпис) (прізвище, ініціали)

2025 р.

Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет _____ Інфокомунікацій _____

Кафедра _____ Інформаційно-вимірювальних технологій _____

Рівень вищої освіти _____ другий (магістерський) _____

Спеціальність _____ 175 Інформаційно-вимірювальні технології _____
(код і повна назва)

Тип програми _____ освітньо-професійна _____
(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Освітня програма _____ Забезпечення якості _____
(повна назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедри _____
(підпис)

« _____ » _____ 20 ____ р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

здобувачеві _____ Шугай Валерії Володимирівні _____

1. Тема роботи Застосування методу Measurement System Analysis (MSA) для підвищення якості метрологічного забезпечення контролю в системі НАССР

затверджена наказом університету № 1011Ст від 07.11.2025

2. Термін подання студентом роботи до екзаменаційної комісії 20 грудня 2025 р.

3. Вхідні дані до роботи метод MSA, система НАССР; ДСТУ ISO 9001:2015, ДСТУ ISO 22000:2019 Системи управління безпечністю харчових продуктів. Вимоги до будь-якої організації в харчовому ланцюзі (ISO 22000:2018, IDT)

4. Перелік питань, що потрібно опрацювати в роботі _____

1. Аналіз важливості забезпечення якості метрологічного контролю в системі НАССР _____

2. Розробка методу оцінювання придатності вимірювальних процесів в критичних контрольних точках _____

3. Розробка коригувальних заходів щодо підвищення якості забезпечення метрологічного контролю _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи)	Примітка
1	<u>Аналіз важливості забезпечення якості метрологічного контролю в системі НАССР</u>	05.11.2025	Виконано
2	<u>Розробка методу оцінювання придатності вимірювальних процесів в критичних контрольних точках</u>	20.11.2025	Виконано
3	Розробка основної частини	01.12.2025	Виконано
4	Написання пояснювальної записки	10.12.2025	Виконано
5	Підготовка презентації та доповіді	15.12.2025	Виконано
6	Представлення закінченої дипломної роботи на кафедрі	20.12.2025	Виконано

Дата видачі завдання _01.11.2025



Здобувач _____
(підпис)

Керівник роботи _____ доц. Дегтярьов О.В.
(підпис) (посада, прізвище, ініціали)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до магістерської кваліфікаційної роботи містить 61 сторінку, 12 рисунків, 13 таблиць, перелік посилань з 30 назв.

MEASUREMENT SYSTEM ANALYSIS, ЯКІСТЬ МЕТРОЛОГІЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ, СИСТЕМА НАССР, КРИТИЧНІ КОНТРОЛЬНІ ТОЧКИ, ЗАСОБИ ВИМІРЮВАЛЬНОЇ ТЕХНІКИ

Для оцінки відповідності вимог до метрологічного забезпечення критичних контрольних точок пропонується використовувати метод метрологічної оцінки якості вимірювань, який базується на аналізі вимірювальних систем (MSA).

Запропонований спосіб пройшов апробацію при виробництві варено-копчених ковбасних виробів. Проведено дослідження варіативності результатів вимірювання температури в товщі охолодженої та розмороженої м'ясної сировини в реальних умовах виробництва. На першому етапі за допомогою контрольних схем було встановлено, що процес вимірювання знаходиться в стабільному стані. На другому етапі обчислюється абсолютна і відносна величина зміщення процесу вимірювання. На третьому етапі оцінювалися складові варіабельності результатів вимірювань. На заключному етапі при ранжируванні отриманих значень визначаються першочергові шляхи зниження варіативності процесу вимірювання.

Запропонований підхід до аналізу метрологічного забезпечення в критичних контрольних точках системи НАССР дозволяє мінімізувати ризик невідповідності елементів вимірювальної системи, що призводить до зменшення помилкових рішень при контролі якості продукції та до зниження частоти технологічного контролю виробничого процесу.

ABSTRACT

The explanatory note to the master's qualification work contains 61 pages, 12 figures, 13 tables, a list of references from 30 titles.

MEASUREMENT SYSTEM ANALYSIS, QUALITY OF METROLOGICAL SUPPORT, HACCP SYSTEM, CRITICAL CONTROL POINTS, MEASURING INSTRUMENTS

To assess compliance with the requirements for metrological support of critical control points, it is proposed to use the method of metrological assessment of measurement quality, which is based on the analysis of measuring systems (MSA).

The proposed method has been tested in the production of boiled-smoked sausages. A study of the variability of temperature measurement results in the thickness of chilled and thawed meat raw materials in real production conditions has been carried out. In the first stage, with the help of control schemes, it was found that the measurement process was in a stable state. At the second stage, the absolute and relative value of the displacement of the measurement process is calculated. At the third stage, the components of the variability of the measurement results were evaluated. At the final stage, when ranking the obtained values, the priority ways to reduce the variability of the measurement process are determined.

The proposed approach to the analysis of metrological support at critical control points of the HACCP system allows minimizing the risk of non-compliance of the elements of the measuring system, which leads to a decrease in erroneous decisions in product quality control and to a decrease in the frequency of technological control of the production process.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
1 АНАЛІЗ ВАЖЛИВОСТІ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЯКОСТІ МЕТРОЛОГІЧНОГО КОНТРОЛЮ В СИСТЕМІ НАССР	9
1.1 Теоретично-нормативне підґрунтя метрологічного забезпечення вимірювань в критичних контрольних точках в системі НАССР	9
1.2 Загальна характеристика якості вимірювальних систем	15
1.3 Аналіз вимірювальних систем	17
1.4 Цілі, принципи та методи проведення MSA-аналізу.....	19
1.5 Алгоритм проведення MSA-аналізу.....	28
2 РОЗРОБКА МЕТОДУ ОЦІНЮВАННЯ ПРИДАТНОСТІ ВИМІРЮВАЛЬНИХ ПРОЦЕСІВ В КРИТИЧНИХ КОНТРОЛЬНИХ ТОЧКАХ	33
2.1 Характеристика системи управління безпечністю харчової продукції на базі дослідження	33
2.2 Методологія дослідження	36
2.3 Результати дослідження та їх аналіз	47
3 РОЗРОБКА КОРИГУВАЛЬНИХ ЗАХОДІВ ЩОДО ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ МЕТРОЛОГІЧНОГО КОНТРОЛЮ	51
ВИСНОВКИ.....	56
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	57

ВСТУП

Ми живемо в суспільстві, керованому даними, де дані виробляються та необхідні для аналізу в кожному сценарії. Ці дані можуть бути пов'язані з фінансами, здоров'ям, технологіями, соціальною взаємодією тощо. Уміння працювати з даними є однією з ключових навичок у сучасному світі, і вона може бути корисною в різних професійних сферах.

Якість відіграє важливу роль у будь-якій діяльності людини. Вона є ключовим фактором підвищення ефективності виробництва, забезпечення безпеки та задоволення потреб клієнтів, а також забезпечення довгострокової стабільності та успіху компаній та організацій.

Якість включає в себе оцінку відповідності продукції, що випускається, і послуг вимогам споживачів і стандартам якості. Якість можна визначити як загальну здатність виробника забезпечити, щоб пропоновані ним продукти та послуги відповідали очікуванням споживачів і відповідали встановленим нормам і стандартам.

Оцінка якості може проводитися за допомогою різних механізмів, таких як контроль якості на кожному етапі виробництва, стандарти якості, сертифікація, аудити тощо.

Контроль якості вимірювальних систем – це процес, який передбачає перевірку та випробування вимірювальних систем на відповідність встановленим стандартам якості. Основною метою контролю якості вимірювальних систем є забезпечення точності і достовірності одержуваних цими системами даних з метою прийняття правильних рішень в процесі виробництва.

Стандарт ДСТУ ISO 22000:2019 Системи управління безпечністю харчових продуктів. Вимоги до будь-якої організації в харчовому ланцюзі (ISO 22000:2018, IDT) акцентує увагу на ризиках, які можуть вплинути на безпечність харчових продуктів як найважливішу складову якості продукції,

забезпечує виявлення цих ризиків та дозволяє зменшити або усунути їх вплив. Одним з факторів, що впливають на зростання ризиків, є неправильно призначені методики та вимірювальні інструменти контролю параметрів критичних контрольних точок. Для оцінки відповідності вимог до метрологічного забезпечення критичних контрольних точок пропонується використовувати метод метрологічної оцінки якості вимірювань, який базується на аналізі вимірювальних систем (MSA).

Об'єктом дослідження є метрологічне забезпечення критичних контрольних точок в системі управління безпечністю харчової продукції HACCP (Hazard Analysis and Critical Control Points - Аналіз ризиків і критичні точки контролю).

Предметом дослідження є метод MSA для оцінювання прийнятності вимірювальних процесів під час метрологічного контролю в системі HACCP.

Метою магістерського дослідження є аналіз можливостей використання методу MSA для підвищення якості метрологічної оцінки системи вимірювань в системі управління безпечністю харчових продуктів.

Для досягнення мети потрібно вирішити наступні завдання:

- 1) Проаналізувати важливість та можливості покращення забезпечення якості метрологічного контролю в системі HACCP.
- 2) Запропонувати метод оцінювання придатності вимірювальних процесів в критичних контрольних точках.
- 3) Розробити коригувальні заходи щодо підвищення якості забезпечення метрологічного контролю.

Магістерська робота складається з трьох розділів, які містять 9 підрозділів, 61 стор.

1 АНАЛІЗ ВАЖЛИВОСТІ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЯКОСТІ МЕТРОЛОГІЧНОГО КОНТРОЛЮ В СИСТЕМІ НАССР

1.1 Теоретично-нормативне підґрунтя метрологічного забезпечення вимірювань в критичних контрольних точках в системі НАССР

Сучасний підхід до діяльності підприємств ґрунтується на процесах управління якістю [11]. При впровадженні системи менеджменту якості (СМЯ) і міжнародних стандартів серії ISO 9000 формуються економічні вимоги до якості. Переробні підприємства щорічно витрачають величезні суми на контроль і забезпечення якості своєї продукції, але на даний момент цього недостатньо [11], так як Технічний регламент Митного Союзу (ЄАЕС) «Про безпеку харчової продукції» (ТР ТС 021/2011), прийнятий Рішенням Комісії МС від 9 грудня 2011р. № 880,), обов'язковий для всіх виробників харчових продуктів, наказує виробникам виконувати принципи НАССР. В даний час ДСТУ ISO 22000:2019 Системи управління безпечністю харчових продуктів. Вимоги до будь-якої організації в харчовому ланцюзі (ISO 22000:2018, IDT) введений в дію в Україні як національний стандарт. Цей стандарт інтегрує принципи системи НАССР, а також вимоги ДСТУ ISO 9001:2015 Системи управління якістю. Вимоги (ISO 9001:2015, IDT). Таким чином, впровадження ДСТУ ISO 22000:2019 в харчове виробництво стає обов'язковим.

З іншого боку, формуються спеціальні вимоги до метрологічного забезпечення виробництва. Споживчий контроль якості харчових продуктів посилюється, і необхідно забезпечувати не тільки поєднання смакових якостей, але і корисних властивостей. Безпека харчових продуктів піднесена до найважливішого показника якості. Формуються і створюються системи обліку виробництва [21].

Система НАССР складається з семи принципів, що описують, як розробляти, впроваджувати та виконувати план НАССР щодо конкретного виду діяльності. Основна мета цих принципів – допомогти організаціям зосередитись

на тих етапах, операціях технологічного процесу та умовах виробництва, які є критичними для безпеки харчових продуктів.



Рисунок 1.1 – 7 принципів НАССР [13]

Принцип 1

Проведення аналізу небезпечних чинників.

Визначити потенційні ризики виникнення небезпечних чинників, пов'язані з усіма стадіями виробництва, використовуючи блок-схему всіх етапів процесу. Оцінити ймовірність проявлення ризиків і визначити превентивні заходи для контролю за ними.

Принцип 2

Визначення критичних точок контролю (КТК).

Визначити точки/процедури/етапи в діяльності, які можна контролювати для усунення ризиків або мінімізації ймовірності проявлення їх чи зниження ризиків до припустимого рівня. Метод визначення КТК повинен бути задокументований, а результати визначення КТК зареєстровані.

Принцип 3

Встановлення критичних значень.

Критерій, що розмежовує допустимі та недопустимі значення контрольованого показника, якого необхідно дотримуватись для забезпечення того, щоб КТК перебували під контролем. Критичні межі, засновані на суб'єктивних даних (візуальний огляд продукту, спостереженні процесу тощо, треба супроводжувати інструкціями, специфікаціями, зразками-еталонами, чи навчанням (атестуванням) персоналу). Критичні межі необхідно визначати з урахуванням чинних санітарних норм і правил та технологічних нормативів.

Принцип 4

Встановлення системи моніторингу для критичних точок контролю.

Розробляють систему моніторингу контролю КТК, щоб своєчасно виявляти вихід показників за критичні межі.

Задокументовані методики моніторингу повинні містити:

- методи та засоби моніторингу;
- періодичність моніторингу;
- відповідальність за проведення моніторингу та оцінювання його результатів;
- вимоги щодо реєстрації результатів моніторингу.

Принцип 5

Встановлення коригувальних дій для тих випадків, коли результати моніторингу свідчать про втрату контролю в КТК.

Коригувальні дії повинні забезпечувати приведення показника в КТК у встановлені критичні межі та регламентувати дії з продуктами, виробленими в той час, коли показник вийшов за критичні межі.

Принцип 6

Встановити процедури перевірки для підтвердження того, що система НАССР працює ефективно.

Організація повинна визначити процедури, необхідні для забезпечення впевненості в тому, що моніторинг, контролювання та вимірювання виконують згідно з вимогами до них.

Принцип 7

Встановлення процедур перевірки (аудиту) і реєстрації даних відповідно до зазначених принципів та їхнього застосування [13].

Досконала гігієнічна практика та інші передумови переробки харчових продуктів, а також міцна управлінська ланка є необхідністю для впровадження НАССР. Підготовка персоналу є іншою важливою вимогою успішної системи НАССР. З метою розробки спеціальної підготовки на підтримку плану НАССР необхідно підготувати робочі інструкції і процедури, які визначатимуть завдання оперативного персоналу на кожній з критичних контрольних точок.

Застосування принципів НАССР припускає вирішення наступних завдань, виділених у логічній послідовності застосування НАССР (рис.1.2).

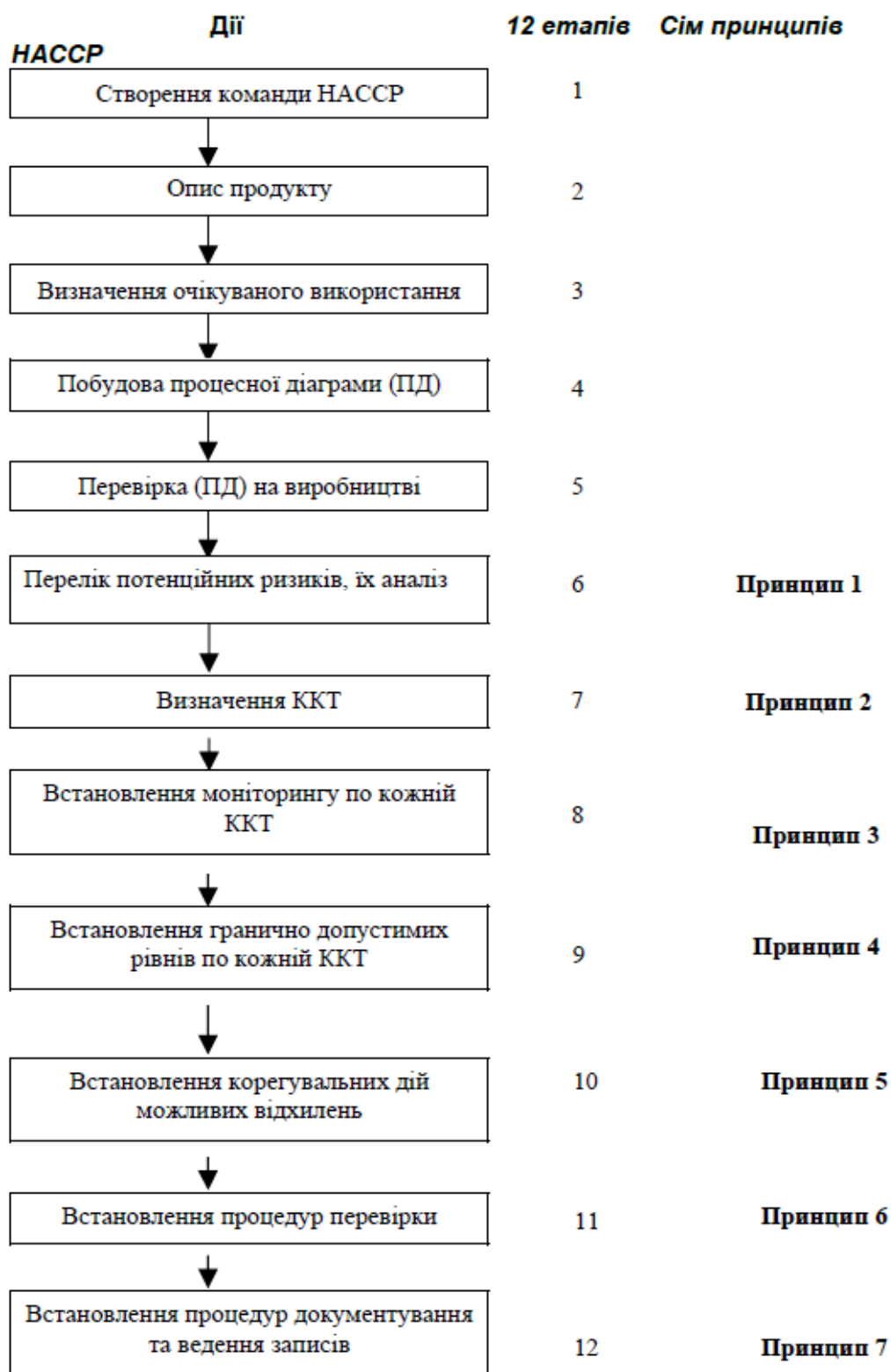


Рисунок 1.2 – Послідовність операцій по реалізації принципів НАССР [13]

Критичні контрольні точки (ККТ), розроблені в системі НАССР, формуються як керовані етапи безпеки харчових продуктів, метою яких є усунення, попередження або зниження до прийнятного рівня небезпечних

факторів, що становлять загрозу безпеці [10]. Тому важливим етапом розробки і впровадження системи НАССР є визначення контрольованих параметрів в критичних контрольних точках і створення системи їх контролю [11]. Система моніторингу включає в себе розробку заходів, методів і засобів вимірювання для забезпечення спостереження за критичними контрольними точками. Обрані засоби і методи вимірювання повинні забезпечувати необхідну точність одержуваних результатів [18]. У зв'язку з цим актуальним завданням при розробці системи моніторингу є метрологічне забезпечення критичних контрольних пунктів.

Задача метрологічного забезпечення вимірювань в критичних контрольних точках складна і багатоступінчаста, вона вирішується на різних етапах виробничого циклу.

На етапі планування виробництва необхідно визначити перелік критеріїв оцінки рівня метрологічного забезпечення кожного елемента життєвого циклу продукції, потім сформулювати звід вимог до методів і засобів вимірювання.

На наступному етапі розробляються процеси вимірювання з урахуванням вимог, встановлених на попередньому етапі.

На етапі виробництва найважливішим завданням, від вирішення якої залежить достовірність отриманої вимірювальної інформації, є метрологічне підтвердження придатності методів і приладів вимірювань в заданих критичних точках контролю.

Завершальним етапом є аналіз стану метрологічного забезпечення критичних контрольних пунктів. Аналіз спрямований на виявлення можливих причин зниження якості продукції та оцінку показників рівня метрологічного забезпечення. Результати аналізу служать основою для прийняття рішень щодо вдосконалення системи моніторингу. Для ефективного аналізу метрологічного забезпечення критичних контрольних точок необхідно розробити методику, яка дозволить оцінювати прийнятність процесів вимірювання в реальних виробничих умовах. Запропонований метод може бути заснований на аналізі вимірювальних систем (MSA).

1.2 Загальна характеристика якості вимірювальних систем

Загальна теорія якості вимірювальних систем ґрунтується на принципах точності, достовірності та стабільності вимірювань. Точність вимірювання визначається як близькість результату вимірювання до фактичного значення величини. Достовірність вимірювань забезпечується повторюваністю вимірювань при повторенні експерименту в різних умовах. Стабільність вимірювань визначається як здатність вимірювальної системи зберігати свої якості протягом тривалого періоду експлуатації і в різних умовах [14].

Для оцінки якості вимірювальних систем використовуються різноманітні методи, включаючи стандартні методи оцінки похибки, методи аналізу даних, методи статистичного контролю тощо. Також важливо враховувати вимоги до калібрування, налаштування та обслуговування систем вимірювання.

Загальна теорія якості вимірювальних систем включає в себе і поняття управління якістю, яке охоплює процеси планування, контролю та підвищення якості вимірювань. Впровадження системи управління якістю дозволяє підвищити ефективність систем вимірювань і забезпечити стійку якість вимірювань в довгостроковій перспективі.

Вимірювальна система - це сукупність приладів і методів, які використовуються для вимірювання фізичних величин або параметрів об'єкта або процесу. Вимірювальна система може включати датчики, перетворювачі сигналів, електроніку для обробки даних, програмне та апаратне забезпечення для візуалізації або зберігання результатів вимірювань. Вона використовується в багатьох сферах, включаючи виробництво, технології, науку, медицину та інші.

Крім того, що вимірювальна система може використовуватися для вимірювання різних параметрів в різних областях, це може бути як апаратне, так і програмне забезпечення, яке використовується для створення і виконання вимірювальних задач.

Вимірювальна система може мати різні компоненти, такі як датчики, спеціальні пристрої для обробки сигналів, комплекси програмного забезпечення, які обробляють і аналізують дані, зібрані вимірювальною системою.

В цілому, вимірювальна система є важливим інструментом для збору та аналізу даних, який може бути використаний в різних сферах, де потрібні точні і надійні вимірювання [14].

На рисунку 1.3 показані фактори, які впливають на результат вимірювання і формують вимірювальну систему.

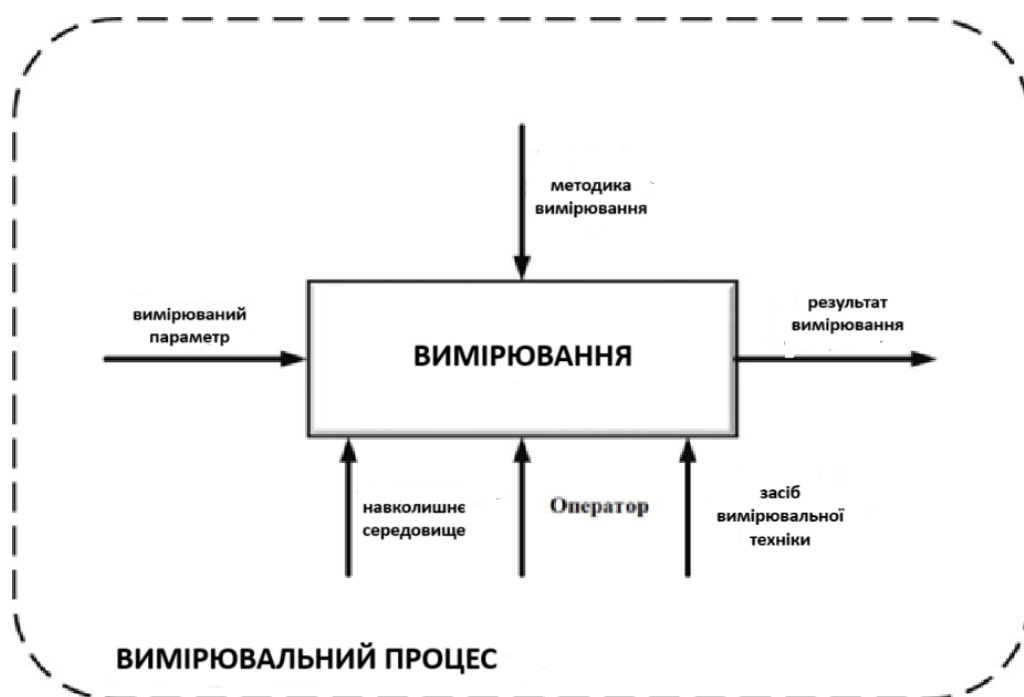


Рисунок 1.3 - Вимірювальна система

Вимірювальна система, як і багато інших систем, потребує аналізу якості своєї роботи.

Ми не завжди можемо виключити всі фактори, що впливають на результат вимірювання, але можемо їх мінімізувати, тобто контролювати процес вимірювання. Для того щоб дізнатися, який вплив різних факторів на результат вимірювання, проводиться дослідження, засноване на зборі та обробці статистичних даних про процес вимірювання.

1.3 Аналіз вимірювальних систем

Аналіз вимірювальних систем - це процес дослідження та оцінки якості вимірювальних систем на підприємстві. Починається він з визначення мети аналізу, яка може бути пов'язана з підвищенням точності вимірювань, поліпшенням якості продукції, зменшенням кількості дефектів, підвищенням продуктивності, зниженням ризиків, пов'язаних з неправильними вимірюваннями.

Для аналізу вимірювальних систем використовуються різні методи, такі як статистичний аналіз даних, експертна оцінка, аналіз причин і наслідків, аналіз ризиків, тощо. У процесі аналізу вимірювальних систем оцінюються такі параметри, як точність, надійність, стабільність, повторюваність, лінійність та інші, які залежать від характеристик самої системи, умов її роботи та процесів, які вона вимірює [17].

Результати аналізу вимірювальних систем можуть бути використані для прийняття рішень щодо поліпшення якості продукції, підвищення продуктивності, оптимізації виробничих процесів, зниження ризиків та інших важливих аспектів діяльності підприємства.

Для того щоб аналіз вимірювальних систем був більш ефективним, необхідно забезпечити правильний вибір методів і засобів, а також грамотно організувати процес збору та аналізу даних. Важливо також приділяти увагу навчанню персоналу використанню вимірювальних систем і методів аналізу даних, а також регулярному технічному обслуговуванню і калібруванню вимірювальних приладів і систем [17].

Оцінка вимірювальних систем і їх аналіз мають велике значення для різних галузей і наукових областей, наприклад, у виробництві будівельних матеріалів, машинобудуванні, автомобілебудуванні, медицині, геології та інших областях, де точні вимірювання відіграють вирішальну роль в успішній реалізації проектів і досягненні поставлених цілей [22].

Важливість оцінки та аналізу вимірювальних систем полягає також у тому, що вони піддаються впливу різних зовнішніх і внутрішніх факторів, які можуть знизити їх якість і надійність. До них відносяться коливання температури і тиску, атмосферні умови, вібрації, тощо.

Крім того, оцінка вимірювальних систем дає можливість визначити ймовірність помилок і їх вплив на реальну продукцію і виробничі процеси. Наприклад, невелике відхилення у результатах вимірювань може призвести до значних наслідків, наприклад, до появи дефекту в готовому виробі, що негативно позначиться на його якості.

Таким чином, аналіз вимірювальних систем є важливим інструментом підвищення якості продукції, економії ресурсів і зниження ризиків на виробництві [17].

Вимірювальні системи складаються з декількох елементів, які виконують різні функції і працюють разом для забезпечення точності вимірювань. До основних елементів вимірювальних систем відносяться:

1. Вимірювальні прилади (вимірювальні датчики) - це пристрої, які вимірюють різні фізичні величини, такі як тиск, температура, кут, напруга тощо.

2. Засоби збору даних (аналізатори, реєстратори) - це пристрої, які збирають, аналізують і зберігають дані, отримані від вимірювальних приладів.

3. Системи передачі даних - це пристрої, які передають дані з вимірювальних приладів і засобів збору даних на інші пристрої, такі як комп'ютери або контрольно-вимірювальні прилади.

4. Системи обробки даних - це комп'ютерні програми, які обробляють дані, отримані від вимірювальних приладів і засобів збору даних, дозволяючи аналізувати їх і приймати рішення в залежності від поставлених завдань.

5. Системи управління - це пристрої, які керують процесами, на які впливають вимірювані параметри, такі як системи управління виробничим обладнанням та системи управління технологічними процесами.

1.4 Цілі, принципи та методи проведення MSA-аналізу

MeasurementSystemAnalysis (MSA) або аналіз вимірювальних систем - це методика вивчення та оцінки якості вимірювальних систем, які використовуються для визначення кількісних характеристик об'єктів і процесів. [1]

Основною метою MSA-аналізу є визначення точності та повторюваності вимірювальних систем та забезпечення надійності вимірюваних даних. В якості інструментів MSA-аналізу використовуються різні статистичні підходи, такі як дисперсійний аналіз, діаграми розсіювання та контрольні карти.

Аналіз вимірювальних систем допомагає встановити, наскільки добре працює вимірювальна система і скільки помилок може бути допущено в процесі вимірювання. Це знижує ризик допущення помилок і підвищує якість продукції [8].

До основних принципів MSA-аналізу можна віднести:

1. Визначення типу вимірювальної системи і визначення її основних параметрів;
2. Оцінка точності вимірювальної системи та її надійності;
3. Оцінка повторюваності і відтворюваності вимірювань;
4. Визначення впливу факторів зовнішнього середовища на вимірювальну систему;
5. Визначення середнього значення і діапазону зміни вимірюваних даних;
6. Визначення причин зміни даних та вжиття заходів щодо їх усунення.

Тому аналіз вимірювальних систем має важливе значення для забезпечення якості продукції та точності управління процесами на виробництві.

Є кілька компонентів MSA, які організації повинні розуміти, щоб застосовувати його належним чином:

1. Точність: Одним з основних компонентів MSA є точність. Точність - це міра того, наскільки близьке виміряне значення до істинного значення.

Іншими словами, чим ближче виміряне значення до фактичного, тим точніше система вимірювання. Для визначення точності системи вимірювання можуть використовуватися різні методи.

2. Стійкість: Стійкість відноситься до послідовності системи вимірювання. Це міра того, наскільки близько виміряні значення розташовані один до одного. Точна система вимірювання робить вимірювання, які постійно повторюються.

3. Повторюваність: Повторюваність - це міра того, наскільки постійно система вимірювання може видавати один і той же результат при багаторазовому вимірюванні одного і того ж об'єкта. Він є важливим компонентом MSA, оскільки допомагає визначити сталість системи вимірювання при повторюваних вимірюваннях

4. Відтворюваність: Відтворюваність - це міра того, наскільки послідовно система вимірювання може видавати однаковий результат при вимірюванні одного і того ж об'єкта, але з використанням різних операторів. Відтворюваність оцінює здатність системи вимірювання давати узгоджені результати для різних операторів, які використовують один і той же протокол вимірювання.

5. Лінійність: Лінійність - це міра того, наскільки добре система вимірювання може здійснювати вимірювання, пропорційні фактичним значенням, що вимірюються. Іншими словами, результати вимірювання повинні лінійно відрізнятися від фактичних значень.

6. Стабільність: Стабільність - це міра того, як система вимірювання працює в часі. Це важливий компонент MSA, оскільки він визначає, чи залишається продуктивність системи вимірювання стабільною з часом, чи вона змінюється через різні фактори, такі як знос.



Рисунок 1.4 - Компоненти MSA

Аналіз вимірювальних систем вирішує наступні завдання:

- 1) вибір правильного типу вимірювання і підходу,
- 2) оцінка вимірювального приладу,
- 3) оцінка процедур і операторів,
- 4) оцінка будь-яких взаємодій вимірювань,
- 5) розрахунок похибки вимірювань окремих вимірювальних приладів та/або вимірювальних систем [6].

Вимірювальна система включає в себе: вимірювальний прилад, персонал, методику вимірювання, об'єкт, що вимірюється (часто з нестабільними, змінними характеристиками), програмне забезпечення (безпомилкове програмування, правильні налаштування програми), виконувані операції (правильна послідовність і точність дій, що виконуються оператором), а також навколишнє середовище.

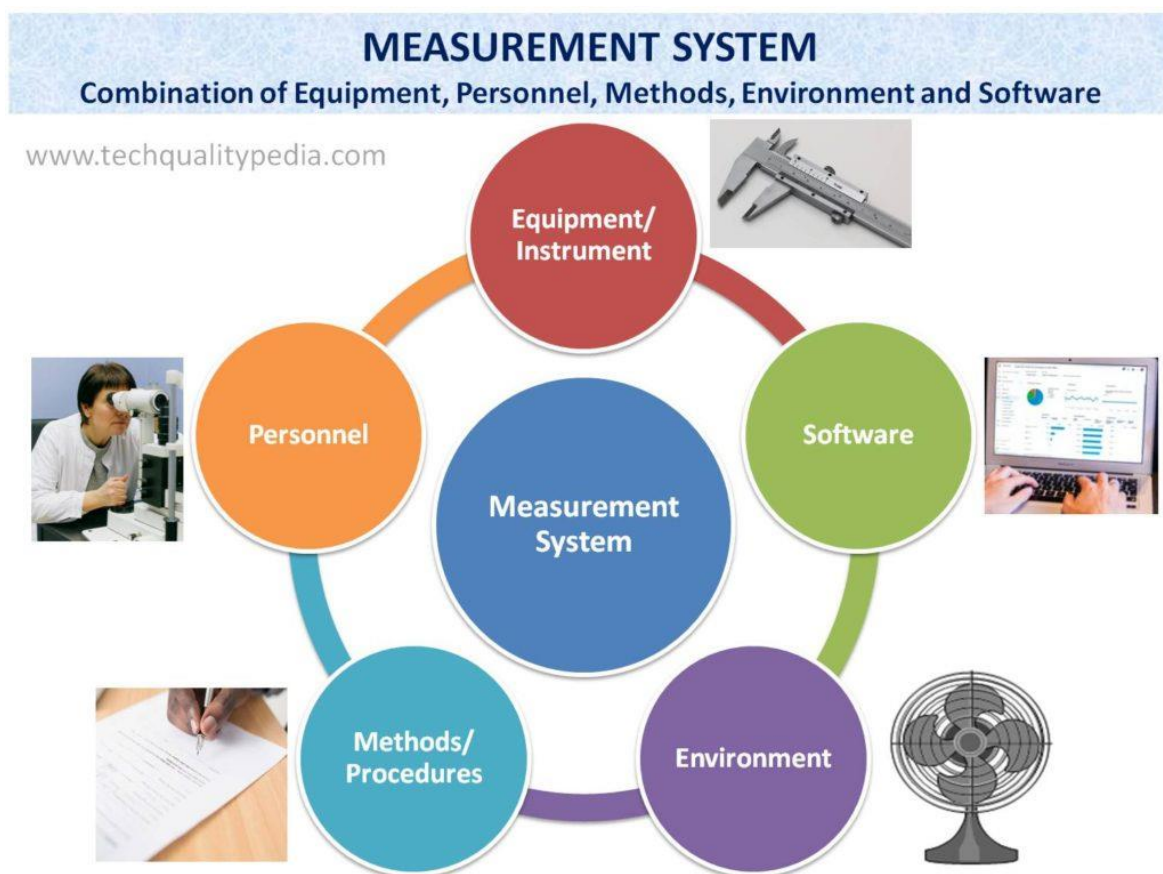


Рисунок 1.5 - Складові вимірювальної системи

Результатом вимірювання є не точкове значення (одиничне значення), а відрізок (розкид сусідніх значень, кожне з яких має шанс бути показана приладом в результаті. Розкид може бути виявлений при певному рівні чутливості приладу і після декількох вимірювань одного й того ж параметру об'єкта. Іноді ми не побачимо цієї варіації, так як округлені одиниці виміру результатів приховують її (вага в кілограмах, а розкид в грамах) [8].

У рамках MSA-аналізу оцінюються наступні статистичні характеристики.

1) зміщення в рамках калібрування (рис. 1.6) - це систематична похибка в результатах вимірювань, отриманих в процесі вимірювання. При оцінці зміщення ми використовуємо t-критерій Стюдента для перевірки гіпотези про значну різницю між ним і 0;

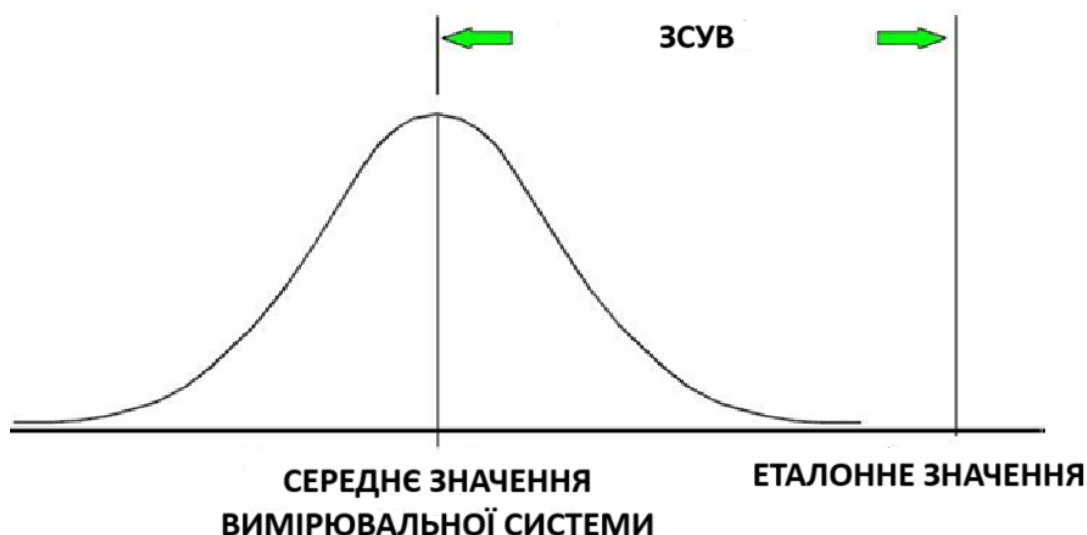


Рисунок 1.6 - Зміщення в рамках калібрування

2) лінійність вимірювального процесу (рис. 1.7) - це зміна зміщення вимірювального процесу в межах діапазону значень вимірюваного процесу. Лінійність зміщення вимірювальних процесів оцінюється за допомогою кореляційного аналізу;



Рисунок 1.7 - Лінійність вимірювального процесу

3) збіжність результатів вимірювань – ступінь близькості результатів вимірювань одного і того ж вимірюваного параметра, виконаного в незмінних умовах вимірювання (рис. 1.8);



Рисунок 1.8 - Збіжність результатів вимірювань

4) відтворюваність результатів вимірювань - ступінь близькості результатів вимірювань одного і того ж вимірюваного параметра, виконаних при змінених умовах вимірювання. Збіжність і відтворюваність оцінюються за допомогою однофакторного дисперсійного аналізу.

При аналізі вимірювального процесу оцінюються всі перераховані вище характеристики, для контрольного – стійкість, зміщення і збіжність. Розглянуті статистичні характеристики дозволяють визначити прийнятність вимірювальних або керуючих процесів.

Оцінка статистичних характеристик вимірювальних і контрольних процесів повинна проводитися за умови, що всі вимірювальні та контрольні прилади пройшли повірку/калібрування. Дослідження слід починати з оцінки стабільності вимірювальних і контрольних процесів, так як статистичні характеристики стабільних процесів залишаються постійними. Якщо процес протікає нестабільно, то виявляються і усуваються особливі причини. Після цього знову проводиться перевірка стабільності до тих пір, поки процес не буде доведений до стабільного стану.

Далі оцінюється зміщення і лінійність зміщення. Якщо зміщення визнається відмінним від нуля, то воно використовується в подальшому при оцінці збіжності і відтворюваності.

Для контрольного процесу визначають зміщення і збіжність. У разі неприпустимої збіжності і відтворюваності процесу виявляються і усуваються причини підвищеної варіабельності.

MSA широко використовується в системах менеджменту якості автомобілебудування і є одним з основних обов'язкових методів реалізації вимог стандарту IATF 16949, який встановлює вимоги до постачальників в автомобільну промисловість [6]. Дуже перспективним вбачається застосування MSA-аналізу під час забезпечення якості метрологічного забезпечення контролю в критичних контрольних точках (ККТ) під час впровадження системи управління безпечністю виробництва харчових продуктів (НАССР) [10-12, 16].

Як і виробничі процеси, процеси вимірювання можуть мати варіації, що в подальшому може призвести до дефектів. Аналіз вимірювальних систем оцінює метод випробування, прилади та весь процес збору вимірювань, щоб забезпечити цілісність даних, що використовуються для аналізу (як правило, аналізу якості), і зрозуміти наслідки помилок вимірювання для прийнятих рішень щодо продукту чи процесу. MSA є важливим елементом методології SixSigma та інших систем управління якістю [15].

Аналіз вимірювальних систем використовується для мінімізації ризику того, що невідповідність елементів вимірювальної системи призведе до помилкових рішень при перевірці продукції і до непотрібного коригування процесу.

Метою аналізу вимірювальних систем є забезпечення достовірності вимірювань шляхом підтвердження їх придатності. Аналіз вимірювальних систем має важливе значення для вибору правильного вимірювання та підходу, оцінки вимірювального приладу, процедур та операторів, а також будь-якої взаємодії вимірювань, розрахунку похибки окремих вимірювальних приладів або вимірювальних систем.

Конкретні методи аналізу MSA можуть відрізнятися в залежності від необхідного рівня точності та цілей дослідження, що проводиться. Але незалежно від методу, всі вони включають в себе перевірку вимірювальної системи на відповідність вимогам і виявлення можливих джерел похибки [6].

Одним з ключових понять, пов'язаних з аналізом MSA, є поняття «систематичної похибки». Це похибка, яка виникає через неправильну настройку або калібрування вимірювальної системи, а також через інші технічні причини. Результати вимірювань, отримані при наявності зміщення, будуть недостатньо точними, що може призвести до прийняття неправильного рішення.

Для оцінки систематичної похибки в аналізі MSA використовуються різні методи, в тому числі методи повторюваності і відтворюваності, які дозволяють оцінити варіативність системи вимірювання і скорегувати її при необхідності [1].

Важливою частиною MSA-аналізу є також оцінка якості даних, отриманих в результаті вимірювань. Для цього використовуються різні методи, в тому числі аналіз гістограм, методи адекватності, аналіз діаграм розсіювання.

Основною метою MSA-аналізу є підвищення надійності та валідності даних вимірювань, що в свою чергу є важливою передумовою для прийняття виробниками та промисловими підприємцями правильних рішень.

Ще одним важливим аспектом MSA-аналізу є оцінка впливу досліджуваних факторів на точність і повторюваність вимірювань [1].

Фактори, що впливають на точність і повторюваність вимірювань, можуть варіюватися в залежності від системи вимірювання і умов вимірювання. Деякі з найпоширеніших факторів, які можуть вплинути на точність і повторюваність вимірювань, включають:

1. Умови навколишнього середовища, такі як температура, вологість і освітленість. Ці фактори можуть впливати на роботу вимірювальної системи, наприклад, шляхом підвищення або зниження температури в лабораторії, що може привести до зміни параметрів вимірюваних об'єктів.

2. Вплив людського фактора на точність вимірювань. Помилки оператора можуть мати значний вплив на точність і повторюваність вимірювань. Наприклад, неправильний вибір вимірювального приладу або неправильна настройка приладу.

3. Вплив особливостей вимірювальної апаратури на точність і повторюваність вимірювань. Сюди можна віднести дефекти в роботі обладнання, неправильну настройку, недотримання вимог і т.д.

4. Методика вимірювань. Результати вимірювань можуть бути значно спотворені при використанні неправильних методик вимірювання, а також при використанні невідповідних матеріалів і застосуванні непрофесійного підходу.

5. Вплив об'єкта вимірювання на точність і повторюваність вимірювань. Сюди можна віднести безліч факторів, таких як складність об'єкта, наявність дефектів в експлуатації об'єкта, зміна властивостей об'єкта з плином часу і т.д.

6. Калібрування засобів вимірювальної техніки. Результати вимірювань можуть бути неточними і не повторюватися при використанні некаліброваного вимірювального обладнання. Калібрування проводиться для перевірки і корекції точності приладів, а також для забезпечення їх відповідності стандартам національних або міжнародних метрологічних організацій.

7. Вплив зовнішніх факторів на вимірювання. Це може включати вплив вібрації, електромагнітних перешкод та інших зовнішніх впливів, які можуть негативно вплинути на точність і повторюваність вимірювань.

8. Стандарти і вимоги, яким повинна відповідати вимірювальна система. Наприклад, якщо вимірювання проводяться відповідно до стандартів ISO, вимірювальна система повинна відповідати вимогам цього стандарту.

Важливо відзначити, що для оцінки впливу цих факторів на точність і повторюваність вимірювань використовуються різні методи MSA-аналізу, такі як дисперсійний аналіз, регресійний аналіз і т.д. Кожен з цих методів дозволяє визначити, як вірно і точно працює вимірювальне обладнання в конкретних умовах і надає рекомендації із поліпшення вимірювань.

Існує безліч технологій реалізації MSA-аналізу для визначення впливу різних факторів на точність і повторюваність вимірювань. Деякі з найбільш поширених методів включають [8]:

1. Дисперсійний аналіз (ANOVA) – цей метод використовується для оцінки того, які фактори та наскільки впливають на точність і повторюваність

вимірювань. Цей метод дозволяє розділити загальну дисперсію на складові, які належать кожному фактору, і визначити їх важливість для точності і повторюваності вимірювань.

2. Регресійний аналіз – цей метод використовується для оцінки того, які фактори мають найбільший вплив на точність і повторюваність вимірювання. Він оцінює зв'язок між значенням вимірюваної змінної та значенням факторів, які можуть вплинути на цю змінну.

3. Діаграма розсіювання - це візуальний метод визначення того, які фактори впливають на точність і повторюваність вимірювання. Цей метод представляє зв'язок між вимірюваною змінною і факторами у вигляді діаграми розсіювання, що дозволяє відобразити кореляцію між ними.

4. Контрольні карти – цей метод використовується для спостереження за змінами точності та повторюваності вимірювань у часі. У ньому представлені результати вимірювань на графіку, що дозволяє наочно визначити наявність змін, обумовлених рядом факторів, і вжити заходів щодо підвищення точності і повторюваності вимірювань.

Всі ці методи дозволяють краще зрозуміти, як різні фактори впливають на точність і повторюваність вимірювань, і допомагають вжити заходів для поліпшення процесу вимірювання.

1.5 Алгоритм проведення MSA-аналізу

Алгоритм проведення MSA (MeasurementSystemAnalysis) включає в себе декілька основних етапів: планування, проведення дослідження, аналіз та інтерпретацію результатів, а також покращення системи вимірювання за необхідності з подальшим повторним оцінюванням.

Етапи проведення MSA:

1. Планування дослідження:

Визначення цілей та об'єктів дослідження MSA.

Вибір відповідного методу MSA (наприклад, для змінних даних або для атрибутивних даних).

Визначення кількості операторів, деталей та повторних вимірювань.

Вибір відповідного обладнання та інструментів для вимірювання.

2. Проведення дослідження:

Навчання операторів правильному використанню обладнання та процедур вимірювання.

Вимірювання заданої кількості деталей, використовуючи визначені процедури та обладнання.

Реєстрація даних у відповідному форматі.

3. Аналіз та інтерпретація результатів:

Використання статистичних методів для аналізу даних, отриманих у процесі дослідження.

Оцінка показників точності (Bias, linearity, stability), повторюваності (repeatability) та відтворюваності (reproducibility).

Порівняння отриманих результатів з визначеними критеріями.

4. Покращення системи вимірювання:

Визначення джерел помилок у системі вимірювання.

Впровадження корегуючих дій для усунення виявлених недоліків.

Модернізація обладнання, навчання операторів, перегляд процедур вимірювання.

5. Повторна оцінка:

Проведення повторного дослідження MSA після впровадження покращень.

Перевірка ефективності впроваджених змін та забезпечення відповідності системи вимірювання встановленим вимогам.

Процес MSA може бути циклічним, вимагаючи повторних досліджень та покращень. Успішне проведення MSA забезпечує надійність та достовірність даних вимірювань, що є важливим для забезпечення якості продукції та

процесів. Необхідно забезпечити відповідність обладнання, процедур та операторів вимогам конкретного процесу вимірювання.

Схема оцінки прийнятності вимірювальної системи показана на рис. 1.9.

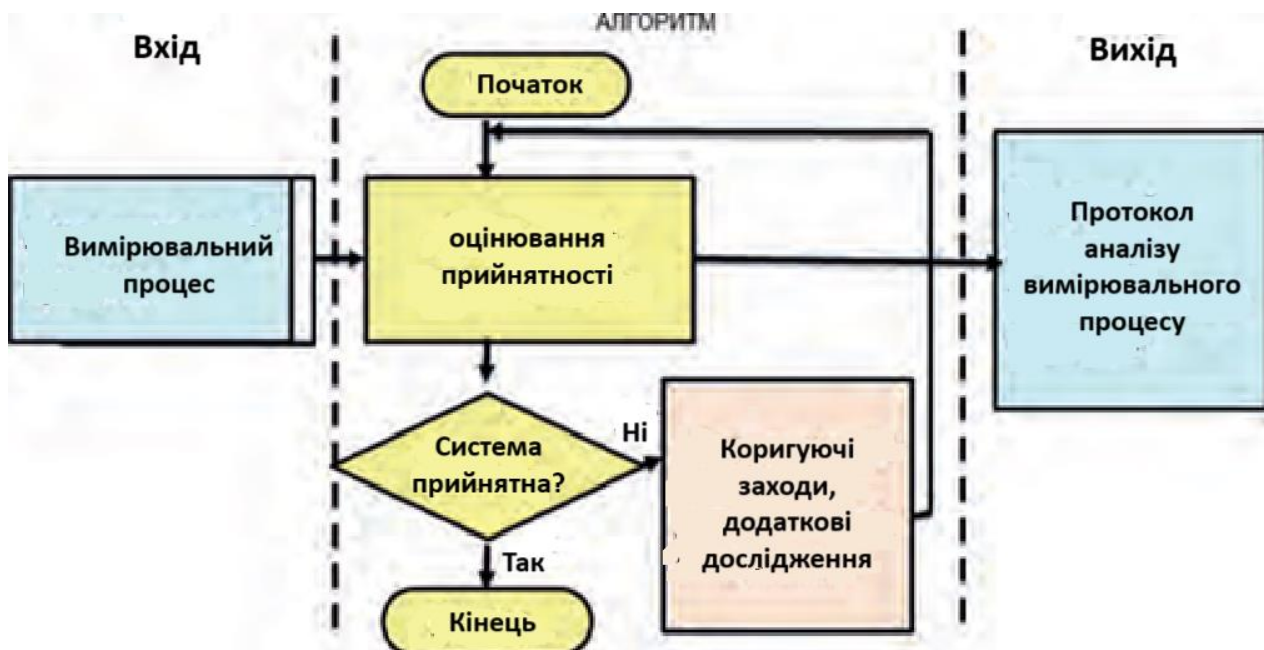


Рисунок 1.9 - Схема оцінки прийнятності вимірювальної системи

За способом отримання даних процеси можна розділити на вимірювальні і контрольні. Результатами процесу вимірювання є кількісні дані, результатами процесу контролю - атрибутивні (альтернативні) дані.

Кількісні та атрибутивні дані отримують шляхом ручного (або автоматичного) та візуального (або автоматичного) контролю відповідно.

Оцінка прийнятності вимірювальної системи для процесів вимірювання і контролю проводиться за певними критеріями.

Також для більш повного аналізу обчислюються відносні значення складових варіабельності (збіжність, відтворюваність, взаємодія оператора і зразка, ефективність контрольного процесу).

Розглянемо основні критерії прийнятності процесу вимірювання [3,7].

Аналіз карти середніх значень дає можливість оцінити застосовність вимірювальної системи, тобто чи адекватним є співвідношення точності вимірювальної системи і технологічного допуску до параметра.

Аналіз карти розмахів дозволяє оцінити стабільність вимірювальної системи, тобто відсутність «збоїв» або «промахів» в вимірювальному процесі, пов'язаних з роботою операторів і використовуваних ними методів вимірювання.

Критерій прийнятності GRR (Gage Repeatability and Reproducibility) – комбінована оцінка збіжності і відтворюваності – враховує вплив зразка, вимірювального приладу та оператора на результат вимірювання. Зна-

чення критерію і висновки про прийнятність вимірювальної системи наведені в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 - Критерій прийнятності GRR [4]

GRR менший за 10 %	Вимірювальна система прийнятна
GRR від 10 до 30 %	Вимірювальна система може бути прийнятна в залежності від важливості застосування, вартості засобу вимірювання, тощо
GRR більший за 30 %	Вимірювальна система не прийнятна, потребує покращення

Критерій прийнятності NDC (NumberofDistinctCategories) – кількість розрізняваних категорій – демонструє правильність вибору засобу вимірювальної техніки для забезпечення співвідношення роздільної здатності до допуску за параметром.

Вимірювальна система допустима при значенні $NDC \geq 5$.

Для прийняття рішення про прийнятність процесу контролю аналізується критерій KAPPA і ефективність.

Критерій прийнятності KAPPA – встановлює узгодженість операторів, тобто ступінь узгодженості результатів вибіркової оцінки кожним оператором. Значення критерію і висновки про прийнятність процесу контролю наведені в таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 - Критерії прийнятності KAPPA

KAPPA більше 0,75	Контрольний процес прийнятний
KAPPA від 0,4 до 0,75	Контрольний процес може бути прийнятний в залежності від важливості застосування, вартості засобу вимірювання, тощо
KAPPA менше 0,4	Контрольний процес не прийнятний, потребує покращення

Ефективність – процентне співвідношення кількості правильних рішень до загальної кількості рішень – характеризує прийнятність операторів. Значення критерію і висновки про прийнятність процесу контролю наведені в таблиці 1.3.

Таблиця 1.3 – Критерій ефективності

Більше 90 %	Контрольний процес прийнятний
Від 80 до 90 %	Контрольний процес може бути прийнятний в залежності від важливості застосування, вартості засобу вимірювання, тощо
Менше 80 %	Контрольний процес не прийнятний, потребує

	покращення
--	------------

На перший погляд здається, що для отримання прийнятних результатів вимірювань досить взяти високоточний вимірювальний прилад. Однак аналіз MSA показує, що погані навички оператора, невміння користуватися приладом і неправильні методи вимірювання можуть привести до висновку, що система вимірювання потребує коригування.

MSA дозволяє вивчати і оцінювати всі фактори впливу, а також застосовувати заходи щодо вдосконалення всього процесу вимірювання, а значить застосовувати стратегію запобігання, а не виявлення невідповідностей продукції, що випускається.

2 РОЗРОБКА МЕТОДУ ОЦІНЮВАННЯ ПРИДАТНОСТІ ВИМІРЮВАЛЬНИХ ПРОЦЕСІВ В КРИТИЧНИХ КОНТРОЛЬНИХ ТОЧКАХ

2.1 Характеристика системи управління безпечністю харчової продукції на базі дослідження

Одними з найскладніших в харчовому виробництві, з точки зору контролю, є процеси виробництва ковбасних виробів. Тому для аналізу можливості застосування методу MSАв забезпеченні метрологічного контролю в ККТ обрано підприємство М'ясокомбінат (МК) «Ювілейний» (м. Дніпро)[24].

М'ясокомбінат “Ювілейний” (м. Дніпро) займає одну з лідируючих позицій з виробництва ковбас і м'ясних делікатесів в Україні.

Виробництво м'ясокомбінату “Ювілейний” побудовано за принципом замкнутого технологічного циклу. Процес розпочинається із забою худоби, а закінчується виробництвом готової продукції, її зберіганням і реалізацією. Тільки при такій схемі можливий повний контроль над усіма етапами виготовлення м'ясопродуктів. Також, це дозволяє понизити собівартість виробленої продукції і запропонувати на ринок якісний продукт за доступною ціною.

У структуру м'ясокомбінату входять: адміністративний корпус, забійний цех, цех обвалки, виробничий комплекс, цех упаковки продукції, розподільний комплекс, лабораторія і транспортний відділ. У 2011 році введений в експлуатацію і запущений новий ультрамодерний цех з виробництва сиркопчених і сиров'ялених ковбас. А 2012 року – цех по виробництву напівфабрикатів

На підставі результатів оцінки системи управління безпекою харчових продуктів, Органом сертифікації систем якості державного підприємства виданий сертифікат на систему управління безпекою харчових продуктів, який відповідає вимогам ДСТУ ISO 22000:2007 Системи управління безпечністю харчових продуктів. Вимоги до будь-яких організацій харчового ланцюга (ISO

22000:2005, IDT) і ДСТУ 4161:2003 Системи управління безпечністю харчових продуктів. Вимоги.

Найважливішим показником ефективної діяльності м'ясокомбінату «Ювілейний» є забезпечення високої якості продукції, яка відповідає усім вимогам законодавства та наших покупців.

Щоб досягти даної мети, на підприємстві впроваджено систему управління безпечністю харчових продуктів ДСТУ ISO22000.

Це система аналізу небезпек і контролю (регулювання) в критичних точках – вона ідентифікує, оцінює і контролює фактори на всіх етапах виробництва, що є визначальними для безпечності харчових продуктів.

На підприємстві дотримується строгий санітарний контроль, який забезпечується сучасним обладнанням та розробленими інструкціями для усіх працівників.

Величезна увага приділяється контролю всієї вхідної сировини та допоміжних матеріалів, здійснюється жорсткий ветеринарний, виробничий і лабораторний контроль, як сировини, так і готової продукції. Всі ланки технологічних процесів працюють злагоджено, організовано і з педантичною точністю. Виробничі процеси контролюються на кожній ділянці технологами та майстрами.

Усі представництва м'ясокомбінату «Ювілейний» обладнані сучасними складами, а транспорт – спеціалізованим холодильним обладнанням, що гарантує дотримання умов зберігання продукції.

Використання тільки якісної сировини для нашої продукції – запорука створення продукту, що відповідає усім вимогам.

Власний забійний цех гарантує виготовлення продукції зі свіжого м'яса. Кожна тварина, що попадає на м'ясокомбінат, проходить обов'язкову перевірку держаною та власною ветеринарними службами.

В продукції не використовуються сировина, що містить ГМО, мета – натуральність у кожному грамі. Цей самий принцип розділяють і партнери. Ними є лідери своїх галузей – як виробники м'ясної сировини, що знаходяться

в Україні, так і Європейські виробники спецій під марками Almi(Австрія), Wiberg(Австрія), RAPS(Німеччина).

Організація виробничого процесу: структура, потужність і розташування обладнання розраховані європейським бюро “Lissner”, що спеціалізується на проектуванні м'ясопереробних підприємств. МК «Ювілейний» створювалось за останнім словом науки та техніки, відповідно до найсучасніших європейським технологіям. У ході реалізації проекту було закуплено й запущено обладнання від світових лідерів, серед яких Banns (Німеччина), KJ (Данія), Seydelmann (Німеччина), Alpina (Швейцарія), Laska (Австрія), Bizerba (Німеччина), Schroter (Німеччина), Poly-Clip (Німеччина), Handtmann (Німеччина), Webomatic (Німеччина). Таким чином був створений унікальний м'ясокомбінат повного циклу, в якому весь процес від забою скота до пакування готової продукції проходить на одній території. Завдяки цьому як усі операційні процеси, так і переходи між ними, проходять на неухильно найвищому рівні. На сьогоднішній день наш виробничий комплекс є зразковим на території України, що підтверджено європейськими експертами в області м'ясопереробної промисловості.

Виробництво пройшло сертифікацію НАССР (міжнародний стандарт безпеки харчової продукції) відповідно до вимог ДСТУ 4161-2003 системи управління безпеки харчових продуктів. Ця система забезпечує контроль на усіх етапах проходження технологічного циклу, в будь-якій точці процесу виробництва, зберігання і реалізації продукції. Для отримання системі НАССР підприємство зобов'язано не тільки досліджувати свій власний продукт и методи виробництва, але й застосовувати цю систему і її вимоги до постачальників сировини, допоміжним матеріалам, а також системі роздрібної торгівлі. Для того щоб ізолювати виробництво від негативних впливів, в МК «Ювілейний» використовується безконтактні крани, сучасний спецодяг. Здійснюється щоденна обробка цехів за допомогою обладнання компанії Ecolab— лідера в галузі виробництва професійних миючих та дезінфікуючих засобів. Це дозволяє гарантувати якість і повну безпеку продукту[24].

Таким чином, можна зробити висновок, що МК «Ювілейний» приділяє значну увагу управлінню безпечності виробництва, але потребує впровадження та сертифікації системи управління безпечністю продукції за чинною версією стандарту ДСТУ ISO 22000:2019 Системи управління безпечністю харчових продуктів. Вимоги до будь-якої організації в харчовому ланцюзі (ISO 22000:2018, IDT).

В подальшому дослідженні зосередимося на такому важливому елементі системи НАССР як метрологічне забезпечення контролю якості технологічного процесу на МК «Ювілейний».

2.2 Методологія дослідження

Аналіз прийнятності процесу вимірювання ККТ включає чотири етапи:

- аналіз стабільності процесу вимірювання, який проводиться за допомогою контрольних діаграм Шухарта;
- аналіз правильності результатів вимірювань у ККТ. Критерієм правильності є відносна величина зміщення процесу вимірювання. Допустимим значенням є зміщення середнього арифметичного п'яти результатів вимірювання щодо еталонного значення у відсотках від допустимого відхилення, зазвичай не більше 10%;
- аналіз точності результатів вимірювання ККТ в умовах конвергенції та відтворюваності дисперсійним методом.

Одними з найскладніших в харчовому виробництві, з точки зору контролю, є процеси виробництва ковбасних виробів. На початковому етапі дослідження, відповідно до вимог ДСТУ ISO 22000:2019, був проведений аналіз технологічного процесу виробництва варено-копчених ковбас на прикладі МК «Ювілейний» (м. Дніпро), визначені ККТ. Для наочності представлення контролю якості технологічного процесу на різних його етапах на технологічній схемі виробництва були нанесені ККТ (рис. 2.1).

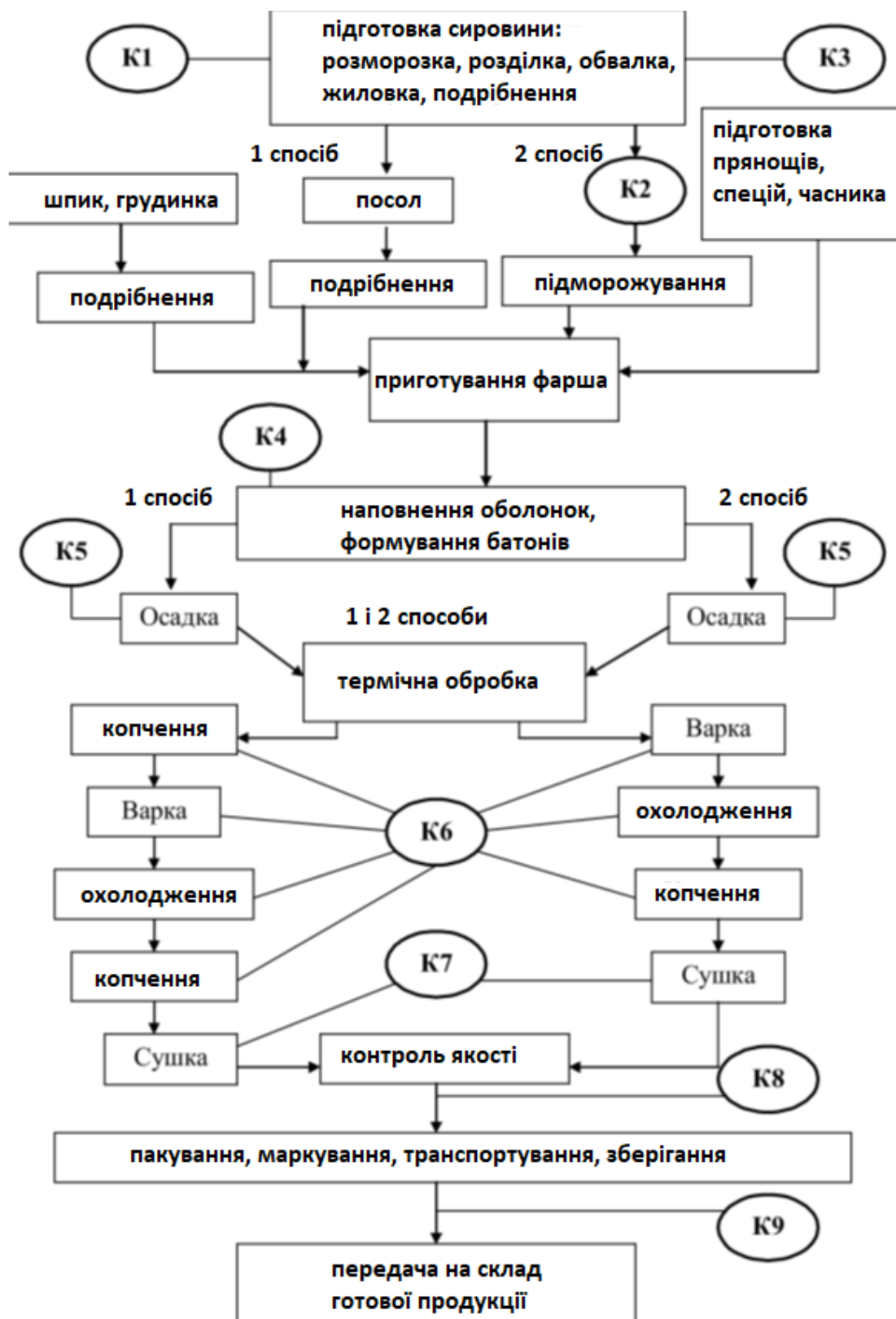


Рисунок 2.1 - Технологічна схема виробництва варено-копчених ковбас з критичними контрольними точками

Відповідно до вимог ДСТУ ISO 22000:2019 з метою вдосконалення системи контролю розроблена форма листа НАССР для даного технологічного процесу, представлена в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 - Робочий аркуш моніторингу процесів НАССР

Найменування операції	Номер ККТ	Контрольований параметр	Нормативне значення
Підготовка сировини	K1	Температура в товщі м'ясної сировини: охолодженої розмороженої	$(2\pm 2) ^\circ\text{C}$ $(0\pm 1) ^\circ\text{C}$
Розморожування сировини	K2	Температура приміщення Відносна вологість	$(20\pm 2) ^\circ\text{C}$ $(80\ldots 85) \%$
Розділка, обвалка	K3	Температура сировини до обвалки Температура сировини після жиловки Температура приміщення Відносна вологість	$<10 ^\circ\text{C}$ $<15 ^\circ\text{C}$ $(10\ldots 12) ^\circ\text{C}$ $(80-85) \%$
Подрібнення, посол, виготовлення фаршу, наповнення оболонок	K4	Температура в камері посолу Відносна вологість Температура готового фаршу Відносна вологість	$(0\ldots 4) ^\circ\text{C}$ $(80-85) \%$ $(-2\pm 1) ^\circ\text{C}$ $(75-78) \%$
Підготовка до термічної обробки	K5	Температура приміщення при формовці Температура приміщення при осадці Температура сировини при осадці 1 спосіб 2 спосіб	$(10\ldots 12) ^\circ\text{C}$ $(6\pm 2) ^\circ\text{C}$ $(6\pm 2) ^\circ\text{C}$ $(3\pm 1) ^\circ\text{C}$
Термічна обробка (1 і 2 способи)	K6	Температура первинного копчення Температура варки Температура охолодження Температура вторинного копчення	$(75\pm 5) ^\circ\text{C}$ $(74\pm 1) ^\circ\text{C}$ $<20 ^\circ\text{C}$ $(42\pm 3) ^\circ\text{C}$
Сушка	K7	Температура сушки Відносна вологість	$(11\pm 1) ^\circ\text{C}$ $(76\pm 2) \%$
Зберігання	K8	Температура приміщення	$(12\ldots 15) ^\circ\text{C}$

Для аналізу процесу виробництва варено-копчених ковбас МК «Ювілейний» було складено перелік використовуваних вимірювальних приладів, представлений в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 - Перелік вимірювальних приладів для контролю критичних контрольних точок

ККТ	Контрольований параметр	Засіб вимірювальної техніки
Підготовка сировини		
K1	Температура в товщі м'ясної сировини: Охолодженої розмороженої	«Замір-1»
Розморожування сировини		
K2	Температура приміщення Відносна вологість	ИТР 2605
Розділка, обвалка		
K3	Температура сировини до обвалки Температура сировини після жиловки Температура приміщення Відносна вологість	«Замір-1» ИТР 2605
Подрібнення, посол, приготування фаршу, наповнення оболонок		
K4	Температура в камері посолу Відносна вологість Температура готового фаршу	Термоперетворювачі опору ТСМ 50 М ИТР 2605 «Замір-1»
Підготовка до термічної обробки		
K5	Температура приміщення при формовці Температура приміщення при осадці Температура сировини при осадці 1 спосіб 2 спосіб	«Замір-1» ИТР 2605
Термічна обробка (1 і 2 способи)		
K6	Температура первинного копчення Температура варки Температура охолодження Температура вторинного копчення	Термоперетворювачі опору ТСМ 50 М
Сушка		
K7	Температура сушки Відносна вологість	Термоперетворювачі опору ТСМ 50 М Давач емнісного типу
Зберігання		
K8	Температура приміщення Відносна вологість	ИТР 2605

Високоточний цифровий термометр з автономним джерелом живлення «Замір-1» призначений для вимірювання температури рідин, газів та пластикових речовин у виробництві, в лабораторії та у повсякденному житті. Датчик невеликого діаметра має невелику інерцію та більшу надійність.

Технічні дані:

Діапазон вимірюваних температур: -30 +120 ° С

Точність вимірювання в діапазоні від 0 до $+100^{\circ}\text{C}$ $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$

Роздільна здатність $0,1^{\circ}\text{C}$.



Рисунок 2.2 – Цифровий термометр «Замір-1»

Щитовий багатоканальний вимірювач температури та вологості ИТР 2605, призначений для вимірювання температури та вологості в різних технологічних процесах хімічної, переробної промисловості; у виробництві та зберіганні їжі; у машинобудуванні, енергетиці тощо, напівпровідниковий датчик DS1820 використовується як первинні датчики температури. В якості датчика вологості використовується датчик ємнісного типу.

Пристрій слід використовувати у закритих приміщеннях за таких умов:

- Температура навколишнього середовища - від $+5^{\circ}\text{C}$ до $+50^{\circ}\text{C}$;
- відносна вологість - не більше 80 % при температурі 35°C і нижчі температури без конденсації вологи;
- атмосферний тиск - від 86 до 106,7 кПа;
- вібрація місць кріплення: амплітуда 0,1 мм, частота не більше 25 Гц;
- Навколишнє середовище не є вибухонебезпечним, не містить сольових туманів, провідного пилу, агресивних газів або парів, які руйнують метал та ізоляцію.

Технічні характеристики:

Діапазон вимірюваних температур: від -50 до $+125^{\circ}\text{C}$.

Кількість каналів вимірювання температури - вісім.

Час вимірювання температури одного каналу не більше 2 с.

Обмеження допустимого значення заданої основної похибки вимірювання температури становить $+0,5\%$.

Діапазон вимірюваної відносної вологості: 0 - 100 %.

Кількість каналів вимірювання вологості - вісім.

Час вимірювання вмісту води одного каналу не більше 0,5 с.

Межі допустимого значення приведеної основної похибки вимірювання температури - $+0,5\%$.

Діапазон вимірювання відносної вологості: 0 - 100 %.

Число каналів вимірювання вологості – вісім.

Межі допустимого значення приведеної основної похибки вимірювання вологості - $+3\%$.

Межі допустимих значень приведеної додаткової похибки, що викликана зміною температури навколишнього середовища (на кожні 10 °C в межах робочих температур від $+5$ до $+50$ °C):

-вимірювання температури - $+0,1\%$;

-вимірювання вологості $+0,2\%$.

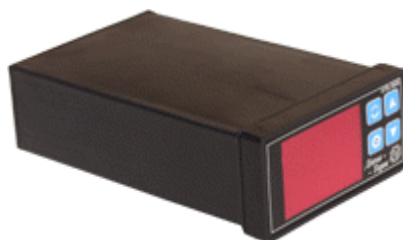


Рисунок 2.3 – ИТР 2605

Значення параметрів контролюються різними способами протягом усього процесу, як за допомогою портативних вимірювальних приладів, так і автоматично за допомогою вимірювальних систем. Наприклад, при термічній обробці в універсальних парових копильних камерах AUTOTERM в якості термовимірювачів використовуються термоперетворювачі типу ТСМ 50М. Сигнал від датчиків надходить на процесорний пристрій, де обробляється і перетворюється в зручний з точки зору форми подачі інформації вихідний сигнал. Цю інформацію може спостерігати співробітник Служби якості МК

«Ювілейний» при контролі за технологічним процесом на моніторі, вбудованому в камеру AUTOTERM.

Як видно з таблиці 2.2, для вимірювання параметрів також використовуються ручні вимірювальні прилади:

- термометр цифровий «Замір-1» (ТУ 4215-002-13245171);
- щитовий мікропроцесорний вимірювач температури і вологості ИТР 2605 (ТУ 4227-004-34913634).

Розглянемо застосування запропонованого методу на прикладі критичної контрольної точки К1 (табл. 2.1) – вимірювання температури в товщі сирого м'яса (охолодженого і розмороженого) цифровим термометром «Замір-1».

Вхідний контроль є найважливішим етапом забезпечення якості виробництва харчових продуктів. Саме тут вирішується питання про придатність сировини для подальшого використання.

Метрологічною службою підприємства був проведений експеримент по оцінці стійкості процесу вимірювання, і була побудована контрольна карта «середніх значень – розмахів». Аналіз контрольної карти не виявив особливих причин варіабельності, отже, процес вимірювання перебував у стабільному стані і можна було переходити до оцінки прийнятності.

Для оцінки зміщення вимірювального процесу проводили одночасні вимірювання температури в товщі м'ясної сировини (охолодженої і розмороженої) на глибині 1 см цифровим термометром «Замір-1» (похибка $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$), цифровим еталонним термометром ТЦЭ-0,005/М2 (похибка $\pm 0,002^{\circ}\text{C}$). Вимірювання проводилися $Q = 10$ разів.

$$, \quad (2.1)$$

$$B = \frac{|B|}{T} 100\%, \quad (2.2)$$

де X_{cp} - середнє арифметичне результатів вимірювального приладу;

$X_{\text{іст}}$ - величина, прийнята за істину (показання еталонного пристрою);

T - допустиме відхилення контрольованого параметра.

В кінці експерименту був отриманий масив, представлений в таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 - Контрольний список даних для розрахунку зміщення процесу вимірювання температури в товщі м'ясної сировини

Вимірювання		Значення температури в товщі м'ясної сировини, °C	
Еталонне значення		2,544	0,146
Номер вимірювання	1	2,5	0,0
	2	2,5	0,5
	3	2,0	0,0
	4	2,0	0,5
	5	2,5	0,0
	6	2,5	0,0
	7	2,5	0,5
	8	2,0	0,5
	9	2,5	0,0
	10	2,5	0,5

Для оцінки збіжності і відтворюваності процесу вимірювання було відібрано $N = 5$ зразків м'ясної сировини, вимірювання проводилися операторами $M = 3$, а температура кожного зразка вимірювалася всіма операторами $Q = 3$. В кінці експерименту був отриманий масив, представлений в таблицях 2.4 і 2.5.

Таблиця 2.4 - Набір даних для оцінки збіжності та відтворюваності вимірювання температури в товщі м'ясної сировини (охолодженої)

вимірювання		Номера вимірювань									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	1	2,0	2,0	2,5	2,5	1,5	2,5	2,0	1,5	2,0	2,0
	2	2,5	1,5	1,5	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,5	1,5
	3	2,0	2,0	2,5	2,0	1,5	2,0	1,5	1,5	2,0	1,5
2	1	2,5	2,0	1,5	2,0	2,0	2,5	1,5	2,0	2,0	2,0
	2	2,5	1,5	2,5	2,5	1,5	2,5	2,0	1,5	2,5	1,5
	3	2,0	2,0	1,5	2,0	2,0	2,5	1,5	2,0	2,5	2,0
3	1	2,0	1,5	2,5	2,5	1,5	2,5	2,0	1,5	2,0	1,5
	2	2,0	1,5	2,5	2,0	1,5	2,5	2,0	1,5	2,5	2,0
	3	2,0	1,5	2,5	2,5	2,0	2,5	1,5	1,5	2,0	1,5

Таблиця 2.5 - Набір даних для оцінки збіжності та відтворюваності вимірювання температури в товщі м'ясної сировини (розмороженої)

вимірювання		Номера вимірювань									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	1	0,0	0,5	0,5	1,0	0,5	0,5	0,5	0,5	1,0	1,0
	2	0,5	0,5	0,0	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
	3	0,5	1,0	0,5	0,5	0,0	0,5	0,0	0,0	0,5	1,0
2	1	0,0	0,5	0,0	0,5	0,5	0,0	0,5	0,0	0,5	0,5
	2	0,5	1,0	0,5	1,0	0,5	0,5	0,5	0,5	1,0	0,5
	3	0,0	0,5	0,5	0,5	0,0	0,5	0,5	0,0	0,5	1,0
3	1	0,5	0,5	0,0	1,0	0,5	0,0	0,0	0,5	1,0	0,5
	2	0,0	1,0	0,0	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	1,0	1,0
	3	0,5	0,5	0,5	1,0	0,0	0,5	0,5	0,5	1,0	0,5

Оцінка дисперсії S_e^2 вимірювального приладу (збіжності) визначається за формулою:

$$S_e^2 = \frac{1}{NM(Q-1)} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M \sum_{k=1}^Q (X_{ijk} - \bar{X}_{ij*})^2, \quad (2.3)$$

де $NM(Q-1)$ – число ступенів свободи.

Отже, оцінка дисперсії S_o^2 операторів (відтворюваність) визначається за формулою:

$$S_o^2 = \frac{NQ}{M-1} \sum_{j=1}^M (\bar{X}_{*j*} - \bar{X}_{***})^2, \quad (2.4)$$

де $M-1$ - число ступенів свободи.

Оцінка дисперсії S_p^2 зразків сирого м'ясної сировини розраховується за формулою:

$$S_p^2 = \frac{MQ}{N-1} \sum_{i=1}^N (\bar{X}_{ij*} - \bar{X}_{***})^2, \quad (2.5)$$

де $N-1$ - число ступенів свободи.

Оцінка дисперсії у взаємодії операторів і зразків оцінюється за формулою:

$$S_{op}^2 = \frac{Q}{(N-1)(M-1)} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M (\bar{X}_{ij*} - \bar{\bar{X}}_{i**} - \bar{\bar{X}}_{*j*} + \bar{\bar{X}}_{***})^2, \quad (2.6)$$

де $(N-1) \cdot (M-1)$ – число ступенів свободи.

Значимість впливу взаємодії оператора і вибірки на варіативність результатів вимірювань можна оцінити за наступним алгоритмом.

Обчислимо співвідношення:

$$F = \frac{S_{op}^2}{S_e^2} \quad (2.7)$$

Використовуючи таблицю F-розподілу (розподіл Фішера-Снедекора) [23], при рівні значущості $\alpha = 0,05$ визначаємо критичне значення розподілу $F_a(k_1, k_2)$, де k_1 – число ступенів свободи більшої дисперсії, k_2 – число ступенів свободи меншої дисперсії. Числа ступенів свободи дорівнюють відповідно $(N-1)(M-1)$ і $NM(Q-1)$. Якщо $F < F_a(k_1, k_2)$, то вплив варіативності взаємодії між оператором і зразком визнається незначним і не бере участі в подальших розрахунках. В іншому випадку вплив варіативності взаємодії між оператором та зразком визнається значущим.

Для компонентів варіативності процесу вимірювання при заданому рівні значущості α розрахуємо довірчі інтервали.

Збіжність EV (повторюваність) результатів вимірювань визначається за формулою:

$$EV = K_\alpha \cdot S_e \quad (2.8)$$

Відтворюваність AV (варіативність від операторів) результатів вимірювань розраховується за формулою:

$$AV = K_\alpha \cdot S_o \quad (2.9)$$

Якщо вплив взаємодії оператора і зразком вважається значущим, то формула для розрахунку відтворюваності виглядає наступним чином:

$$AV = K_\alpha \sqrt{\frac{S_o^2 - S_{op}^2}{NQ}}, \quad (2.10)$$

тоді варіабельність PV зразків визначається за формулою:

$$PV = K_{\alpha} \cdot S_p \quad (2.11)$$

У тому випадку, якщо вплив взаємодії оператора і зразка визнається значущим, формула розрахунку варіабельності зразків виглядає наступним чином:

$$PV = K_{\alpha} \sqrt{\frac{S_p^2 - S_e^2}{MQ}} \quad (2.12)$$

то варіативність INT за рахунок взаємодії операторів і зразків визначається за формулою:

$$INT = K_{\alpha} \sqrt{\frac{S_{op}^2 - S_e^2}{Q}}$$

Ця складова варіативності процесу вимірювання розраховується тільки в тому випадку, якщо вплив взаємодії оператора і зразка визнається значущим.

Збіжність і відтворюваність GRR або R&R результатів вимірювань визначаються формулою додавання імовірнісних значень:

$$R \& R = \sqrt{EV^2 + AV^2} \quad (2.13)$$

Якщо вплив взаємодії між оператором і зразком вважається значущим, то формула для розрахунку збіжності і відтворюваності результатів вимірювань виглядає наступним чином:

$$R \& R = \sqrt{EV^2 + AV^2 + INT^2}$$

Сумарна варіативність процесу вимірювання визначається за формулою:

$$TV = \sqrt{R \& R^2 + PV^2} \quad (2.14)$$

Прийнятність вимірювального процесу, що використовується для оцінки відповідності вимірюваного параметра зразка його допуску, визначається на підставі аналізу величини відносної збіжності і відтворюваності, розрахованої за формулою:

$$R \& R_{SL} = \frac{R \& R}{USL - LSL} 100\%,$$

де USL, LSL - верхня і нижня межі контрольованого параметра.

Для більш повного аналізу процесу вимірювання обчислюємо відносні значення складових мінливості – збіжності, відтворюваності, варіативності зразка, взаємодії оператора і зразка – за формулами:

$$\begin{aligned} EV_{TV} &= \frac{EV}{TV} 100\%, \\ AV_{TV} &= \frac{AV}{TV} 100\%, \\ PV_{TV} &= \frac{PV}{TV} 100\%, \end{aligned} \quad (2.15)$$

2.3 Результати дослідження та їх аналіз

Зміщення результатів вимірювань і його відносне значення визначаються за формулами (2.1), (2.2). Результати розрахунків представлені в таблиці 2.6.

Таблиця 2.6 - Розрахункові значення зміщення вимірювального процесу температури в товщі м'ясної сировини

	Значення в товщі м'ясної сировини	
	Охолоджене	Розморожене
Допуск, °C	4	2
Середнє значення, °C	2,35	0,25
Абсолютне значення зміщення, °C	-0,194	0,104
Відносне значення зміщення, %	4,85	5,2

Оскільки отримані значення відносного зміщення для охолодженої і розмороженої сировини (табл. 2.6) становлять менше 10 %, то зміщення вимірювального процесу температури в товщі м'ясної сировини можна вважати прийнятним.

Розрахунок оцінок дисперсій, що складають варіативність даного вимірювального процесу, проводиться за формулами (2.3)-(2.6). Оскільки

дисперсія вибірки дорівнює квадрату середньоквадратичного відхилення (СКВ), зручно представляти отримані дані у вигляді відповідних середньоквадратичних значень СКВ. Результати зведені в таблицю 2.7.

Таблиця 2.7 - Результати розрахунків оцінки СКВ результатів температурних вимірювань в товщі м'ясної сировини

Складова мінливості	Оцінка СКВ температури в товщі м'ясної сировини	
	Охолоджене	Розморожене
Збіжність (повторюваність мінливості), °C	0,537	0,656
Відтворюваність (мінливість від оператора), °C	0,190	0,188
Мінливість параметрів зразка, °C	1,723	1,392
Взаємодія оператора і зразка, °C	0,302	0,174

За допомогою формули (2.7) оцінюємо значимість впливу взаємодії оператора і зразка на варіативність результатів вимірювань:

- охолоджена сировина $F = 0,32 < F_a = 1,85$;
- розморожена сировина $F = 0,07 < F_a = 1,85$.

Оскільки умова $F < F_a (k_1, k_2)$ виконується як для охолодженої, так і для розмороженої сировини, то вплив варіативності взаємодії між оператором і зразком можна визнати незначним і не враховувати в подальших розрахунках.

Використовуючи формули (2.8), (2.9) і (2.11), обчислюємо складові варіативності процесу вимірювання. Значення коефіцієнта K_a визначається виходячи з рівня значущості α і таблиці значень функції Лапласа [23]. Для рівня значущості $\alpha = 0,99$, значення $K_a = 5,15$. Результати розрахунків наведено в таблиці 2.8.

Таблиця 2.8 - Результати розрахунків складових варіативності результатів температурних вимірювань в товщі м'ясної сировини

Складова мінливості	Оцінка мінливості результатів вимірювань температури в товщі м'ясної сировини	
	Охолоджене	Розморожене
Збіжність (повторюваність мінливості) EV, °C	2,768	3,379
Відтворюваність (мінливість від оператора) AV, °C	0,979	0,963

Мінливість параметрів зразкаPV, °C	8,871	7,169
------------------------------------	-------	-------

Використовуючи значення з таблиці 2.3 і формули (2.15), знаходимо збіжність і відтворюваність результатів вимірювань, а також повну варіативність процесу вимірювання і відносну збіжність і відтворюваність процесу вимірювання. Результати представлені в таблиці 2.9.

Таблиця 2.9 - Результати розрахунків допустимості процесу вимірювання температури в товщі м'ясної сировини

Складова мінливості	Оцінка мінливості результатів вимірювань температури в товщі м'ясної сировини	
	Охолоджене	Розморожене
Збіжність та відтворюваність результатів вимірювань R&R, °C	2,936	3,518
Повна мінливість вимірювального процесу TV, °C	9,346	7,986
Відносна збіжність і відтворюваність вимірювального процесу R&R _{SL} , %	73,39	87,95

Для більш повного аналізу процесу вимірювання за допомогою формул (2.13), (2.14) і (2.15) визначаємо відносні значення складових мінливості - збіжності, відтворюваності, варіабельності зразка. Отримані значення наведені в таблиці 2.10.

Таблиця 2.10 - Результати розрахунків відносних складових варіативності процесу вимірювання температури в товщі м'ясної сировини

Складова мінливості	Оцінка мінливості результатів вимірювань температури в товщі м'ясної сировини	
	Охолоджене	Розморожене
Відносна збіжність результатів вимірювань EV _{TV} , °C	16,0	42,0
Відносна мінливість від оператора AV _{TV} , °C	5,8	12,3
Відносна мінливість параметрів зразка PV _{TV} , %	98,5	87,7

Виходячи з отриманих значень, можна зробити висновок, що вимірювальний процес потребує вдосконалення ($R\&R_{SL} > 30\%$). Найбільший внесок у загальну варіативність процесу вимірювання температури в товщі

м'ясної сировини вносить варіативність зразка, як охолодженого, так і розмороженого. На цю складову варіативності може вплинути зміна технології глибокого заморожування сировини для зберігання і збереження цих показників при транспортуванні (потужність рефрижераторів, розташування м'ясних тушок, настройка автоматизації і т.д.).

На другому місці за впливом варіативності процесу вимірювання знаходиться збіжність результатів вимірювань. На цю величину найбільше впливає вимірювальний прилад і метод, тому для зменшення варіативності процесу вимірювання необхідно змінити метод вимірювання або вибрати більш точний вимірювальний прилад. Частку впливу на варіативність з боку оператора можна вважати незначною.

Таким чином, вимірювальний прилад «Замір-1» бажано замінити на більш точний, щоб зменшити варіативність процесу вимірювання.

ЗРОЗРОБКА КОРИГУВАЛЬНИХ ЗАХОДІВ ЩОДО ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ МЕТРОЛОГІЧНОГО КОНТРОЛЮ

Аналіз процесу виробництва варено-копчених ковбас дозволив визначити ККТ, які нанесені на технологічну схему (рис. 3.1). Для кожної контрольної точки визначені номінальні значення контрольованого параметрів і їх відхилення, які беруться з технологічних карт.

Відповідно до вимог системи НАССР, з метою удосконалення систем моніторингу, розроблено форму робочого листа НАССР для даного технологічного процесу. Розроблено типові коригувальні заходи, представлені в таблиці 3.1, які дозволять своєчасно і точно реагувати на відхилення параметрів сировини в процесі виробництва, а також не тільки гарантувати безпеку продукції в разі перевищення граничних значень контрольованих параметрів, а й для забезпечення споживчих властивостей - кольору, смаку, запаху, тощо.

Таблиця 3.1 – Розробка коригувальних заходів для кожної ККТ в робочому аркуші моніторингу технологічного процесу

Найменування операції	Номер ККТ	Контрольований параметр	Нормативне значення	Корегуючі заходи
Підготовка сировини	K1	Температура в товщі м'ясної сировини: охолодженої розмороженої	$(2 \pm 2) ^\circ\text{C}$ $(0 \pm 1) ^\circ\text{C}$	Накопичення інформації про фактичні причини невідповідності, ізоляція невідповідної сировини
Розморожування сировини	K2	Температура приміщення Відносна вологість	$(20 \pm 2) ^\circ\text{C}$ $(80 \dots 85) \%$	Впорядкування та налагодження охолоджувального обладнання
Розділка, обвалка	K3	Температура сировини до обвалки Температура сировини після жилочки Температура приміщення Відносна вологість	$< 10 ^\circ\text{C}$ $< 15 ^\circ\text{C}$ $(10 \dots 12) ^\circ\text{C}$ $(80-85) \%$	Ізоляція сировини Впорядкування та налагодження охолоджувального обладнання
Подрібнення, посол, виготовлення фаршу, наповнення обо-	K4	Температура в камері посолу Відносна вологість Температура готового	$(0 \dots 4) ^\circ\text{C}$ $(80-85) \%$ $(-2 \pm 1) ^\circ\text{C}$	Розробка проекту з установки обладнання, яке буде забезпечувати

лонок		фаршу Відносна вологість	(75-78) %	нормативні тех- нологічні режими
Підготовка до термічної обробки	K5	Температура приміщення при формовці Температура приміщення при осадці Температура сировини при осадці 1 спосіб 2 спосіб	(10...12) °C (6±2) °C (6±2) °C (3±1) °C	Впорядкування та налагодження охолоджувального обладнання Ізоляція невідповідної сировини, відправка на повторну переробку
Термічна обробка (1 і 2 способи)	K6	Температура первинного копчення Температура варки Температура охолодження Температура вторинного копчення	(75±5) °C (74±1) °C <20 °C (42±3) °C	Розробка проекту з установки обладнання, яке буде забезпечувати нормативні технологічні режими. Повторне навчання операторів
Сушка	K7	Температура сушки Відносна вологість	(11±1) °C (76±2) %	Впорядкування та налагодження охолоджувального обладнання
Зберігання	K8	Температура приміщення	(12...15) °C	Розробка проекту з установки обладнання, яке буде забезпечувати нормативні технологічні режими

З точки зору забезпечення метрологічного контролю, такий параметр, як температура, в заданому технологічному процесі має досить жорсткі межі, наприклад, температура розмороженої сировини повинна бути $t=(0\pm1)$ °C. Допустиме відхилення контрольованого параметра становить $T = 2$ °C.

Класичною умовою підбору засобів вимірювальної техніки є наступне [23]:

$$\pm\Delta_{\text{lim}} \leq \pm \delta, \quad (3.1)$$

де Δ_{lim} - гранична похибка вимірювального приладу; δ - допустима похибка вимірювання.

Необхідно призначати такі засоби вимірювання технологічних параметрів, які здатні забезпечити задану точність допускового контролю. Допустима похибка вимірювання δ з метрологічної точки зору повинна мати співвідношення з допустимим відхиленням T як $\pm\delta=(0,1...0,3)T$. Для нашого

прикладу $\pm \delta = \pm(0,2 \dots 0,6) \text{ } ^\circ\text{C}$. Таким чином, прилад для вимірювання температури повинний мати граничну похибку не більше $\pm \Delta_{\text{lim}} \leq \pm 0,6 \text{ } ^\circ\text{C}$. Гранична похибка засобів вимірювання включає в себе основні і додаткові похибки. Похибка, наведена в паспорті на прилад, є основною похибкою вимірювального приладу, яка визначається для ідеальних умов вимірювання. Додаткова помилка виникає через дію впливу фізичних величин - температури, вологості, тиску, магнітні та електричні поля, забруднення робочої зони, перепади напруги джерела живлення, тощо. Априорі передбачається, що додаткова похибка дорівнює основній, але може бути і більшою. При цьому прилад для вимірювання температури в товщі розмороженої м'ясної сировини повинен мати похибку вимірювання $\pm \Delta \leq \pm 0,3 \text{ } ^\circ\text{C}$. В іншому випадку почнуться технологічні втрати якості через неправильне прийняття або відбраковування продукції. Цій умові будуть задовольняти досить дорогі і точні прилади для вимірювання температури класу А і АА (таблиця 3.2).

Таблиця 3.2 - Класи допусків і діапазони вимірювань термометрів опору (ТО)

Клас допус- ку	Допуск, гра- нична похибка, °C	Діапазон вимірювання, °C			
		Платиновий ТО		Мідний ТО	Нікелевий ТО
			плівковий		
АА W 0.1 F 0.1	$\pm(0,1+0,0017 \cdot t)$	Від -50 до +250	Від -50 до +250	-	-
А W 0.15 F 0.15	$\pm(0,15+0,002 \cdot t)$	Від -100 до +450	Від -50 до +450	Від -50 до +120	-
В W 0.3 F 0.3	$\pm(0,3+0,005 \cdot t)$	Від -196 до +660	Від -50 до +600	Від -50 до +200	-
С W 0.6	$\pm(0,6+0,01 \cdot t)$	Від -196 до +660	Від -50 до +600	Від -180 до +200	Від -160 до +180

F 0.6					
-------	--	--	--	--	--

Не рекомендується брати клас В через відсутність запасу для процесів старіння –природнього збільшення похибки вимірювального приладу за рахунок окислення матеріалу чутливого елемента. З цієї ж причини не рекомендується використовувати мідний датчик. Хоча його вартість буде менше, ніж платини, але старіння міді відбувається швидше, тому зростуть витрати на часту калібровку. З цих причин термін служби мідного датчика істотно менший. Є ще одна складова питання - чим довше зберігаються стабільні показання пристрою, тим менше він завдасть шкоди виробництву у вигляді правильно відбракованої і неправильно прийнятої продукції.

З іншого боку, технологам потрібно обґрунтовано призначати самі допуски, може бути така точність вимірювань тут не була б потрібна, та й не було б необхідності використовувати платинові термометри опору, вартість і калібровка яких коштують дорожче мідних.

Для проведення коригувальних дій призначаються відповідальні особи. Закріплення такої відповідальності персоналу у відповідності до ISO 9001 здійснюється у формі матриці розподілу відповідальності і повноважень.

Форма матриці для розподілу обов'язків і повноважень персоналу на проведення коригувальних дій були розроблені і представлені в табл. 3.3. Тут чітко закріплені обов'язки кожної посадової особи і її відповідальність з метою оперативного реагування на невідповідність продукції встановленим вимогам при реалізації контролю в ККТ.

Таблиця 3.3 - Матриця розподілу відповідальності та повноважень персоналу щодо виконання коригувальних дій

Найменування заходу	Керівник підприємства	Начальник служби якості	Головний технолог	Головний інженер	Начальник виробництва	Головний метролог
Накопичення інформації за фактичними причинами невідповідностей, аналіз невідпові-	К	В	І	Д	С	І

дної сировини						
Впорядкування та налагодження охолоджуючого та технологічного обладнання	К	Д	С	В	І	І
Ізоляція невідповідної сировини та висновок про його подальше використання	К	В	І	Д	С	І
Розробка проекту зі встановлення обладнання, що забезпечить нормативні технологічні режими	К	І	С	В	Д	І
Проведення повторного навчання операторів	К	Д	С	І	В	С
Метрологічне забезпечення операцій контролю в ККТ	К	Д	І	І	І	В

Використовувані скорочення: К — керівництво роботою підрозділів, посадових осіб по процесу; В - відповідальний виконавець робіт по процесу; С — співвиконавець, учасник у виконанні документованих процедур; І — надання інформації про процес; Д — розробка документованих процедур, організація взаємодії між підрозділами при розробці та актуалізації процедур для кожного елемента.

ВИСНОВКИ

Метрологічне забезпечення контролю та безпеки на виробництві харчових продуктів є важливою складовою формування якості продукції.

Дослідження показало, що аналіз MSA може визначити, наскільки точним і надійним є процес вимірювання, а також можливі області для вдосконалення системи. Метою аналізу вимірювальної системи є оцінка якості, точності та надійності системи вимірювань, що використовується в процесі обстеження об'єктів.

Методика оцінки якості вимірювань MSA дозволяє не тільки оцінити точність процесів вимірювання в критичних контрольних точках, але і виявити фактори, що впливають на варіативність результатів вимірювань. Крім того, комплексний аналіз якості метрологічного забезпечення виробництва можна розглядати як валідацію процесів управління, що відповідає вимогам міжнародних і національних стандартів серії ISO 9000.

Аналіз технологічного процесу виробництва варено-копчених ковбас дозволив виявити дев'ять ККТ. Для визначених ККТ визначені граничні значення параметрів, що контролюються. У разі, якщо параметр, що контролюється, виходить за межі допуску, розроблені коригувальні заходи.

З метою розробки системи моніторингу був складений робочий лист НААСР з коригувальними заходами, використання якого дозволить підвищити рівень безпеки при виробництві варено-копчених ковбасних виробів.

Для розглянутого прикладу контролю якості замороженого і охолодженого сировини при виробництві варено-копчених ковбас на МК «Ювілейний» рекомендується замінити прилад для вимірювання температури в товщі м'ясної сировини, посилити вхідний контроль і впровадити заходи щодо підвищення стабільності характеристик при глибокому заморожуванні сировини, а також внести корективи в процес зберігання сировини при транспортуванні. Всі перераховані вище фактори повинні внести істотний внесок в поліпшення якості продукції, що випускається на підприємстві.

Розроблено матрицю розподілу відповідальності та повноважень персоналу для забезпечення високої якості. Рекомендовано правильно вибирати вимірювальні прилади, щоб забезпечити достовірність контролю і зниження впливу похибки вимірювань на результат.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Antony G.V., Knowles G. A
practical methodology for analyzing and improving the measurement system // *Quality Assurance*. 2000. № 3 (3). P. 59-75.
2. Chrysler Corporation, Ford Motor Company, General Motors Corporation (AIAG). Quality System Requirements. 3rd Edition. QS-9000. 1998.
3. Ermer S.D. Improved gage R&R measurement studies // *Quality Progress*. 2006. P. 77-79.
4. Ha C. Reliability of assessment for supplier selection using GRR study // *Indust. Intell. Inf.* 2015. № 6. P. 347–351.
5. Hart R.F., Hart K.M. The evaluation of a measurement system // *Production and Inventory Journal, Fourth Quarter*. 1994. P. 22-26.
6. International Automotive Task Force.
Automotive quality management system standard. 4th Edition. IATF 16949:2016.
7. Kazerouni A.M. Design and analyses of gauge R&R studies: Making decision based on ANOVA method. *International Journal of Mechanical, Aerospace, Industrial, Mechatronic and Manufacturing Engineering*. 2009. № 3 (4).
8. Klaput P. Methodical approach to measurement system analyses. Dissertation Thesis, VŠB - Technical University of Ostrava, Faculty of Metallurgy and Materials Engineering. 2014.
9. Sueli Fischer Beckert, Wagner Saucedo Paim.
Critical analysis of the acceptance criteria used in measurement system evaluation // *Int. J. Metrol. Qual. Eng.* 2017. № 8. P. 23.
10. Анищенко І., Рудик Т. Безпечність харчових продуктів на основі принципів НАССР: проблеми та шляхи їх вирішення. Стандартизація, сертифікація, якість. 2009. № 1. С. 35–38.
11. Березова С. Необхідність впровадження в Україні систем управління безпечністю харчових продуктів на основі принципів НАССР. Стандартизація, сертифікація, якість. 2015. № 2. С. 43–48.

12. Бочарова О. НАССР і системи управління безпечністю харчової продукції : підручник. Одеса : Атлант, 2019. 376 с.
13. Горшков Л.І. Сучасні методи менеджменту безпечності харчових продуктів. Система НАССР. Навчальний посібник. Київ: ПІДО НУХТ, 2004. 34 с.
14. Григоренко І. В. Інформаційно-вимірювальні технології та системи : навчальний посібник. Харків : НТУ "ХП", 2023. 254 с.
15. ДСТУ ISO 13053-2:2016. Статистичний контроль. Кількісні методи покращення процесу. Шість Сигма. Частина 2. Інструменти і методи (ISO 13053-2:2011, IDT). [Чинний від 2016-12-01]. Вид. офіц. Київ : Мінекономрозвитку України, 2016. 24 с.
16. ДСТУ ISO 22000:2019. Системи управління безпечністю харчових продуктів. Вимоги до будь-якої організації в харчовому ланцюзі (ISO 22000:2018, IDT). [Чинний від 2019-07-01]. Вид. офіц. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2019. 48 с.
17. Защепкіна Н. М., Шульга О. В., Наконечний О. А. Метрологічне забезпечення інформаційно-вимірювальних систем : навч. посіб. для студ. спец. 152 «Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка». Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. 176 с.
18. Мельник С.Р, Мельник Ю.Р, Дзіняк Б.О, Оробчук О.М. Сучасні концепції управління якістю та безпечністю харчових продуктів. Вісник Львівського торговельно-економічного університету: Технічні науки. 2022. No 32. С. 89–99. DOI: <https://doi.org/10.36477/2522-1221-2022-32-12>
19. Новіков В., Романенко І. Сертифікація системи управління безпечністю харчових продуктів (НАССР) в Україні: проблеми та шляхи їх вирішення. Економіст. 2014. № 5. С. 8–11.
20. Посібник з питань безпечності харчових продуктів. Київ : Державна служба України з питань безпечності харчових продуктів та захисту споживачів, 2020. 48 с.
21. Сидоренко, О. І., Дробот, В. І., Поліщук, Г. В. Система управління

безпечністю харчових продуктів. НАССР: навч. посіб. / О. І. Сидоренко, В. І. Дробот, Г. В. Поліщук ; за ред. О. І. Сидоренка. Київ : Центр учбової літератури, 2013. 208 с.

22. Теоретичні основи інформаційно-вимірювальних систем [електронний ресурс] : підручник / В. П. Бабак, С. В. Бабак, В. С. Єременко та ін. Київ : НАУ, 2017. 496 с.

23. Теорія імовірностей та математична статистика. Курс лекцій. / Уклад.: Т.А.Ліхоузова. Київ: КПП ім. Ігоря Сікорського, 2018. 300 с.

24. Ювілейний, МК. Офіційний сайт. [HTTPS://YUVILEINYI.COM.UA/](https://YUVILEINYI.COM.UA/)

25. Білоус Д. Ю., Дегтярьов О. В. Автоматизоване тестування вебзастосунків на основі підходу Behavior-DrivenDevelopment // Розвиток сучасної науки: актуальні питання теорії та практики : матеріали ІХ Всеукр. студент. наук. конф. (Київ, 21 листоп. 2025 р.). – Київ : Ін-т науково-технічної інтеграції та співпраці, 2025. – С. 479–480. – DOI: 10.62732/liga-ukr-21.11.2025. – ISBN 978-617-8582-04-3.

26. O. Degtiarovetal., "Development of a method and a measuring instrument in the area of studying the parameters of the low-frequency magnetic field," *Ukrainian Metrological Journal*, no. 1, pp. 17–25, 2025, doi: 10.24027/2306-7039.1.2025.325873 (WoS).

27. Klyuchnik, O. Degtiarovetal., "Identification of parameters of measuring modules based on pyroelectric materials," *Ukrainian Metrological Journal*, no. 2, pp. 16–23, 2025, doi: <https://doi.org/10.24027/2306-7039.2.2025.333812> (WoS).

28. Козлов Ю. В., Дегтярьов О. В. та ін. Метод оцінювання рівня навченості суб'єкта навчання // Метрологія та прилади. – 2024. – № 1. – С. 59–64. – DOI: <https://doi.org/10.30837/2663-9564.2024.1.11>

29. Хорошайло, Дегтярьов О. В. та ін. Дослідження можливостей використання колориметрії в медицині // Метрологія та прилади. – 2024. – № 2. – С. 32–38. – DOI: <https://doi.org/10.30837/2663-9564.2024.2.07>

30. Дегтярьов О. В. та ін. Оцінка невизначеностей вимірювань просторових гармонік зовнішнього магнітного поля // Метрологія та прилади. – 2025.

– № 1. – С. 4. <https://doi.org/10.30837/2663-9564.2025.1.06>