

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет інфокомунікацій
(повна назва)

Кафедра інформаційно-вимірювальних технологій
(повна назва)

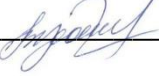
КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА Пояснювальна записка

рівень вищої освіти другий (магістерський)

Розробка системи управління якістю виробничих процесів у закладі
ресторанного господарства.
(тема)

Виконав:

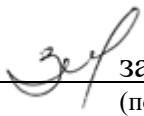
здобувач 2 року навчання,
групи ЗЯмз-24-1

 Безсонний В.Л.
(прізвище, ініціали)

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

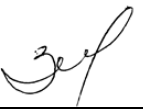
Тип програми освітньо-професійна
(освітньо-професійна або освітньо-
наукова)

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

Керівник  зав.каф. Захаров І.П.
(посада, прізвище, ініціали)

Допускається до захисту

Зав. кафедри


(підпис)

Захаров І.П.
(прізвище, ініціали)

2025 р.

Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет _____ інфокомунікацій
(повна назва)

Кафедра _____ інформаційно-вимірювальних технологій
(повна назва)

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)

«_____» _____ 2025 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

здобувачеві _____ Безсонному Віталію Леонідовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Розробка системи управління якістю виробничих процесів у закладі ресторанного господарства
_____ .11.2025

затверджена наказом по університету від «03» 11_20_ р. № 188Стз


2. Термін подання здобувачем роботи до екзаменаційної комісії _____ 20__ р.

3. Вихідні дані до роботи процеси виробництва кулінарної продукції в ресторані «Континент». Нормативне забезпечення: ДСТУ ISO 22000:2019, Закон України № 771/97-ВР. Технічні засоби та технології: мережа IoT на базі протоколу LoRaWAN, Bluetooth-термошупи, методологія HACCP. Програмне забезпечення: ПК з ОС Windows, середовище моделювання бізнес-процесів (IDEF0), програмне забезпечення для статистичного аналізу даних (SPC).

4. Перелік питань, що потрібно опрацювати в роботі _____
4.1. Вступ. 4.2. Аналітичний огляд сучасних методів та засобів забезпечення якості в ресторанному бізнесі. 4.3. Дослідження та моделювання виробничих процесів ресторану «Континент» (IDEF0, аналіз небезпечних факторів). 4.4. Розробка та впровадження системи управління якістю на основі інструментального моніторингу (ККТ, IoT-сенсори, SOP). 4.5. Експериментальна перевірка та оцінка ефективності розробленої системи (оцінювання невизначеності, SPC-аналіз). 4.6. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях. 4.7. Висновки.

5. Перелік графічного матеріалу із зазначенням креслеників, схем, плакатів, комп'ютерних ілюстрацій (п.5 включається до завдання за рішенням випускової кафедри) Слайди презентації кваліфікаційної роботи

6. Консультанти розділів роботи (п.6 включається до завдання за наявності консультантів згідно з наказом, зазначеним у п.1)

Найменування розділу	Консультант (посада, прізвище, ім'я, по батькові)	Позначка консультанта про виконання розділу	
		підпис	дата
Основна частина	проф. Захаров І.П.		

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

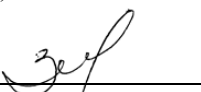
№	Назва етапів роботи	Терміни виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз літератури, нормативної бази та стану проблеми	17.11.2025	
2	Моделювання бізнес-процесів (IDEF0) та аудит об'єкта	20.11.2025	
3	Розробка системи моніторингу та інструкцій (SOP)	24.11.2025	
4	Експериментальна перевірка, оцінювання невизначеності та SPC-аналіз	27.11.2025	
5	Розробка розділу з охорони праці	01.12.2025	
6	Оформлення пояснювальної записки	08.12.2025	
7	Підготовка графічного матеріалу та презентації	10.12.2025	
8	Представлення на рецензування	16.12.2025	
9	Представлення роботи в ЕК	18.12.2025	

Дата видачі завдання _____ 2025 р.

Здобувач _____

 (підпис)

Керівник роботи _____


(підпис)

зав.каф. ІВТ Захаров І.П.
(посада, прізвище, ініціали)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до магістерської кваліфікаційної роботи містить 94 сторінки, 3 рисунки, 5 таблиць, перелік посилань з 31 назви.

Об'єкт дослідження – процеси управління якістю та безпечністю виробництва кулінарної продукції в ресторані «Континент».

Мета дослідження полягає у підвищенні ефективності управління та гарантуванні безпечності продукції в закладі ресторанного господарства шляхом розробки та впровадження системи автоматизованого інструментального моніторингу критичних контрольних точок.

Методи дослідження: системний аналіз, функціональне моделювання (IDEF0), метод аналізу небезпечних факторів і критичних точок контролю (НАССР), статистичні методи керування якістю (SPC), методи оцінювання невизначеності вимірювань.

У роботі проведено аналіз нормативної бази та існуючих проблем контролю якості в ресторанах. Здійснено моделювання бізнес-процесів ресторану «Континент» та ідентифікацію ризиків. Обґрунтовано вибір критичних контрольних точок та розроблено систему їх моніторингу на базі технологій LoRaWAN та Bluetooth. Спроектовано архітектуру інформаційної системи та розроблено цифрові інструкції (SOP).

Наукова новизна полягає в удосконаленні методики управління якістю шляхом інтеграції принципів НАССР з елементами IoT та введенні операційних меж контролю, скоригованих на величину розширеної невизначеності вимірювань.

Практичне значення результатів: впровадження системи дозволяє мінімізувати втрати сировини, забезпечити простежуваність процесів та знизити ризики випуску небезпечної продукції. Економічна ефективність підтверджена розрахунком ROI.

Сфера застосування: заклади ресторанного господарства, готельно-ресторанні комплекси, підприємства харчової промисловості.

УПРАВЛІННЯ ЯКІСТЮ, БЕЗПЕЧНІСТЬ ХАРЧОВИХ ПРОДУКТІВ, НАССР, ІОТ, МОНІТОРИНГ, РЕСТОРАННЕ ГОСПОДАРСТВО, СТАНДАРТНІ ОПЕРАЦІЙНІ ПРОЦЕДУРИ, НЕВИЗНАЧЕНІСТЬ ВИМІРЮВАНЬ.

ABSTRACT

The explanatory note to the master's qualification thesis contains 94 pages, 3 figures, 31 references.

The object of the study is the processes of quality management and safety of culinary production in the "Continent" restaurant.

The aim of the research is to improve management efficiency and guarantee product safety in the restaurant establishment by developing and implementing an automated instrumental monitoring system for critical control points.

Research methods: system analysis, functional modeling (IDEF0), Hazard Analysis and Critical Control Points (HACCP), Statistical Process Control (SPC), measurement uncertainty evaluation methods.

The paper analyzes the regulatory framework and existing quality control problems in restaurants. Business process modeling of the "Continent" restaurant and risk identification were carried out. The choice of critical control points was substantiated, and a monitoring system based on LoRaWAN and Bluetooth technologies was developed. The information system architecture was designed, and digital instructions (SOPs) were developed.

Scientific novelty lies in improving the quality management methodology by integrating HACCP principles with IoT elements and introducing operational control limits corrected by the value of expanded measurement uncertainty.

Practical significance of the results: implementation of the system allows minimizing raw material losses, ensuring process traceability, and reducing the risks of producing unsafe products. Economic efficiency is confirmed by ROI calculation.

Sphere of application: restaurant establishments, hotel-restaurant complexes, food industry enterprises.

QUALITY MANAGEMENT, FOOD SAFETY, HACCP, IOT, MONITORING, RESTAURANT BUSINESS, STANDARD OPERATING PROCEDURES, MEASUREMENT UNCERTAINTY.

ЗМІСТ

ВСТУП	9
РОЗДІЛ 1. АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД СУЧАСНИХ МЕТОДІВ ТА ЗАСОБІВ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЯКОСТІ В РЕСТОРАННОМУ БІЗНЕСІ	12
1.1. Аналіз нормативно-правової бази забезпечення якості та безпечності харчових продуктів в Україні та ЄС (Закон № 771/97-ВР, ISO 22000, HACCP).	12
1.2. Сучасні підходи до управління якістю: порівняння HACCP, ISO 9001 та концепції «Шість сигм» у сфері послуг.	14
1.3. Огляд інформаційно-вимірювальних технологій для моніторингу параметрів технологічних процесів у HoReCa (IoT-датчики, LIMS, автоматизовані системи реєстрації даних).	18
1.4. Аналіз існуючих проблем контролю якості в ресторанах готельних комплексів та постановка задач дослідження.	24
РОЗДІЛ 2. ДОСЛІДЖЕННЯ ТА МОДЕЛЮВАННЯ ВИРОБНИЧИХ ПРОЦЕСІВ РЕСТОРАНУ «КОНТИНЕНТ»	29
2.1. Загальна характеристика об'єкта дослідження: аналіз організаційно-виробничої структури ресторану «Континент» та наявної системи контролю.	29
2.2. Функціональне моделювання бізнес-процесів виробництва та обслуговування з використанням методології IDEF0 (побудова діаграм AS-IS).	32
2.3. Ідентифікація та аналіз небезпечних факторів (біологічних, хімічних, фізичних) на етапах життєвого циклу продукції (від приймання сировини до подачі страви).	37
2.4. Аудит метрологічного забезпечення технологічних процесів: аналіз парку засобів вимірювальної техніки та оцінка їх відповідності вимогам точності.	40
РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА ТА ВПРОВАДЖЕННЯ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ЯКІСТЮ НА ОСНОВІ ІНСТРУМЕНТАЛЬНОГО МОНІТОРИНГУ	45
3.1. Обґрунтування вибору критичних контрольних точок (ККТ) та встановлення критичних меж (температурно-часові режими, вологість тощо).	45

3.2. Розробка підсистеми автоматизованого моніторингу параметрів технологічних процесів (вибір сенсорів, логерів даних, засобів передачі інформації).	48
3.3. Застосування статистичних методів керування якістю (SPC) для аналізу стабільності процесів приготування страв (контрольні карти, аналіз індексів відтворюваності).	51
3.4. Розробка документованих процедур та стандартів операційних процедур (SOP) для персоналу ресторану.	55
3.5. Проектування архітектури інформаційної системи для збору, обробки та візуалізації даних про якість (дашборди для менеджменту).	59
РОЗДІЛ 4. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ПЕРЕВІРКА ТА ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ РОЗРОБЛЕНОЇ СИСТЕМИ	66
4.1. Моделювання результатів вимірювань параметрів технологічних процесів.	66
4.2. Оцінювання невизначеності вимірювань у ККТ.	69
4.3. Статистичний аналіз стабільності процесу (SPC).	73
4.4. Оцінка ефективності впровадження.	76
РОЗДІЛ 5. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	79
5.1. Аналіз шкідливих та небезпечних виробничих факторів у гарячому цеху ресторану.	79
5.2. Заходи щодо забезпечення електробезпеки при експлуатації технологічного та вимірювального обладнання.	82
5.3. Розробка плану дій у разі виникнення пожежі та інших надзвичайних ситуацій.	84
ВИСНОВКИ	88
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	91

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

DMAIC (Define, Measure, Analyze, Improve, Control) – циклічний алгоритм покращення процесів у методології «Шість сигм».

FMEA (Failure Mode and Effects Analysis) – методологія аналізу видів і наслідків відмов.

HACCP (Hazard Analysis and Critical Control Points) – система аналізу небезпечних факторів та контролю у критичних точках.

HoReCa (Hotel, Restaurant, Cafe) – сфера індустрії гостинності та громадського харчування.

IDEF0 – методологія функціонального моделювання бізнес-процесів.

IoT (Internet of Things) – Інтернет речей; мережа фізичних об'єктів («речей»), оснащених сенсорами та програмним забезпеченням для обміну даними.

ISO (International Organization for Standardization) – Міжнародна організація зі стандартизації.

LoRaWAN (Long Range Wide Area Network) – енергоефективний мережевий протокол бездротової передачі даних на великі відстані.

PDCA (Plan-Do-Check-Act) – ітеративний метод управління («Плануй-Виконуй-Перевірй-Дій»).

ДБН – Державні будівельні норми.

ДСН – Державні санітарні норми.

ДСТУ – Державний стандарт України.

ІВТ – Інформаційно-вимірювальні технології.

ККТ – Критична контрольна точка; етап процесу, на якому можна застосувати контроль для запобігання або усунення небезпечного фактора.

ВСТУП

Сучасний етап розвитку індустрії гостинності та ресторанного господарства України характеризується глибинною трансформацією підходів до забезпечення якості та безпечності продукції. В умовах гармонізації національного законодавства з європейськими нормами (зокрема, імплементації регламентів ЄС № 852/2004 та № 853/2004) впровадження системи аналізу небезпечних факторів та контролю у критичних точках (НАССР) стало законодавчим імперативом. Однак для закладів ресторанного господарства вищого класу, до яких належить ресторан «Континент» при готельному комплексі, формального дотримання гігієнічних вимог вже недостатньо для забезпечення конкурентоспроможності.

Забезпечення стабільно високої якості продукції вимагає переходу від дискретного, ретроспективного контролю (який лише констатує факт браку) до безперервного, превентивного моніторингу параметрів технологічних процесів у реальному часі. В умовах цілодобового режиму роботи ресторану, складної внутрішньої логістики та значних обсягів виробництва, критичного значення набуває мінімізація впливу людського фактора. Традиційні методи реєстрації даних (паперові журнали) є застарілими, суб'єктивними та не дозволяють оперативно реагувати на критичні відхилення.

Це зумовлює нагальну необхідність інтеграції в систему управління якістю сучасних інформаційно-вимірювальних технологій (ІВТ) та елементів концепції Індустрії 4.0. Застосування автоматизованих систем збору даних (ІоТ), прецизійних засобів вимірювальної техніки та статистичних методів керування процесами (SPC) дозволяє гарантувати безпечність продукції на принципово новому рівні. Таким чином, тема роботи, присвячена розробці системи управління якістю на основі інструментального моніторингу, є актуальною та своєчасною.

Метою роботи є підвищення ефективності управління якістю та гарантування безпечності харчової продукції в закладі ресторанного

господарства шляхом розробки та впровадження системи автоматизованого інструментального моніторингу критичних контрольних точок.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі задачі:

1. Провести аналітичний огляд нормативно-правової бази та сучасних методів забезпечення якості в ресторанному бізнесі, обґрунтувати доцільність інтеграції принципів HACCP з технологіями IoT.

2. Виконати діагностичний аудит об'єкта дослідження – ресторану «Континент», здійснити функціональне моделювання бізнес-процесів (IDEF0) та ідентифікувати небезпечні фактори на всіх етапах життєвого циклу продукції.

3. Науково обґрунтувати вибір критичних контрольних точок (ККТ), встановити критичні межі та розробити підсистему автоматизованого моніторингу параметрів (температури, вологості, часу) з використанням бездротових сенсорів.

4. Розробити комплект стандартизованих операційних процедур (SOP) та спроектувати архітектуру інформаційної системи для збору та аналізу даних про якість.

5. Експериментально перевірити ефективність розробленої системи шляхом моделювання результатів вимірювань, оцінювання невизначеності та статистичного аналізу стабільності процесів (SPC).

6. Проаналізувати стан охорони праці в гарячому цеху, розробити заходи з електробезпеки при експлуатації вимірювального обладнання та алгоритми дій у надзвичайних ситуаціях.

Об'єкт дослідження – процеси управління якістю та безпечністю виробництва кулінарної продукції в ресторані «Континент».

Предмет дослідження – методи, засоби вимірювальної техніки, інформаційні технології та моделі забезпечення якості в закладах ресторанного господарства.

Методи дослідження. У роботі використано комплекс методів: системний аналіз (для дослідження ресторану як складної системи),

функціональне моделювання IDEF0 (для оптимізації процесів), метод HACCP (для аналізу ризиків), статистичні методи керування якістю SPC (для аналізу стабільності процесів), теорія похибок та оцінювання невизначеності (для метрологічного обґрунтування вимірювань).

Розроблена система моніторингу та комплект нормативно-технічної документації (цифрові SOP, плани HACCP) дозволяють ресторану «Континент» мінімізувати втрати від псування сировини, забезпечити простежуваність продукції та успішне проходження зовнішніх аудитів. Запропоновані заходи з охорони праці підвищують рівень безпеки персоналу.

1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД СУЧАСНИХ МЕТОДІВ ТА ЗАСОБІВ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЯКОСТІ В РЕСТОРАННОМУ БІЗНЕСІ

1.1 Аналіз нормативно-правової бази забезпечення якості та безпечності харчових продуктів в Україні та ЄС

Сучасна система технічного регулювання у сфері безпечності харчових продуктів в Україні переживає етап докорінної трансформації, зумовленої курсом на європейську інтеграцію. Підписання Угоди про асоціацію між Україною та Європейським Союзом (зокрема Глави 4 Розділу IV «Санітарні та фітосанітарні заходи») зобов'язало Україну гармонізувати національне законодавство з європейським *acquis communautaire*. Цей процес змінив саму філософію державного контролю: відбувся перехід від репресивно-каральної моделі реакції на виявлені порушення до превентивної моделі управління ризиками.

Для закладів ресторанного господарства, таких як об'єкт дослідження – ресторан «Континент», це означає зміну фокусу з контролю якості готової страви (який часто є руйнівним і запізнілим) на контроль параметрів технологічного процесу її приготування.

Основним нормативно-правовим актом, що регулює цю сферу, є Закон України «Про основні принципи та вимоги до безпечності та якості харчових продуктів» № 771/97-ВР (зі змінами та доповненнями). Закон впроваджує в українське правове поле ключові принципи європейського регламенту ЕС No 178/2002 (General Food Law) [1].

Основні положення Закону, що безпосередньо впливають на інженерно-технічне забезпечення ресторану: відповідальність оператора ринку (ст. 20). Закон чітко встановлює, що відповідальність за безпечність продукції несе виключно суб'єкт господарювання, а не державний інспектор. Це вимагає від ресторану створення власної ефективною системи самоконтролю; обов'язковість системи НАССР (ст. 21). Впровадження постійно діючих

процедур, заснованих на принципах системи аналізу небезпечних факторів та контролю у критичних точках (НАССР), є обов'язковим для всіх операторів ринку, включаючи заклади громадського харчування; простежуваність (Traceability, ст. 22). Закон вимагає забезпечення простежуваності за принципом «крок назад, крок вперед». Для ресторану це означає необхідність ведення точного обліку партій сировини, температурних режимів їх транспортування та зберігання, що неможливо без використання сучасних інформаційних систем [2].

Система НАССР (Hazard Analysis and Critical Control Points) є міжнародно визнаним інструментом забезпечення безпечності харчових продуктів. Вона базується на 7 принципах, які регламентовані Кодексом Аліментаріус (Codex Alimentarius) та імплементовані в українське законодавство через Наказ Мінагрополітики № 590.

З точки зору інформаційно-вимірювальних технологій найбільший інтерес становлять принципи, що стосуються моніторингу:

Принцип 3: Встановлення критичних меж у критичних контрольних точках (ККТ). Це конкретні вимірювані параметри (температура, час, рН, вологість), які розділяють поняття «безпечний» і «небезпечний» продукт.

Принцип 4: Встановлення системи моніторингу в ККТ. Закон вимагає, щоб моніторинг забезпечував своєчасне виявлення втрати контролю. У сучасному ресторані це вимагає переходу від ручних записів до автоматизованих систем збору даних (Data Loggers), які виключають людський фактор та фальсифікацію даних.

Якщо НАССР фокусується на безпечності технологічного процесу, то міжнародний стандарт ISO 22000 «Системи управління безпечністю харчових продуктів» (в Україні діє як ДСТУ ISO 22000:2019) пропонує рамкову структуру для управління всією організацією. Він інтегрує принципи НАССР з методологією системного менеджменту (цикл PDCA: Plan-Do-Check-Act) та інтерактивною комунікацією [3 – 5].

Для ресторану класу «люкс» відповідність ISO 22000 є не лише питанням престижу, але й інструментом верифікації (перевірки) дієвості системи. Стандарт висуває жорсткі вимоги до:

- керування засобами моніторингу та вимірювання (п. 8.7). Ресторан зобов'язаний надати докази того, що методи моніторингу та вимірювальне обладнання є придатними для виконання вимірювань (калібрування, повірка, валідація методик).

- керування невідповідностями. Стандарт вимагає чітких алгоритмів дій у разі виходу параметрів процесу за встановлені межі.

Аналіз нормативно-правової бази дозволяє зробити висновок, що сучасне законодавство України та ЄС ставить перед закладами ресторанного господарства чіткі інженерні завдання [6 – 15]:

- 1) Забезпечити безперервний вимірювальний контроль параметрів у ККТ.
- 2) Гарантувати метрологічну простежуваність результатів вимірювань.
- 3) Забезпечити збереження та цілісність масивів даних моніторингу для підтвердження безпечності ("due diligence").

Виконання цих вимог в умовах інтенсивного виробництва ресторану «Континент» неможливе без застосування сучасних інформаційно-вимірювальних технологій, що підтверджує актуальність теми магістерської роботи.

1.2 Сучасні підходи до управління якістю: порівняння HACCP, ISO 9001 та концепції «Шість сигм» у сфері послуг

В умовах глобалізації ринку ресторанних послуг та зростання вимог споживачів до якості, просте дотримання технологічних карт вже не гарантує конкурентоспроможності. Сучасна парадигма управління якістю базується на інтеграції різних методологій, кожна з яких має свій фокус, інструментарій та

вимоги до метрологічного забезпечення. Для розробки ефективної системи управління якістю (СУЯ) в ресторані «Континент» необхідно проаналізувати та порівняти три домінуючі концепції: HACCP, ISO 9001 та «Шість сигм» (Six Sigma) [6].

Як було зазначено в попередньому підрозділі, система HACCP (Hazard Analysis and Critical Control Points) є фундаментом харчової безпеки. Її головна особливість – вузька спеціалізація на попередженні ризиків, що можуть завдати шкоди здоров'ю споживача.

З точки зору інформаційно-вимірювальних технологій, HACCP є детермінованою системою. Вона оперує чіткими критичними межами (наприклад, температура всередині котлети повинна бути $\geq 75^{\circ}\text{C}$).

- Об'єкт вимірювання – фізичні, хімічні та біологічні параметри продукту та середовища.

- Метод контролю - Безперервний або дискретний моніторинг у реальному часі.

- Реакція системи – негайна корегувальна дія при виході параметра за межі допуску (бінарна логіка: "безпечно/небезпечно").

У сфері послуг HACCP є необхідною умовою для входу на ринок ("license to operate"), але вона не гарантує, що страва буде смачною або що клієнт буде задоволений сервісом.

Міжнародний стандарт ISO 9001:2015 пропонує універсальну модель управління якістю, застосовну до будь-якої організації. На відміну від HACCP, ISO 9001 фокусується не лише на безпеці продукту, а на задоволеності споживача та стабільності бізнес-процесів.

Основним елементом ISO 9001 є цикл PDCA (Plan-Do-Check-Act). Для ресторану це означає перехід від інтуїтивного управління до документованих процесів.

- Об'єкт вимірювання – результативність процесів (KPI), задоволеність клієнтів, відповідність вимогам.

- Метод контролю – внутрішні аудити, аналіз даних з боку керівництва, моніторинг процесів.

- Роль метрології – стандарт (п. 7.1.5) вимагає наявності ресурсів для моніторингу та вимірювання, забезпечення простежуваності вимірювань (калібрування) для підтвердження відповідності продукції та послуг вимогам.

ISO 9001 створює "каркас" для системи управління, в який інтегрується HACCP як технічний елемент контролю безпечності.

Методологія «Шість сигм» (Six Sigma), що зародилася у виробничому секторі (Motorola, GE), набуває все більшої популярності у сфері послуг (Service Six Sigma). Її суть полягає у зменшенні варіабельності процесів та мінімізації дефектів до рівня 3,4 дефекта на мільйон можливостей (DPMO).

Для ресторану «дефектом» може бути відхилення ваги порції від стандарту, перевищення часу очікування замовлення, невідповідність температури подачі страви.

«Шість сигм» базується на циклі DMAIC (Define, Measure, Analyze, Improve, Control) і активно використовує статистичні методи.

- Об'єкт вимірювання – статистичні характеристики процесу (середнє значення, стандартне відхилення σ , індекси відтворюваності C_p , C_{pk}).

- Метод контролю – статистичне керування процесами (SPC), контрольні карти Шухарта.

- Мета – зробити процес передбачуваним та стабільним.

Саме в рамках «Шість сигм» найбільш повно розкривається потенціал спеціальності 175, оскільки методологія вимагає збору великих масивів даних та їх математичної обробки для пошуку кореневих причин проблем.

Порівняльна характеристика розглянутих підходів наведена в таблиці 1.1.

Застосування лише однієї з методик є недостатнім для сучасного ресторану класу «люкс», оскільки HACCP без ISO 9001 забезпечує безпеку, але не гарантує стабільного сервісу та ефективного управління ресурсами. ISO

9001 без HACCP у харчовій галузі є неможливим через законодавчі вимоги, а без «Шість сигм» система може бути бюрократичною та негнучкою. «Шість сигм» дає інструменти для вдосконалення, але потребує стабільної бази, яку надають ISO та HACCP.

Таблиця 1.1 – Порівняльний аналіз підходів до управління якістю в ресторанному бізнесі

Критерій порівняння	HACCP	ISO 9001	Шість сигм (Six Sigma)
Основний фокус	Безпечність харчового продукту (Food Safety)	Задоволеність споживача та стабільність процесів	Зменшення варіабельності та підвищення ефективності
Базова концепція	Аналіз ризиків та контроль у критичних точках	Цикл PDCA, процесний підхід, ризик-орієнтоване мислення	Цикл DMAIC, прийняття рішень на основі фактів та даних
Тип вимірювань	Прямі вимірювання фізико-хімічних параметрів (T, t, pH, a_w)	Моніторинг показників результативності (KPI), аудити	Статистичний аналіз масивів даних, вимірювання відхилень
Реакція на відхилення	Негайна корекція (зупинка процесу, утилізація)	Коригувальні дії для усунення причини невідповідності	Пошук кореневих причин варіації, оптимізація процесу
Вимоги до ЗВТ	Висока точність, повірка/калібрування обов'язкові	Вимога придатності для конкретних цілей моніторингу	Висока роздільна здатність, аналіз вимірювальних систем (MSA)
Сфера застосування в ресторані	Кухня, склад, процеси обробки їжі	Всі процеси: від закупівлі до обслуговування гостей	"Вузькі місця", процеси з високою частотою помилок

Для ресторану «Континент» найбільш доцільним є впровадження інтегрованої системи управління якістю, де НАССР виступає гарантом безпечності та базовим рівнем контролю технологічних параметрів. ISO 9001 забезпечує організаційну структуру, документообіг та орієнтацію на клієнта. Інструменти «Шість сигм» (SPC, MSA) використовуються як інженерна надбудова для аналізу даних, отриманих з автоматизованих систем моніторингу, що дозволяє не просто фіксувати брак, а попереджати його появу шляхом зменшення варіабельності процесів.

Такий синтез методологій дозволяє повною мірою реалізувати потенціал сучасних інформаційно-вимірювальних технологій у сфері гостинності.

1.3 Огляд інформаційно-вимірювальних технологій для моніторингу параметрів технологічних процесів у HoReCa (IoT-датчики, LIMS, автоматизовані системи реєстрації даних)

В умовах стрімкої цифровізації економіки та переходу до концепції «Індустрія 4.0», сфера ресторанного господарства (HoReCa) зазнає суттєвих технологічних трансформацій. Традиційні методи контролю безпечності, що базуються на періодичних ручних вимірюваннях та паперовому документообігу, дедалі частіше демонструють свою неефективність. Головними недоліками таких підходів є дискретність отриманих даних, висока ймовірність систематичних та випадкових помилок, зумовлених людським фактором, а також неможливість миттєвого реагування на критичні відхилення параметрів [16]. Для забезпечення гарантованого рівня якості та безпечності продукції в сучасному ресторані необхідна імплементація комплексних інформаційно-вимірювальних систем (ІВС), що інтегрують «розумні» сенсори (IoT), системи керування лабораторною та технологічною інформацією (LIMS/KMS) і хмарні платформи обробки даних.

Інтернет речей (IoT) у контексті харчової безпеки трансформує фізичні об'єкти інфраструктури ресторану (холодильні камери, теплові шафи, складські приміщення) в джерела об'єктивних цифрових даних. Архітектура таких систем зазвичай є трирівневою: рівень сприйняття (сенсори та виконавчі механізми), мережевий рівень (шлюзи та протоколи передачі даних) та рівень застосунків (хмарна аналітика та інтерфейси користувача) [17].

Для моніторингу параметрів мікроклімату та технологічних процесів у ресторанах застосовуються такі класи спеціалізованих IoT-пристроїв:

Стационарні бездротові дата-логери (Wireless Data Loggers). Ці пристрої використовуються для безперервного (24/7) моніторингу температури та відносної вологості у критичних зонах зберігання: холодильних та морозильних камерах, складах сухих продуктів. Сучасні логери повинні відповідати вимогам стандарту EN 12830, що регламентує характеристики реєстраторів температури для транспортування, зберігання та розподілу термочутливої продукції.

Типовий діапазон вимірювання становить від -40°C до $+70^{\circ}\text{C}$ (для морозильних камер) із розширеною невизначеністю вимірювань не більше $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$. Важливим параметром є інерційність сенсора, яка має бути узгоджена з динамікою зміни температури в камері, щоб уникати хибних спрацьовувань сигналізації при короткочасному відкритті дверей.

Використовуються інтерфейси передачі даних – Wi-Fi, Bluetooth Low Energy (BLE) та LPWAN-технології (LoRaWAN, NB-IoT). Технологія LoRaWAN є найбільш перспективною для великих ресторанно-готельних комплексів (як об'єкт дослідження – ресторан при готелі «Харків»). Завдяки використанню суб-гігагерцового діапазону частот, сигнал LoRaWAN має високу проникаючу здатність крізь товсті залізобетонні перекриття та стіни підвальних приміщень, де зазвичай розташовані холодильні цехи, що забезпечує стабільний зв'язок без необхідності розгортання складної мережі ретрансляторів [18].

Інтелектуальні термощупи (Smart Probes). Застосовуються для оперативного контролю температури в товщі продукту (core temperature) під час теплової обробки (варіння, запікання) або інтенсивного охолодження. На відміну від класичних біметалевих або спиртових термометрів, смарт-щупи на базі термопар (Т-типу або К-типу) або платинових термометрів опору (Pt100) забезпечують високу швидкість реакції та точність. Вони автоматично фіксують стабілізоване значення температури і передають його в систему через Bluetooth, прив'язуючи вимірювання до конкретної партії продукції, часу та виконавця [19]. Це фактично унеможлиблює фальсифікацію записів кухарем ("dry-labbing").

Сенсори якості фритюрного жиру. Приладдя для експрес-контролю якості олії, що вимірюють вміст полярних сполук (TPM – Total Polar Materials) за методом зміни діелектричної проникності середовища. Це дозволяє об'єктивно, на основі інструментальних даних, визначити момент необхідності заміни олії, відмовившись від суб'єктивних органолептичних оцінок (колір, запах), що часто призводять або до передчасної заміни (економічні втрати), або до використання небезпечного продукту [20].

Time-Temperature Integrators (TTI). «Розумні» етикетки або індикатори, що змінюють колір залежно від накопиченої теплової історії продукту. Вони дозволяють оцінити не лише поточну температуру, а й інтегральний вплив порушень температурного режиму протягом всього ланцюга постачання [2].

Оскільки класичні лабораторні інформаційні системи (LIMS) є надмірно складними та дорогими для операційної діяльності ресторану, в індустрії набули поширення спеціалізовані програмні комплекси класу Digital HACCP (цифрова система управління безпечністю). Вони виконують функцію збору, валідації, агрегації та довготривалого зберігання вимірювальної інформації.

Основні функціональні модулі таких систем включають в себе оцифрування стандартних операційних процедур (SOP). Персонал використовує промислові планшети або смартфони для проходження інтерактивних чек-листів. Система має вбудовану логіку валідації вводу: вона

не дозволяє закрити завдання або перейти до наступного етапу, якщо введені дані виходять за межі допустимих значень (наприклад, температура прийому охолодженого м'яса $> 4^{\circ}\text{C}$), вимагаючи введення коментаря про коригувальну дію [21].

Інтеграція з технологічним обладнанням, оскільки сучасне теплове обладнання (пароконвектомати, шокери таких брендів як Rational, Unox) оснащене вбудованими модулями HACCP, які автоматично записують графіки зміни температури та вологості в робочій камері та в тілі продукту під час приготування. Інформаційна система через API зчитує ці логи та архівує їх як доказову базу безпечності процесу термічної обробки (pasteurization record) [22].

Система проактивних сповіщень (Alert System). У разі виходу контрольованого параметра за встановлені критичні межі (наприклад, відмова компресора холодильника в нічний час або незачинені двері), система миттєво генерує каскад сповіщень (SMS, Push, Email, голосовий дзвінок) відповідальним особам. Це дозволяє вжити заходів до того, як продукція зіпсується, мінімізуючи фінансові втрати.

Автоматична генерація звітів для внутрішніх та зовнішніх аудитів, побудова трендів (SPC-карти), аналіз ефективності роботи персоналу та обладнання.

Забезпечення стабільно високої якості продукції в сучасному ресторанному бізнесі неможливе без використання надійних, точних та метрологічно атестованих засобів вимірювальної техніки (ЗВТ). Вибір конкретного типу первинного перетворювача для моніторингу температурних режимів (у холодильних та морозильних камерах, під час теплової обробки, на лініях роздачі) має базуватися на глибокому розумінні фізики процесу та метрологічних вимог.

Використовуються як контактні методи вимірювання, так і безконтактні. Серед контактних методів найбільш поширеними є:

Термопари (К, J, T-типу) характеризуються широким діапазоном вимірювань, швидкою реакцією та механічною міцністю, що робить їх ідеальними для контролю температури всередині продукту під час приготування. Термопари T-типу особливо цінуються за високу точність у діапазоні температур, критичних для харчової безпеки.

Платинові термометри опору (Pt100/Pt1000) забезпечують найвищу точність та стабільність показань у часі, що є критичним для еталонних вимірювань та калібрування робочих засобів, а також для точного контролю умов зберігання дороговартісної сировини.

Безконтактні методи, представлені інфрачервоними пірометрами, дозволяють миттєво оцінити температуру поверхні продукту або обладнання без ризику перехресного забруднення, проте вимагають коректного врахування коефіцієнта випромінювання поверхні. Кожен з цих методів має свої специфічні метрологічні характеристики (діапазон, похибка, чутливість), інерційність та сферу оптимального застосування, що вимагає фахового та обґрунтованого вибору первинних перетворювачів для кожної конкретної задачі контролю.

Перспективним та динамічно зростаючим напрямком є впровадження бездротових сенсорних мереж (WSN) на базі сучасних енергоефективних технологій передачі даних, таких як LoRaWAN або Bluetooth Low Energy (BLE). Такі системи кардинально змінюють підхід до моніторингу, дозволяючи автоматично, без участі персоналу, передавати великі масиви даних про температуру, вологість та час витримки у захищене хмарне сховище. Це дає можливість формувати журнали HACCP в електронному вигляді, що унеможлиблює їх фальсифікацію «заднім числом» та забезпечує повну прозорість процесів для аудитів (рис. 1.1).

Крім того, автоматизація дозволяє реалізувати систему проактивного миттєвого сповіщення (Alert System) персоналу про будь-які відхилення параметрів за межі встановлених допусків, що дозволяє оперативно втрутитися в процес та запобігти псуванню дороговартісної сировини.

Важливим аспектом є інтеграція отриманих вимірювальних даних у LIMS (Laboratory Information Management System) або спеціалізовані ERP-системи ресторану, що забезпечує повну цифрову простежуваність життєвого циклу кожного продукту – від постачальника до тарілки гостя.

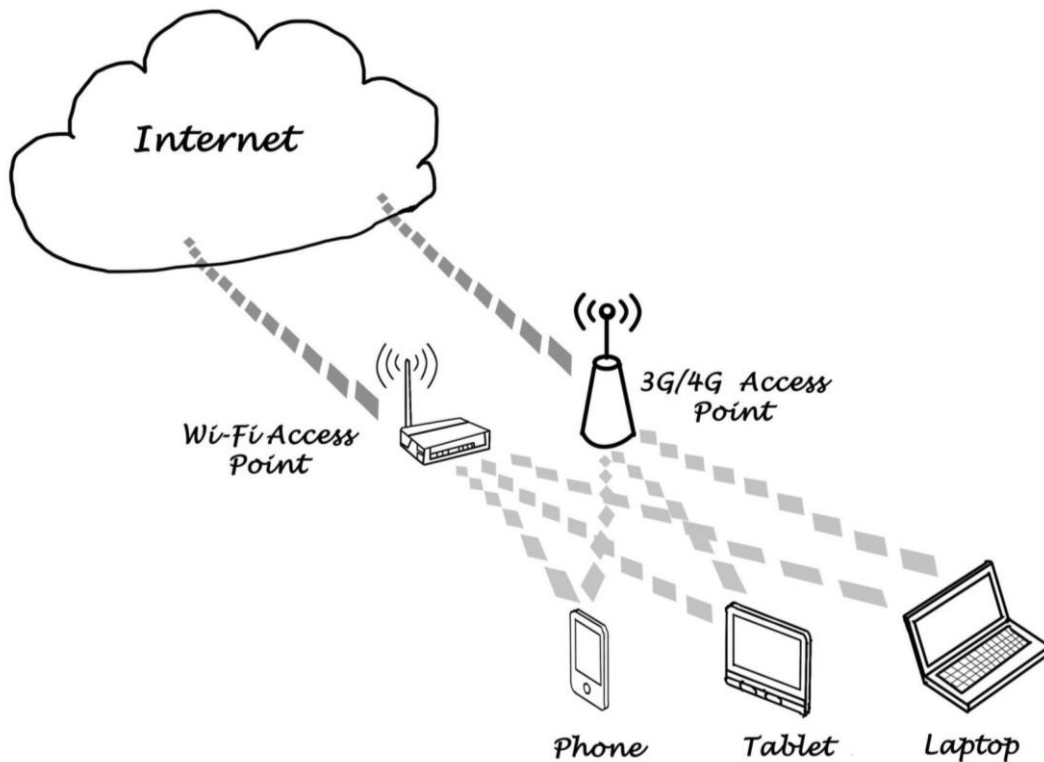


Рис. 1.1 – Приклади використання бездротових мереж

Попри очевидні переваги, широке впровадження автоматизованих систем моніторингу в ресторанах України стикається з рядом технічних, метрологічних та організаційних викликів. Метрологічне забезпечення (Калібрування та повірка) – IoT-сенсори, що використовуються в ККТ, є законодавчо регульованими засобами вимірювальної техніки. Процедура їх періодичної повірки або калібрування може бути логістично складною, особливо для бездротових датчиків, інтегрованих у важкодоступні місця. Необхідне розроблення методик калібрування "in-situ" (на місці експлуатації) без демонтажу системи.

Цілісність та безпека даних (Data Integrity), забезпечення захисту даних від кіберзагроз, несанкціонованого доступу та модифікації є критичним.

Державні інспектори та аудитори повинні довіряти цифровим записам. Перспективним напрямом вирішення цієї проблеми є використання технології розподіленого реєстру (Blockchain) для гарантування незмінності записів про температурні режими в усьому ланцюгу постачання [23].

Гетерогенність парку обладнання. Відсутність єдиного стандарту обміну даними (протоколу сумісності) між обладнанням різних виробників ускладнює створення єдиної екосистеми "Розумної кухні" (Smart Kitchen). Це вимагає використання проміжного програмного забезпечення (middleware) або дорогих інтеграційних рішень. Валідація програмного забезпечення. Згідно з вимогами стандартів серії ISO, будь-яке ПЗ, що використовується для моніторингу якості, повинно бути валідоване – тобто має бути доведено, що воно працює коректно і виконує свої функції згідно з призначенням.

Аналіз ринку інформаційно-вимірювальних технологій показує, що для об'єкта дослідження – ресторану «Континент» – найбільш доцільним є впровадження гібридної, багаторівневої системи моніторингу. Вона має поєднувати автоматичні автономні логери на базі енергоефективної технології LoRaWAN для моніторингу складських приміщень (де відсутній постійний персонал та є проблеми з покриттям Wi-Fi) та Bluetooth-термощупи з інтеграцією у мобільний додаток Digital HACCP для контролю активних технологічних процесів на кухні. Такий підхід забезпечить метрологічну достовірність вимірювань, необхідну для дотримання вимог ISO 22000, мінімізує операційні ризики та створить надійну доказову базу безпечності продукції.

1.4 Аналіз існуючих проблем контролю якості в ресторанах готельних комплексів та постановка задач дослідження

Заклади ресторанного господарства, інтегровані у структуру великих готельних комплексів класу 4–5 зірок, до яких належить ресторан «Континент»

при ТОВ «ГОТЕЛЬ «ХАРКІВ», функціонують у специфічному, надзвичайно напруженому операційному середовищі. На відміну від автономних закладів харчування, діяльність яких зазвичай обмежується обслуговуванням відвідувачів у залі за меню «a la carte», ресторан при готелі є багатофункціональним виробничим механізмом. Це породжує унікальний спектр проблем та ризиків у сфері забезпечення якості та безпечності продукції, вирішення яких вимагає не просто адміністративних заходів, а впровадження системних інженерних рішень.

Багатовекторність діяльності ресторану «Континент» (сніданки у форматі «шведський стіл», індивідуальне обслуговування, цілодобовий рум-сервіс, обслуговування банкетів та конференцій) створює критичне навантаження на систему управління якістю через низку специфічних факторів:

1) Безперервний (24/7) виробничий цикл. На відміну від звичайних ресторанів, кухня готелю не зупиняється на ніч. Це ускладнює проведення повноцінних санітарних обробок приміщень та обладнання без зупинки технологічних процесів. Крім того, у нічні зміни, коли контроль з боку менеджменту (шеф-кухаря, су-шефа) об'єктивно знижується, а фізична та когнітивна втома лінійного персоналу зростає, ризик виникнення помилок (людський фактор) досягає пікових значень. Це може проявлятися у недбалому ставленні до температурних режимів або порушенні правил товарного сусідства.

2) Складна внутрішня логістика та вертикальне переміщення. Згідно з аналізом планів приміщень ресторану «Континент», основні складські потужності розташовані у підвальному приміщенні, тоді як виробничі цехи знаходяться на першому поверсі. Необхідність вертикального транспортування сировини (ліфтами або сходами) створює розриви у «холодовому ланцюгу» (cold chain). Під час переміщення напівфабрикати можуть піддаватися неконтрольованому нагріванню, а перетин потоків

сировини, готової продукції та відходів у ліфтових холах створює високі ризики перехресної контамінації (cross-contamination).

3) Пікові навантаження та масовість. Одночасне приготування та видача сотень порцій (наприклад, під час сніданків або банкетів) створює ситуації, коли персонал, працюючи в умовах цейтноту, може свідомо ігнорувати процедури інструментального контролю заради швидкості обслуговування. Наприклад, замість вимірювання температури всередині кожної курячої грудки термощупом, кухар може покладатися лише на візуальну оцінку готовності, що є неприпустимим з точки зору НАССР.

Діагностичний аудит поточної системи управління якістю в ресторані «Континент», а також аналіз типових галузевих практик, дозволяють виділити ряд системних проблем інженерно-метрологічного та організаційного характеру, що потребують вирішення:

1) Домінування ручних методів реєстрації даних та проблема достовірності. У більшості випадків моніторинг температури в холодильному обладнанні здійснюється шляхом періодичного (зазвичай 2-3 рази на добу) візуального зчитування показів вбудованих або побутових термометрів та ручного запису їх у паперові журнали. Цей архаїчний метод має такі критичні недоліки як дискретність, що полягає у відсутності будь-якої інформації про стан температурного режиму в проміжках між перевітками (наприклад, вночі або у вихідні дні). Короткочасний вихід з ладу компресора може залишитися непоміченим, але призвести до псування продуктів та суб'єктивності, тобто високої ймовірності помилки зчитування через паралакс аналогових приладів або неуважність, також ризик фальсифікації («Dry-labbing»), оскільки існує поширена практика заповнення журналів «заднім числом» без фактичного проведення вимірювань, що перетворює систему контролю на формальність.

2) Відсутність метрологічної простежуваності. Засоби вимірювальної техніки (ЗВТ), що використовуються на кухні (побутові таймери, спиртові термометри, ваги), часто не проходять регулярну періодичну перевірку або калібрування. Це призводить до невизначеності щодо дійсної похибки

вимірювань. Без знання похибки неможливо гарантувати, що критична межа (наприклад, 75°C для пастеризації м'яса) була дійсно досягнута, навіть якщо прилад показує відповідне значення.

3) Реактивний характер управління. Існуюча система здебільшого реагує на проблему вже після того, як вона сталася (post-factum). Наприклад, списання партії зіпсованих продуктів відбувається вранці, коли виявляється поломка холодильника, що сталася вночі. Відсутність автоматизованих систем проактивного сповіщення (Alert Systems) у реальному часі призводить до значних фінансових втрат, яких можна було б уникнути.

4) Фрагментарність та ізольованість даних. Інформація, що стосується якості (вхідні сертифікати, температурні листи, результати лабораторних змивів, акти списання), зберігається в розрізних паперових архівах або різних Excel-файлах. Це унеможливує оперативний аналіз трендів, кореляцій та виявлення системних відхилень за допомогою статистичних методів керування процесами (SPC), що є основою сучасної системи менеджменту якості.

Виходячи з вищевикладеного аналізу, стає очевидним, що забезпечення гарантованого рівня безпечності та стабільної якості в умовах сучасного готельно-ресторанного комплексу неможливе без переходу від «паперового» НАССР до цифрових систем управління, що базуються на об'єктивних інструментальних даних та автоматизації.

Для досягнення мети магістерської роботи – розробки системи управління якістю виробничих процесів у закладі ресторанного господарства на основі інструментального моніторингу – необхідно вирішити наступний комплекс задач дослідження:

- виконати детальне функціональне моделювання (з використанням нотації IDEF0) бізнес-процесів виробництва та обслуговування в ресторані «Континент» для виявлення прихованих зв'язків, ідентифікації точок розриву простежуваності та зон підвищеного ризику втрати якості.

- провести глибокий аналіз небезпечних факторів (біологічних, хімічних, фізичних) та здійснити валідацію критичних контрольних точок (ККТ) у технологічних процесах, враховуючи специфіку меню, обладнання та логістики ресторану.

- обґрунтувати вибір засобів вимірювальної техніки для моніторингу параметрів у ККТ (температура, вологість, час, якість фритюрного жиру), розробити методику оцінювання невизначеності вимірювань для цих параметрів та встановити вимоги до точності та швидкодії приладів.

- розробити структуру та архітектуру автоматизованої системи моніторингу на базі IoT-рішень, що забезпечує безперервний збір даних, їх захист від фальсифікації, хмарне зберігання та генерацію миттєвих сповіщень про відхилення для відповідального персоналу.

- розробити комплект стандартизованих операційних процедур (SOP) та робочих інструкцій для персоналу, адаптованих до роботи в умовах цифровізації процесів контролю, що мінімізують вплив людського фактора.

- Запропонувати методику верифікації та валідації розробленої системи, а також розрахувати очікуваний економічний ефект від її впровадження за рахунок зниження втрат від псування продукції, зменшення ризиків штрафних санкцій та оптимізації витрат робочого часу персоналу.

Вирішення сформульованих задач дозволить створити науково обґрунтовану, інженерно досконалу систему управління якістю, що відповідає вимогам міжнародних стандартів серії ISO 22000 та здатна ефективно протистояти сучасним викликам індустрії гостинності.

2 ДОСЛІДЖЕННЯ ТА МОДЕЛЮВАННЯ ВИРОБНИЧИХ ПРОЦЕСІВ РЕСТОРАНУ «КОНТИНЕНТ»

2.1 Загальна характеристика об'єкта дослідження: аналіз організаційно-виробничої структури ресторану «Континент» та наявної системи контролю

Об'єктом дослідження в магістерській кваліфікаційній роботі обрано ресторан «Континент», який функціонує як структурний підрозділ ТОВ «ГОТЕЛЬ «ХАРКІВ» (рис.2.1). Заклад належить до категорії ресторанів першого класу та інтегрований у загальну інфраструктуру готельного комплексу, що визначає специфіку його виробничо-торговельної діяльності. Основною функцією ресторану є забезпечення послугами харчування мешканців готелю, а також обслуговування зовнішніх відвідувачів. Інфраструктура закладу включає основний зал на 200 посадкових місць, банкетний зал на 60 місць та кафе «Сьоме небо».



Рис. 2.1 – Ресторан «Континент», вигляд з вулиці

Критичною особливістю функціонування об'єкта є цілодобовий режим роботи основного виробництва, що зумовлено необхідністю надання послуг проживаючим у готелі (зокрема, обслуговування в номерах). Такий режим створює специфічне навантаження на систему управління якістю, вимагаючи забезпечення стабільності технологічних процесів та параметрів середовища у режимі 24/7, включаючи нічні зміни, коли адміністративний нагляд є мінімальним.

Організаційна структура управління рестораном «Континент» побудована за лінійно-функціональним принципом. Загальна чисельність персоналу становить 25 осіб. Стратегічне керівництво здійснює Рада акціонерів готелю, а оперативне управління покладено на директора ресторану. Безпосередній контроль за виробничим процесом здійснює завідувач виробництвом, якому підпорядкований виробничий персонал (кухарі різних кваліфікаційних категорій, кухонні працівники, мийники посуду). Обслуговуючий персонал (офіціанти, бармени) підпорядковується адміністратору залу або метрдотелю. З точки зору забезпечення якості, така структура має чітку ієрархію відповідальності, проте характеризується високою залежністю від «людського фактора», оскільки функції контролю здебільшого покладені на лінійних керівників, а не на автоматизовані системи.

Виробничо-торговельна структура підприємства організована за цеховим принципом і характеризується складною просторовою топологією, що є суттєвим фактором ризику для безпечності продукції. Аналіз планів приміщень свідчить про вертикальне рознесення функціональних зон. Складська група приміщень, яка включає неохолоджувані комори (для сухих продуктів, овочів) та блок охолоджуваних камер (м'ясо-рибна, молочно-жирова, камера для фруктів та напоїв), розташована у підвальному поверсі будівлі. Натомість основна виробнича група, до якої входять заготівельні цехи (овочевий, м'ясо-рибний) та доготівельні цехи (гарячий, холодний), розміщена на першому поверсі, у безпосередній близькості до торговельних залів. Така конфігурація вимагає транспортування сировини та напівфабрикатів за

допомогою ліфтів або сходів, що створює логістичні розриви та ускладнює дотримання безперервного температурного ланцюга («cold chain») під час переміщення швидкопсувних продуктів між зонами зберігання та переробки.

Технічне оснащення ресторану відповідає вимогам до закладів даного класу. Гарячий цех укомплектований сучасним тепловим обладнанням, зокрема електричними плитами, жарочними шафами, фритюрницями та пароконвектоматами, які дозволяють здійснювати термічну обробку з високою точністю. Холодильне обладнання представлено стаціонарними камерами у складській зоні та холодильними шафами і столами безпосередньо на робочих місцях у цехах. Параметри мікроклімату виробничих приміщень (висота стель 3,2 м) підтримуються системою припливно-витяжної вентиляції та кондиціонування. Проте, аналіз стану метрологічного забезпечення виявив, що контроль параметрів роботи обладнання здебільшого здійснюється за допомогою вбудованих індикаторів, які не мають функції архівації даних, що унеможливорює ретроспективний аналіз стабільності процесів.

Наявна система контролю якості в ресторані «Континент» базується на традиційних адміністративних методах та періодичних перевірках. Вхідний контроль сировини здійснюється візуально завідувачем виробництвом або комірником шляхом перевірки супровідної документації та органолептичної оцінки, при цьому інструментальний контроль температури в товщі продукту проводиться нерегулярно. Контроль технологічних процесів покладено на виконавців (кухарів) та полягає у дотриманні технологічних карт. Моніторинг умов зберігання сировини в холодильних камерах здійснюється шляхом періодичного зчитування показів рідинних або механічних термометрів із ручним занесенням даних у паперові журнали (зазвичай двічі на добу). Лабораторний контроль безпечності продукції та санітарного стану виробництва проводиться зовнішньою лабораторією з періодичністю один раз на місяць (бактеріологічні змиви, аналізи готової продукції).

Узагальнюючи результати аналізу, можна констатувати, що хоча ресторан «Континент» володіє потужною матеріально-технічною базою,

існуюча система контролю якості має суттєві недоліки системного характеру. Головною проблемою є дискретність контролю та відсутність автоматизованого збору даних про критичні параметри технологічних процесів (температура, вологість, час). Покладання функцій моніторингу виключно на персонал створює ризики суб'єктивізму, помилок зчитування та можливої фальсифікації записів. Крім того, розрив інформаційних потоків між складською зоною (підвал) та виробництвом (перший поверх) ускладнює оперативне реагування на відхилення. Зазначені фактори обґрунтовують необхідність розробки удосконаленої системи управління якістю, що базується на впровадженні сучасних інформаційно-вимірювальних технологій.

2.2 Функціональне моделювання бізнес-процесів виробництва та обслуговування з використанням методології IDEF0 (побудова діаграм AS-IS)

Для проведення глибокого системного аналізу виробничої діяльності ресторану «Континент» та виявлення прихованих недоліків у системі управління якістю було застосовано методологію функціонального моделювання IDEF0 (Integration Definition for Function Modeling). Вибір саме цього інструментарію зумовлений його здатністю формалізувати складні ієрархічні системи, чітко розмежовуючи матеріальні та інформаційні потоки, а також механізми виконання та керуючі впливи. Це є необхідною передумовою для переходу від інтуїтивного управління до інженерно-обґрунтованого проектування системи контролю на базі сучасних інформаційно-вимірювальних технологій.

На верхньому рівні ієрархії розроблено контекстну діаграму, яка розглядає ресторан як єдину систему («чорну скриньку») та описує його взаємодію із зовнішнім середовищем. Ця діаграма визначає межі проекту та фіксує основні інтерфейси.

Головна функція (блок A0): «Надання послуг харчування та обслуговування в ресторані «Континент»».

Детальний опис інтерфейсних дуг моделі:

1. Вхід (Input) – матеріальні та інформаційні ресурси, що перетворюються процесом:
 - *Замовлення клієнтів* – цей потік є неоднорідним і включає замовлення від мешканців готелю (через room-service або на сніданках), зовнішніх відвідувачів (a la carte) та корпоративних замовників (банкети). Така варіативність створює нерівномірне навантаження на виробництво.
 - *Сировина та напівфабрикати* – продукти харчування, що надходять від постачальників. Критично важливо, що сировина надходить із різним початковим рівнем якості та в різному термічному стані (охолоджена, заморожена, суха), що вимагає диференційованих процедур вхідного контролю.
 - *Енергоресурси* - вода, електроенергія, газ, необхідні для функціонування технологічного обладнання.
2. Вихід (Output) – результат виконання функції:
 - *Готові кулінарні страви та напої* - основний продукт, який має відповідати стандартам якості та безпечності.
 - *Задоволені потреби клієнтів* – нематеріальний результат (сервіс, атмосфера), який оцінюється через зворотний зв'язок (відгуки, чайові).
 - *Фінансова та облікова звітність* – документи, що підтверджують рух товарів та коштів (акти списання, чеки, звіти про продажі).
 - *Відходи виробництва* – органічні відходи та упаковка, управління якими є важливою складовою системи екологічного менеджменту та НАССР.
3. Управління (Control) – правила, стратегії та стандарти, що регламентують процес:

- *Законодавча база* – Закон України № 771/97-ВР «Про основні принципи та вимоги до безпечності та якості харчових продуктів», Санітарні регламенти.
- *Внутрішні стандарти* – план НАССР, Технологічні карти страв (рецептури), Стандарти обслуговування готелю «Харків». Саме цей вхід визначає які параметри (температура, час, вага) повинні бути досягнуті.

4. Механізми (Mechanism) – ресурси, що виконують процес:

- *Персонал* – штат ресторану (директор, шеф-кухар, кухарі, офіціанти, комірники), компетентність яких впливає на результат.
- *Технологічне обладнання* – теплові та холодильні агрегати, які забезпечують необхідні режими обробки та зберігання.
- *IT-інфраструктура* – програмно-апаратні комплекси (POS-термінали, кухонні принтери), що забезпечують передачу інформації.

Для виявлення внутрішніх причин проблем з якістю було проведено декомпозицію головної функції на п'ять основних бізнес-процесів, що формують ланцюжок створення цінності в ресторані (модель "AS-IS" – "як є" на момент дослідження).

Блок А1: «Планування меню та закупівля».

Цей процес є ініціюючим. На основі аналізу продажів та сезонності формується замовлення постачальникам.

- *Проблема* – в поточній системі планування базується на суб'єктивному досвіді шеф-кухаря, а не на точному аналізі даних. Це призводить до помилок у закупівлях: надлишок швидкопсувних продуктів, які псуються на складі, або дефіцит популярних позицій («стоп-лист»).

Блок А2: «Приймання та зберігання сировини».

Критично важливий етап для забезпечення безпечності. Процес включає перевірку супровідних документів, візуальний огляд та розміщення товарів у складських приміщеннях підвалу.

- *Проблема (ідентифікована в п. 2.1):* Головним ризиком є розрив «холодового ланцюга». Через вертикальне рознесення складу і кухні, переміщення сировини займає час, протягом якого температура продукту не контролюється. Крім того, моніторинг температури в камерах здійснюється вручну 2 рази на добу, що залишає великі часові «сліпі зони» (особливо вночі), коли відмова обладнання може залишитися непоміченою.

Блок А3: «Виробництво кулінарної продукції».

Центральний процес, що включає первинну обробку в заготівельних цехах (чистка, нарізка), теплову обробку в гарячому цеху (варіння, смаження, запікання) та фінальне оформлення страв.

- *Метрологічний аспект* – технологічні карти вимагають точного дотримання режимів (наприклад, запікання при 180°C протягом 20 хв).
- *Проблема* – у поточній моделі контроль цих параметрів покладено виключно на виконавця (кухаря). Відсутня об'єктивна реєстрація фактично досягнутих температур у товщі продукту. Це створює високий ризик випуску небезпечної продукції через людський фактор (поспіх, недбалість).

Блок А4: «Обслуговування споживачів».

Процес включає прийом замовлення офіціантом, передачу його на кухню, подачу готових страв та розрахунок.

- *Проблема* – існує проблема комунікації між залом та кухнею. У пікові години інформація про затримку видачі страв не надходить до офіціанта вчасно, що призводить до конфліктів. Також відсутній інструментальний контроль температури страви при подачі («Temperature at service»), що впливає на органолептичне сприйняття якості гостем.

Блок А5: «Управління якістю та санітарією».

Допоміжний процес, що включає миття посуду, прибирання приміщень, контроль термінів придатності та ведення журналів НАССР.

- *Проблема* – даний процес у моделі AS-IS має яскраво виражений реактивний характер. Менеджмент реагує на проблему (наприклад, зіпсований продукт) вже після того, як вона сталася. Паперова форма ведення записів унеможливорює оперативний аналіз трендів та предиктивне управління.

Системний аналіз моделі AS-IS та ідентифікація "вузьких місць"

Побудова та аналіз функціональної моделі дозволили виявити критичні системні розриви в інформаційних та матеріальних потоках існуючої системи управління рестораном «Континент»:

1) Розрив контуру зворотного зв'язку, оскільки інформація про параметри середовища (температура в холодильниках у Блоці А2) не надходить автоматично до центру прийняття рішень (Блок А5). Вона фіксується в паперовому журналі, який перевіряється завідувачем виробництва із запізненням (постфактум). Це унеможливорює превентивні дії.

2) Відсутність наскрізної простежуваності (Traceability). На етапі виробництва (Блок А3) фактично втрачається зв'язок між конкретною готовою стравою та партією вхідної сировини. Облік ведеться в різних, непов'язаних між собою журналах, що ускладнює розслідування інцидентів харчових отруєнь або скарг.

3) Недостатнє метрологічне забезпечення механізмів. Керуючі впливи (технологічні карти) вимагають високої точності режимів, але механізми (технологічне обладнання) не оснащені засобами автоматичної фіксації та архівації цих режимів. Кухар виступає ненадійним «датчиком» у цій системі.

Функціональне моделювання підтвердило, що існуюча система управління процесами в ресторані «Континент» має фрагментарний та застарілий характер. Ключовою проблемою є відсутність інтегрованого цифрового контуру моніторингу параметрів якості, що перетворює процеси зберігання (А2) та виробництва (А3) на «чорні скриньки» для менеджменту. Це науково обґрунтовує необхідність перепроєктування системи (створення

моделі "ТО-ВЕ") з обов'язковим впровадженням автоматизованих засобів вимірювальної техніки та інформаційних технологій.

2.3 Ідентифікація та аналіз небезпечних факторів (біологічних, хімічних, фізичних) на етапах життєвого циклу продукції

Основним етапом розробки системи управління якістю в ресторані «Континент» є проведення систематичної ідентифікації та оцінювання небезпечних факторів, що можуть виникнути на будь-якому етапі життєвого циклу продукції: від вхідного контролю сировини до моменту споживання готової страви гостем. Цей процес базується на першому принципі системи НАССР та передбачає визначення природи ризиків, ймовірності їх виникнення та тяжкості наслідків для здоров'я споживачів. Враховуючи складну організаційно-виробничу структуру ресторану та вертикальну логістику переміщення сировини, виявлену у попередніх підрозділах, аналіз ризиків набуває особливого значення для побудови ефективної моделі контролю.

У ході дослідження було проведено детальний аналіз технологічних карт та процесів приготування найбільш популярних страв ресторану («Салат Цезар», «Жульєн з куркою та грибами», «Сирники по-київськи»), що дозволило екстраполювати виявлені закономірності на весь виробничий цикл підприємства. Небезпечні фактори були класифіковані за трьома основними групами: біологічні, хімічні та фізичні.

Біологічні ризики є найбільш критичними для ресторану «Континент» через використання широкого спектра швидкопсувної сировини тваринного походження (яйця, м'ясо птиці, молочні продукти, риба) та наявність процесів, що не передбачають жорсткої термічної обробки перед подачею (холодні закуски, салати).

На етапі приймання та зберігання сировини головним біологічним ризиком є контамінація патогенними мікроорганізмами, такими як *Salmonella*

spp., *Listeria monocytogenes*, *Escherichia coli* та *Staphylococcus aureus*. Аналіз технологічного процесу приготування салату «Цезар» та сирників виявив високий рівень ризику, пов'язаний з використанням курячих яєць. Недотримання температурних режимів під час транспортування сировини з підвальних складських приміщень до виробничих цехів (розрив «холодового ланцюга») створює сприятливі умови для експоненційного розмноження мезофільних аеробних та факультативно-анаеробних мікроорганізмів (КМАФАнМ).

На етапі попередньої підготовки (миття овочів, зелені, яєць) існує ризик перехресної контамінації. Специфіка планування приміщень ресторану «Континент», де потоки сировини та готової продукції можуть перетинатися в зонах загального користування, підвищує ймовірність перенесення патогенів з «брудної» зони (коренеплоди, необроблені яйця) на «чисту» (готові салати). Зокрема, для листків салату та свіжих овочів критичним фактором є наявність бактерій групи кишкової палички, які можуть залишатися на поверхні продукту при недостатньо ретельному промиванні проточною водою.

Етап термічної обробки (смаження, запікання, тушкування) розглядається як основний бар'єр для усунення біологічних ризиків. Однак, аналіз процесу приготування страви «Жульєн з куркою та грибами» та «Сирників по-київськи» вказує на ризик виживання вегетативних форм мікроорганізмів у разі недосягнення критичної температури в центрі продукту (менше 75 °C) або недотримання часу експозиції. Це підтверджує необхідність інструментального моніторингу параметрів теплової обробки, оскільки візуальна оцінка готовності кухарем є суб'єктивною і не гарантує мікробіологічної безпеки.

Хімічні небезпеки в умовах ресторану «Континент» пов'язані як з характеристиками вхідної сировини, так і з особливостями технологічних процесів миття та дезінфекції. На етапі вхідного контролю ідентифіковано ризик наявності у рослинній сировині (гриби, овочі, зелень) залишків пестицидів, нітратів та солей важких металів, що перевищують гранично

допустимі концентрації. Оскільки ресторан не має власної лабораторії для вхідного експрес-аналізу, управління цим ризиком повністю залежить від надійності постачальників та наявності супровідної документації, що є слабкою ланкою в системі якості.

Значний хімічний ризик виникає на етапах санітарної обробки інвентарю, посуду та яєць. Технологічні інструкції передбачають використання мийних та дезінфікуючих засобів (наприклад, розчинів хлорного вапна або кальцинованої соди). Порушення концентрації робочих розчинів або недостатнє ополіскування може призвести до потрапляння хімічних агентів у готову страву. Особливо це актуально для процесу миття столового посуду, де залишки поверхнево-активних речовин (ПАР) можуть спричинити хімічні отруєння або алергічні реакції у споживачів. Окрему групу хімічних небезпек становлять харчові алергени. У рецептурах досліджуваних страв (соус до салату «Цезар», «Сирники») містяться потенційні алергени: глютен (сухарі, борошно), лактоза (сир, сметана, вершкове масло), яєчний білок, гірчиця. Ризик полягає у можливому ненавмисному потрапленні слідів алергенів у страви, які не повинні їх містити, через використання спільного інвентарю або поверхонь без належного проміжного очищення.

Фізичні небезпеки пов'язані з потрапленням у продукцію сторонніх предметів, що можуть завдати механічної травми споживачеві. Аналіз виробничого середовища ресторану дозволив виділити декілька джерел таких ризиків. На етапі первинної обробки сировини існує ризик наявності природних домішок: камінців, землі, піску в овочах та грибах; кісток або їх уламків у рибному та м'ясному філе. Наприклад, при приготуванні жульєну або салату з куркою, недостатньо ретельне видалення кісток з філе є критичним дефектом якості.

Ризики, пов'язані з виробничим середовищем та персоналом, включають потрапляння у страви скла (від розбитого посуду або освітлювальних приладів), металевих частинок (від зношеного інвентарю, скріпок), пластику, а також предметів особистого вжитку персоналу (гудзики, прикраси, волосся).

В умовах інтенсивної роботи кухні під час банкетного обслуговування або сніданків, коли швидкість видачі страв є пріоритетом, увага до цілісності інвентарю може знижуватися, що підвищує ймовірність реалізації фізичних небезпек.

Узагальнюючи результати аналізу, встановлено, що для ресторану «Континент» найбільш критичними етапами, що вимагають впровадження жорсткого інструментального контролю, є: приймання швидкопсувної сировини (контроль температурного ланцюга), термічна обробка (контроль температури пастеризації) та санітарна обробка яєць і посуду (контроль хімічної безпеки). Ідентифіковані небезпечні фактори стануть основою для визначення критичних контрольних точок (ККТ) та розробки плану HACCP у наступних розділах роботи [24, 25].

2.4 Аудит метрологічного забезпечення технологічних процесів, аналіз парку засобів вимірювальної техніки та оцінка їх відповідності вимогам точності

В ході комплексного аналізу виробничої діяльності ресторану «Континент» було проведено детальний технічний аудит наявного парку засобів вимірювальної техніки (ЗВТ). Результати аудиту виявили ряд суттєвих недоліків. Встановлено, що контроль температури в критично важливих холодильних та морозильних камерах досі здійснюється переважно за допомогою морально застарілих рідинних та біметалевих термометрів. Ці прилади мають ціну поділки 1-2 °С, що створює значну похибку зчитування і не завжди забезпечує необхідну точність вимірювань для критичних категорій продуктів (наприклад, свіжої охолодженої риби або м'ясних напівфабрикатів, де відхилення навіть в 1-2 градуси може суттєво вплинути на термін безпечного зберігання та якість).

Система реєстрації даних базується на ручному веденні записів у паперових журналах. Такий підхід не лише є трудомістким, але й створює високі ризики фальсифікації даних (заповнення журналів наперед або "заднім числом") та виникнення випадкових помилок зчитування через ефект паралаксу або неуважність персоналу. Також виявлено повну відсутність системи автоматизованого моніторингу відносної вологості в складських приміщеннях, хоча цей параметр є критичним для забезпечення належних умов зберігання овочів, фруктів та сипучих продуктів, впливаючи на їх масу та органолептичні властивості. Незважаючи на те, що періодична повірка та калібрування ваг виконується згідно з затвердженим графіком, процедура проміжної перевірки точності термометрів (валідація) персоналом не проводиться систематично, а методика оцінювання придатності вимірювальних систем (MSA – Measurement System Analysis) не застосовується взагалі. Сукупність цих факторів свідчить про нагальну необхідність докорінного удосконалення та модернізації метрологічного забезпечення підприємства для відповідності сучасним стандартам якості.

Ефективність функціонування будь-якої системи управління якістю (зокрема, побудованої на принципах HACCP та ISO 22000) безпосередньо корелює з достовірністю, точністю та простежуваністю вимірювальної інформації, що отримується в критичних контрольних точках. Саме метрологічне забезпечення виступає тим технічним фундаментом, на якому будується доказова база безпечності харчової продукції. У рамках виконання кваліфікаційної роботи було проведено комплексний аудит наявного парку засобів вимірювальної техніки (ЗВТ) ресторану «Континент» з метою оцінки його відповідності сучасним вимогам до метрологічних характеристик в умовах переходу до автоматизованого моніторингу.

Інструментальний контроль параметрів технологічних процесів та умов зберігання в ресторані «Континент» здійснюється за допомогою засобів вимірювання температури, маси та часу. Детальний аналіз номенклатури,

технічного стану та умов експлуатації ЗВТ дозволив класифікувати їх за функціональним призначенням та виявити системні недоліки.

Засоби вимірювання маси. Для вхідного контролю сировини та дозування інгредієнтів використовуються електронні ваги різного класу точності. На етапі приймання товарів (у складській зоні підвалу) експлуатуються товарні платформні ваги з максимальною межею зважування (Max) до 150-300 кг та середнім класом точності (III). У виробничих цехах (холодному, гарячому, м'ясо-рибному) використовуються порційні настільні ваги (типу ВНЦ-2, CAS SW-10) з Max 2–10 кг та ціною поділки (d) 1–2 г.

Результати аудиту. Більшість ваг мають чинні свідоцтва про повірку. Однак, процедура щоденного калібрування (юстирування) перед початком зміни не регламентована внутрішніми інструкціями та фактично не виконується персоналом. Враховуючи інтенсивність експлуатації та перепади вологості на кухні, це створює ризик виникнення систематичних похибок зважування, що впливає на собівартість продукції та дотримання рецептур.

Засоби вимірювання температури (зберігання). Моніторинг температурних режимів у стаціонарних холодильних камерах та холодильних шафах здійснюється переважно за допомогою застарілих механічних біметалевих або рідинних спиртових термометрів.

Результати аудиту. Ці прилади характеризуються високою інерційністю (повільна реакція на зміну температури) та низькою роздільною здатністю шкали (ціна поділки зазвичай становить 1 °C або 2 °C). Така груба дискретизація ускладнює фіксацію незначних відхилень температури, які можуть свідчити про початок несправності холодильного агрегату. Крім того, зчитування показів відбувається візуально персоналом, що створює ризик грубих похибок (промахів) через паралакс та суб'єктивний фактор.

Засоби вимірювання температури (технологічна обробка). Для контролю параметрів термічної обробки використовуються вбудовані датчики технологічного обладнання (пароконвектоматів, жарочних шаф). Сучасні пароконвектомати (Rational, Unox), наявні на кухні, оснащені термощупами

(багатоточковими термопарами), що дозволяють контролювати температуру в геометричному центрі продукту.

Результати аудиту. Виявлено повну відсутність практики періодичної перевірки точності цих вбудованих датчиків за допомогою еталонних засобів вимірювання. Це ставить під сумнів достовірність автоматичного контролю процесу приготування критичних м'ясних страв. Портативні цифрові термометри зі щупами для оперативного контролю готовності страв на лінії роздачі наявні в обмеженій кількості, не закріплені за відповідальними особами та часто мають пошкодження захисних корпусів.

Основним етапом аудиту стала оцінка відповідності метрологічних характеристик наявних ЗВТ вимогам технологічних карт та планів НАССР (критичним межам).

Для критичних контрольних точок (ККТ), пов'язаних із термічною обробкою (наприклад, гарантоване досягнення 75 °C в центрі виробу для знищення патогенів), допустима похибка вимірювання температури, згідно з міжнародними рекомендаціями, не повинна перевищувати $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ (у діапазоні пастеризації) або $\pm 1^{\circ}\text{C}$ (для загального контролю). Використовувані в ресторані механічні термометри часто мають паспортну похибку $\pm 2^{\circ}\text{C}$ і більше, що є категорично неприпустимим для ККТ. Така похибка може призвести до прийняття хибного рішення про безпечність недоготованого продукту (ризик першого роду – ризик споживача) або до пересушування страви (ризик другого роду – ризик виробника).

При контролі умов зберігання (температура повітря в камерах) критичним параметром є не лише точність, але й частота (дискретність) вимірювань. Ручна реєстрація температури двічі на добу не забезпечує репрезентативності даних, оскільки не фіксує температурні піки під час завантаження товару, тривалого відкривання дверей персоналом або нічних збоїв електропостачання.

За результатами аудиту метрологічного забезпечення ресторану «Континент» ідентифіковано ряд системних невідповідностей, що потребують усунення:

1) Відсутність метрологічної простежуваності, значна частина ручних засобів вимірювання (кухонні таймери, кишенькові термометри) не проходить періодичне калібрування, тому їх дійсна похибка та зміщення "нуля" невідомі.

2) Низький рівень автоматизації, повна відсутність автоматичних реєстраторів даних (логерів) унеможлиблює аналіз трендів, розрахунок кінетики псування продуктів та предиктивне виявлення несправностей холодильного обладнання до моменту аварії.

3) Методичні прогалини, персонал не володіє валідованими методиками правильного вимірювання температури (вибір репрезентативної точки в продукті, дотримання часу витримки для термостабілізації датчика), що призводить до значної невизначеності вимірювань за типом А (випадкова складова).

Результати аудиту однозначно підтверджують необхідність докорінної модернізації системи метрологічного забезпечення ресторану. Це вимагає переходу від використання побутових засобів вимірювання до професійних високоточних цифрових приладів, інтегрованих у єдину інформаційну систему моніторингу (IoT), а також розробки чітких інструкцій (SOP) з виконання вимірювань для мінімізації впливу оператора.

3 РОЗРОБКА ТА ВПРОВАДЖЕННЯ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ЯКІСТЮ НА ОСНОВІ ІНСТРУМЕНТАЛЬНОГО МОНІТОРИНГУ

3.1 Обґрунтування вибору критичних контрольних точок (ККТ) та встановлення критичних меж (температурно-часові режими, вологість тощо)

Основою ефективної системи управління якістю, побудованої на інтеграції принципів НАССР та інструментального моніторингу, є науково обґрунтована ідентифікація етапів технологічного процесу, де контроль є критично важливим для запобігання небезпечним факторам або їх зниження до прийняттого рівня. Для ресторану «Континент», з урахуванням результатів аналізу небезпек (розділ 2.3) та специфіки виробничих процесів, було проведено відбір Критичних Контрольних Точок (ККТ) з використанням методу «Дерева рішень» (відповідно до рекомендацій Codex Alimentarius).

Зважаючи на широку номенклатуру страв ресторану «Континент», доцільно групувати продукцію за схожістю технологічних процесів та профілем ризиків. Для кожної групи визначено ККТ, що потребують впровадження безперервного або періодичного інструментального моніторингу.

Група 1. Продукти тваринного походження, що проходять термічну обробку (м'ясо, птиця, риба, яйця), наприклад, філе куряче для «Салату Цезар», страва «Жульєн з куркою та грибами», «Сирники по-київськи».

ККТ 1 – термічна обробка (пастеризація). Цей етап є вирішальним для мікробіологічної безпеки, оскільки він забезпечує знищення вегетативних форм патогенних мікроорганізмів (*Salmonella* spp., *Listeria monocytogenes*, *Campylobacter jejuni*), які природно присутні в сирій сировині. Візуальний контроль (колір м'ясного соку, вигляд на зрізі) є суб'єктивним і ненадійним індикатором безпечності [26]. Єдиним об'єктивним методом підтвердження ефективності пастеризації є інструментальний контроль температури в геометричному центрі продукту.

Група 2. Охолоджені готові страви та швидкопсувні напівфабрикати, наприклад, соус «Цезар», заготовки для салатів, нарізані овочі, м'ясні напівфабрикати.

ККТ 2 – зберігання в охолодженому стані (Cold Storage). Підтримання температури продукту нижче порогового рівня, при якому можливе активне розмноження мезофільних бактерій, є критичним для забезпечення безпечності протягом терміну придатності. Порухення температурного режиму («холодового ланцюга») навіть на короткий час може призвести до експоненційного зростання популяції патогенів або накопичення термостабільних токсинів (наприклад, *Staphylococcus aureus*), які не руйнуються при подальшій обробці.

Група 3. Фритюрна продукція, наприклад, картопля фрі, нагетси, сухарі для салату.

ККТ 3 – якість фритюрного жиру. Тривале використання олії при високих температурах призводить до її окиснення, полімеризації та утворення полярних сполук (Total Polar Materials – TPM), які є канцерогенними. Контроль якості фритюру лише за органолептичними показниками (колір, димлення) є недостатнім та запізнілим, тому необхідне інструментальне вимірювання фізико-хімічних параметрів [27].

Критичні межі – це вимірювані критерії, що чітко розділяють поняття «прийнятно» (безпечний продукт) та «неприйнятно» (потенційно небезпечний продукт). Для кожної ідентифікованої ККТ встановлено межі, що базуються на наукових даних, нормативних вимогах та технологічних стандартах, а також визначено вимоги до точності вимірювань для засобів вимірювальної техніки (таблиця 3.1).

Для забезпечення гарантованого дотримання критичних меж з урахуванням інструментальної похибки засобів вимірювання та інерційності технологічного обладнання, необхідно встановити операційні межі (Target Levels). Вони є більш жорсткими, ніж критичні, і слугують буфером безпеки,

що дозволяє оператору втрутитися в процес до того, як він вийде з-під контролю.

Таблиця 3.1 – Реєстр критичних контрольних точок та параметрів моніторингу для ресторану «Континент»

№ ККТ	Етап процесу	Небезпечний фактор	Критична межа (Параметр)	Обґрунтування (Наукове / Нормативне)	Вимоги до точності вимірювання (МРЕ)
ККТ 1	Термічна обробка (Кулінарія)	Виживання патогенів (<i>Salmonella</i> spp., <i>L. monocytogenes</i>)	$T \geq 75 \text{ }^\circ\text{C}$ в центрі продукту протягом $t \geq 15 \text{ с}$	Рекомендації FDA Food Code та Codex Alimentarius. Температура $75 \text{ }^\circ\text{C}$ забезпечує миттєву інактивацію більшості вегетативних бактерій (6-log reduction) [1].	$\Delta T \leq \pm 0.5 \text{ }^\circ\text{C}$ $\Delta t \leq \pm 1 \text{ с}$
ККТ 2	Зберігання охолодженої сировини	Розмноження бактерій (<i>Listeria</i> , <i>Salmonella</i> , <i>E. coli</i>)	$T \leq 4 \text{ }^\circ\text{C}$ (для м'яса/риби) $T \leq 6 \text{ }^\circ\text{C}$ (для овочів)	При $T < 4 \text{ }^\circ\text{C}$ ріст більшості патогенів суттєво сповільнюється або припиняється (лаг-фаза подовжується).	$\Delta T \leq \pm 0.5 \text{ }^\circ\text{C}$
ККТ 3	Охолодження готових страв (Blast Chilling)	Проростання спор (<i>C. perfringens</i> , <i>B. cereus</i>)	Зниження T від $60 \text{ }^\circ\text{C}$ до $10 \text{ }^\circ\text{C}$ не більше ніж за 2 години	Швидке проходження "небезпечної зони" температур ($20\text{-}50 \text{ }^\circ\text{C}$) запобігає проростанню спор та утворенню токсинів у готовій страві.	$\Delta T \leq \pm 1.0 \text{ }^\circ\text{C}$ $\Delta t \leq \pm 5 \text{ хв}$
ККТ 4	Смаження у фритюрі	Накопичення канцерогенів (полярні сполуки)	Вміст полярних сполук $\text{TPM} \leq 25\%$	Європейські норми безпеки фритюрних жирів. Перевищення 25% TPM свідчить о глибокій деградації жиру та непридатності до вживання [2].	$\Delta \text{TPM} \leq \pm 2\%$

Розрахунок операційної межі для ККТ 1 (Термічна обробка). Якщо критична межа $T_{crit} = 75.0 \text{ }^\circ\text{C}$, а розширена невизначеність вимірювання

термощупа (за результатами калібрування) становить $U = 0.8 \text{ }^{\circ}\text{C}$, то операційна межа (T_{op}) має бути встановлена як:

$$T_{op} = T_{crit} + U = 75.0 + 0.8 = 75.8 \text{ }^{\circ}\text{C} \quad (3.1)$$

Отже, персонал або автоматика пароконвектомата повинні налаштуватися на досягнення температури в центрі продукту щонайменше $76 \text{ }^{\circ}\text{C}$.

Розрахунок операційної межі для ККТ 2 (Зберігання). Для холодильної камери з критичною межею $T_{crit} = 4.0 \text{ }^{\circ}\text{C}$ та гістерезисом (диференціалом) терморегулятора $\pm 1.0 \text{ }^{\circ}\text{C}$, цільова температура уставки компресора (T_{set}) має розраховуватися з урахуванням запасу на похибка вимірювання ($U = 0.5 \text{ }^{\circ}\text{C}$):

$$T_{set} = T_{crit} - \Delta T_{hyst} - U = 4.0 - 1.0 - 0.5 = 2.5 \text{ }^{\circ}\text{C} \quad (3.2)$$

Це гарантує, що навіть у верхній точці циклу роботи холодильного обладнання температура повітря в камері не перевищить критичну межу безпеки.

3.2 Розробка підсистеми автоматизованого моніторингу параметрів технологічних процесів

Впровадження автоматизованого моніторингу критичних контрольних точок (ККТ) є Основним елементом модернізації системи управління якістю в ресторані «Континент». Головна мета розробки підсистеми полягає у переході від дискретного ручного контролю, який характеризується високою невизначеністю та залежністю від людського фактора, до безперервного інструментального вимірювання параметрів у режимі реального часу. Це дозволить забезпечити повну простежуваність (traceability) технологічних процесів, своєчасно виявляти відхилення та гарантувати безпечність продукції відповідно до вимог стандартів ISO 22000.

Враховуючи результати аналізу об'єкта дослідження (розділ 2.1), зокрема складну просторову конфігурацію приміщень ресторану (рознесення

складських камер у підвалі та виробничих цехів на першому поверсі, наявність залізобетонних перекриттів), вибір каналу передачі даних є критичним інженерним рішенням. Традиційні бездротові технології, такі як Wi-Fi (2.4 ГГц або 5 ГГц), мають суттєві обмеження щодо проникаючої здатності сигналу через товсті стіни та перекриття, а також високе енергоспоживання, що ускладнює їх використання для автономних датчиків у важкодоступних місцях.

Для побудови надійної системи моніторингу в умовах ресторану «Континент» обґрунтовано вибір технології LoRaWAN (Long Range Wide Area Network). Цей протокол передачі даних у субгігагерцовому діапазоні (868 МГц в Європі) забезпечує ряд переваг. Це висока проникаюча здатність, сигнал LoRaWAN здатен проникати крізь кілька поверхів залізобетонних конструкцій, що дозволяє встановити єдиний шлюз (Gateway) для збору даних з усіх сенсорів, розташованих як у підвалі, так і на кухні [28]. Енергоефективність, сенсори можуть працювати від вбудованих батарей протягом кількох років без необхідності заміни джерела живлення або підведення електропроводки. Завадостійкість, використання технології розширення спектру (Chirp Spread Spectrum) забезпечує надійну передачу даних навіть в умовах високого рівня електромагнітних завад від кухонного обладнання.

Архітектура розробленої підсистеми включає три рівні:

- 1) Рівень сприйняття – мережа бездротових сенсорів та реєстраторів, встановлених безпосередньо в зонах контролю (холодильні камери, склади, цехи).
- 2) Мережевий рівень – шлюз LoRaWAN, який агрегує дані з сенсорів та передає їх на сервер через Ethernet або 4G-модем.
- 3) Рівень обробки та візуалізації – хмарна платформа, де здійснюється зберігання, аналіз даних та генерація звітів.

Для кожної ідентифікованої в розділі 3.1 критичної контрольної точки (ККТ) було підібрано відповідні засоби вимірювальної техніки (ЗВТ),

метрологічні характеристики яких відповідають встановленим вимогам точності.

1. Моніторинг умов зберігання (ККТ 2: Холодильні та морозильні камери). Для контролю температури та вологості в стаціонарних камерах (м'ясо-рибна, молочна, овочева) обрано автономні реєстратори (дата-логери) типу Tektelic Smart Room Sensor або аналоги з підтримкою LoRaWAN.

Діапазон вимірювання: $-40\dots+85$ °C.

Похибка ± 0.5 °C (у діапазоні $0\dots+65$ °C).

Інтервал вимірювання програмується на рівні 10-15 хвилин, що є достатнім для фіксації динаміки температури, але не перевантажує канал зв'язку. Сенсори встановлюються всередині камер (в "найгарячішій" точці, визначеній під час картування) та передають дані крізь ізольовані стінки камери. Додатково сенсори оснащені датчиком відкриття дверей (герконом), що дозволяє фіксувати несанкціоноване або занадто тривале відкриття камери, яке призводить до порушення температурного режиму.

2. Моніторинг термічної обробки та охолодження (ККТ 1, ККТ 3). Оскільки вимірювання температури в центрі продукту вимагає мобільності, для цієї задачі обрано бездротові термощупи з інтерфейсом Bluetooth Low Energy (BLE), інтегровані з планшетом кухаря (Digital HACCP). Тип сенсора – термопара Т-типу (мідь-константан), яка характеризується високою стабільністю та точністю в діапазоні температур приготування їжі.

Характеристики – діапазон $-50\dots+300$ °C, похибка ± 0.5 °C, час відгуку $t_{90} \leq 3$ с. При вимірюванні температури (наприклад, запеченого філе для салату «Цезар») кухар обирає відповідну страву в додатку на планшеті. Термощуп автоматично фіксує стабілізоване значення температури та передає його в систему. Якщо температура нижча за критичну межу (75 °C), система блокує завершення процесу та вимагає доготування.

3. Моніторинг якості фритюрного жиру (ККТ 4). Для інструментального контролю ступеня деградації олії запропоновано використання портативного тестера якості олії (наприклад, Testo 270), що вимірює вміст полярних сполук

(TRM). Хоча цей прилад не є автоматичним логером, його дані вносяться в систему вручну через інтерфейс планшета з обов'язковою фотофіксацією показника дисплея для підтвердження достовірності. Діапазон вимірювання TRM: 0...40%, точність $\pm 2\%$ TRM.

Центральним елементом підсистеми є серверна частина, яка забезпечує збір даних з усіх джерел (LoRaWAN-сенсори, Bluetooth-щупи, ручне введення). Програмне забезпечення виконує такі функції:

Валідація даних - перевірка отриманих значень на відповідність фізично можливим діапазонам (для відсіювання збоїв сенсорів).

Порівняння з критичними межами - алгоритм автоматично порівнює поточні значення температури з встановленими для даної ККТ межами (Critical Limits) та операційними межами (Target Levels).

Генерація тривожних сповіщень (Alerts). У разі виходу параметра за встановлені межі система ініціює каскад сповіщень. Наприклад, якщо температура в холодильній камері перевищує $+6\text{ }^{\circ}\text{C}$ протягом 30 хвилин (захист від хибних спрацювань при відкритті дверей), надсилається Push-повідомлення шеф-кухарю. Якщо реакції немає протягом 15 хвилин – SMS-повідомлення директору ресторану. Це забезпечує проактивне реагування та мінімізацію втрат продукції.

3.3 Застосування статистичних методів керування якістю (SPC) для аналізу стабільності процесів приготування страв

Впровадження системи автоматизованого моніторингу (описаної в розділі 3.2) забезпечує накопичення великих масивів вимірювальної інформації. Однак, сама по собі наявність даних не гарантує якості. Для переходу від реактивного реагування на проблеми до проактивного управління процесами в ресторані «Континент» пропонується застосування методології статистичного керування процесами (SPC – Statistical Process Control).

SPC базується на розрізненні двох типів варіабельності (мінливості) процесу:

1) Звичайна варіабельність (Common Cause Variation) – зумовлена природними коливаннями параметрів (незначні коливання напруги в мережі, допустима похибка терморегулятора, природна неоднорідність сировини). Вона є невід'ємною частиною процесу.

2) Особлива варіабельність (Special Cause Variation) – зумовлена специфічними подіями (поломка обладнання, помилка персоналу, неякісна партія сировини). Мета SPC – вчасно виявити та усунути особливі причини варіації [29].

Для моніторингу стабільності критичного процесу теплової обробки (ККТ 1) пропонується використання контрольних карт середніх значень та розмахів (\bar{X} -R карти). Об'єктом аналізу є температура в центрі продукту після завершення циклу приготування.

Методика побудови карти.

Збір даних. Протягом зміни здійснюється вибірковий контроль температури готових страв (наприклад, 5 замірів кожні 2 години) за допомогою бездротових термошупів.

Розрахунок параметрів.

Середнє значення вибірки (\bar{X}): $\bar{X} = \frac{\sum X_i}{n}$

Розмах вибірки (R): $R = X_{max} - X_{min}$

Визначення контрольних меж:

Верхня контрольна межа (UCL) та Нижня контрольна межа (LCL) розраховуються на основі статистичних коефіцієнтів (A2, D3, D4) для заданого обсягу вибірки.

$$UCL_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} + A_2 \bar{R} \quad LCL_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} - A_2 \bar{R} \quad (3.3)$$

Якщо точки на карті знаходяться в межах контрольних кордонів і не демонструють невідповідних трендів (наприклад, 7 точок підряд по один бік від середньої лінії), процес вважається статистично керованим. Вихід точки за

межі UCL або LCL сигналізує про наявність особливої причини (наприклад, збій налаштувань пароконвектомата), що вимагає негайного втручання інженера або шеф-кухаря.

Таблиця 3.2 – Приклад розрахунку параметрів контрольної карти для температури страви «Курча табака» (фрагмент)

Номер вибірки	Час	X1, °C	X2, °C	X3, °C	X4, °C	X5, °C	Середнє (\bar{X}), °C	Розмах (R), °C
1	09:00	76.5	77.2	76.8	77.0	76.9	76.88	0.7
2	11:00	77.1	77.5	76.9	77.3	77.4	77.24	0.6
3	13:00	75.8	76.2	76.0	75.9	76.1	76.00	0.4
4	15:00	78.5	78.2	78.4	78.6	78.3	78.40	0.4
5	17:00	76.2	76.5	76.3	76.4	76.6	76.40	0.4
...
Середнє							$\bar{\bar{X}} = 77.2$	$\bar{R} = 0.6$

Для кількісної оцінки здатності технологічного процесу стабільно забезпечувати випуск продукції, що відповідає встановленим вимогам (специфікаціям), розраховуються індекси відтворюваності (Process Capability Indices).

Індекс потенційної відтворюваності (C_p): показує, чи здатен процес в принципі вкластися в поля допуску, якби він був ідеально центрований.

$$C_p = \frac{USL - LSL}{6\sigma} \quad (3.4)$$

де USL – верхня межа специфікації, LSL – нижня межа специфікації, σ – стандартне відхилення процесу.

Індекс реальної відтворюваності (C_{pk}): враховує фактичне зміщення центру розподілу процесу відносно середини поля допуску.

$$C_{pk} = \min \left(\frac{USL - \bar{\bar{X}}}{3\sigma}, \frac{\bar{\bar{X}} - LSL}{3\sigma} \right) \quad (3.5)$$

Застосування для ресторану «Континент» - для процесу смаження м'ясних напівфабрикатів (ККТ 1) встановлено нижню межу специфікації (LSL) = 75 °С. Верхня межа (USL) може бути встановлена на рівні 85 °С (щоб уникнути пересушування).

Таблиця 3.3 – Інтерпретація значень індексів відтворюваності для процесу приготування

Значення C_{pk}	Характеристика процесу	Рівень дефектності (DPMO)	Рекомендована дія
$C_{pk} < 1.0$	Процес нездатний (Incapable)	> 2700	Негайно зупинити процес, провести аналіз причин та переналагодження обладнання.
$1.0 \leq C_{pk} < 1.33$	Процес умовно здатний	66 - 2700	Посилити контроль, впровадити 100% перевірку до усунення причин варіації.
$C_{pk} \geq 1.33$	Процес здатний (Capable)	< 66	Процес стабільний, можна зменшити частоту вибіркового контролю.
$C_{pk} \geq 2.0$	Процес "Шість сигм"	< 0.002	Ідеальний процес, мінімальні ризики.

Якщо розрахований на основі даних моніторингу $C_{pk} < 1.33$, це свідчить про те, що процес є недостатньо відтворюваним і існує високий ризик випуску недогоотованої продукції (або пересмаженої). Це є сигналом для проведення налагодження обладнання або додаткового навчання персоналу.

Для візуалізації характеру розподілу параметрів (наприклад, температури в холодильних камерах за місяць) використовуються гістограми.

Нормальний розподіл (Гаусів) – свідчить про стабільну роботу обладнання.

Бімодальний розподіл може вказувати на наявність двох різних режимів роботи (наприклад, день/ніч) або використання двох різних термометрів з різною похибкою.

Асиметрія вказує на систематичне зміщення параметрів (наприклад, часте відкриття дверей холодильника).

3.4 Розробка документованих процедур та стандартів операційних процедур (SOP) для персоналу ресторану

Ефективне функціонування розробленої системи управління якістю, що базується на інструментальному моніторингу та статистичному аналізі, неможливе без чіткої регламентації дій персоналу, який безпосередньо виконує технологічні операції. Згідно з вимогами міжнародного стандарту ISO 22000:2018, організація повинна підтримувати документовану інформацію в обсязі, необхідному для забезпечення результативності системи менеджменту безпеки харчових продуктів. Проте, проведений у другому розділі аудит існуючої документації в ресторані «Континент» виявив її надмірну складність, текстову перевантаженість та відірваність від реальних виробничих процесів, що призводить до формального ставлення працівників до виконання інструкцій. У зв'язку з цим, метою даного етапу роботи є розробка комплексу Стандартних Операційних Процедур (SOP – Standard Operating Procedures), адаптованих до умов цифровізації контролю та специфіки роботи персоналу в режимі реального часу.

Традиційні паперові інструкції в умовах сучасної «розумної кухні» втрачають свою актуальність, тому в рамках магістерської роботи запропоновано перехід до використання інтерактивних цифрових SOP, інтегрованих у програмне забезпечення терміналів кухарів та менеджерів. Структура розроблених SOP уніфікована та включає такі обов'язкові елементи: чітке формулювання мети процедури (наприклад, запобігання виживанню

патогенних мікроорганізмів), визначення сфери застосування та відповідальних осіб, перелік необхідних засобів вимірювальної техніки, покроковий алгоритм дій з візуалізацією ключових етапів, встановлені критерії прийнятності (критичні межі) та чіткий протокол коригувальних дій у разі виявлення невідповідностей. Такий підхід мінімізує когнітивне навантаження на персонал та знижує ймовірність помилок.

Для забезпечення керованості критичних контрольних точок (ККТ), обґрунтованих у підрозділі 3.1, розроблено спеціалізовані процедури. Зокрема, SOP-01 «Термічна обробка м'ясних страв» регламентує процес використання бездротових термощупів під час приготування. Процедура передбачає вибір відповідної технологічної карти в інтерфейсі системи, введення щупа у геометричний центр продукту (найхолоднішу точку) та очікування автоматичної фіксації стабілізованого значення температури. Система налаштована таким чином, що при досягненні цільового значення (наприклад, 75 °C) оператор отримує візуальне підтвердження (зелений індикатор), що дозволяє завершити процес. У разі недосягнення критичної межі система блокує можливість підтвердження готовності страви та ініціює алгоритм доготування.

Процедура реагування на відхилення параметрів мікроклімату регламентується SOP-02 «Моніторинг умов зберігання». Цей документ описує алгоритм дій відповідального персоналу у випадку отримання автоматичного тривожного сповіщення (аларму) від підсистеми моніторингу на базі LoRaWAN. Процедура диференціює дії залежно від типу та тривалості відхилення: від перевірки щільності закриття дверей холодильної камери до екстреного переміщення продукції у резервні потужності та виклику технічної служби. Важливим елементом цієї SOP є обов'язкова реєстрація причини інциденту та вжитих заходів у електронному журналі невідповідностей, що забезпечує формування бази знань для подальшого аналізу та вдосконалення системи.

Для контролю безпеки фритюрної продукції розроблено SOP-03 «Контроль якості фритюрних жирів», яка визначає методику вимірювання вмісту полярних сполук (ТРМ) за допомогою портативного тестера. Процедура встановлює чіткі критерії прийняття рішень: при значенні ТРМ до 22% олія вважається придатною для використання, в діапазоні 22–24% – потребує підвищеної уваги та планування заміни, а при перевищенні 25% – підлягає негайній утилізації. Такий підхід виключає суб'єктивність органолептичної оцінки ступеня деградації жиру та гарантує хімічну безпеку готової продукції.

Впровадження розроблених стандартних операційних процедур передбачає використання методики навчання безпосередньо на робочому місці ("On-the-job training"). Цифрові SOP, інтегровані в інформаційну систему ресторану, містять вбудовані підказки, графічні схеми та короткі відео-інструкції, доступні персоналу в момент виконання операції. Це дозволяє мінімізувати ризики, пов'язані з плинністю кадрів та недостатньою кваліфікацією нових працівників. Таким чином, перехід від формальних паперових інструкцій до цифрових інтерактивних регламентів є необхідною умовою забезпечення метрологічної достовірності контролю та перетворення пасивного спостереження на активне управління якістю та безпекою продукції.

Типова структура розробленого SOP включає:

1. Мета: Коротке пояснення, навіщо виконується процедура (наприклад, «Запобігання виживанню сальмонели»).
2. Сфера застосування – хто і де виконує (наприклад, «Кухарі гарячого цеху»).
3. Необхідні інструменти – перелік ЗВТ (наприклад, «Бездротовий термошуп №3»).
4. Алгоритм дій (Flowchart), послідовність кроків з візуалізацією (фото/відео).

5. Критерії прийнятності - чіткі межі параметрів (наприклад, «Температура $\geq 75^{\circ}\text{C}$ »).
6. Коригувальні дії, що робити у разі відхилення (наприклад, «Продовжити запікання ще 5 хв»).

Для кожної ККТ, ідентифікованої в розділі 3.1, розроблено спеціалізовані процедури.

SOP-01: «Термічна обробка м'ясних страв» (для ККТ 1).

Ця процедура регламентує використання бездротових термощупів.

- *Крок 1:* Обрати страву в меню на планшеті.
- *Крок 2:* Ввести щуп у геометричний центр найбільшого шматка м'яса (уникаючи кісток).
- *Крок 3:* Дочекатися стабілізації показів (автоматична фіксація системою).
- *Крок 4:* Якщо система підсвічує результат зеленим ($T \geq 75^{\circ}\text{C}$) – подавати страву. Якщо червоним – повернути на доготування.

SOP-02: «Моніторинг умов зберігання» (для ККТ 2).

Регламентує дії персоналу у разі отримання автоматичного сповіщення (аларму) від системи LoRaWAN.

- *Сценарій:* Прийшло SMS про підвищення температури в камері №5.
- *Дія 1:* Перевірити щільність закриття дверей.
- *Дія 2:* Якщо двері зачинені, перемістити продукцію в резервну камеру протягом 30 хвилин.
- *Дія 3:* Викликати технічну службу.
- *Дія 4:* Зафіксувати інцидент у електронному журналі невідповідностей.

SOP-03: «Контроль фритюрних жирів» (для ККТ 4).

Регламентує процедуру вимірювання ТРМ (Total Polar Materials).

- *Крок 1:* Розігріти олію до робочої температури ($160 - 170^{\circ}\text{C}$).
- *Крок 2:* Занурити сенсор тестера якості олії, уникаючи контакту з продуктами.
- *Крок 3:* Зчитати показник ТРМ.

- *Крок 4:* Якщо ТРМ > 22% – запланувати заміну. Якщо ТРМ > 25% – негайно зупинити використання та злити олію.

Розробка документів – це лише перший крок. Для їх ефективного впровадження запропоновано методику "On-the-job training" (навчання на робочому місці). Цифрові SOP містять вбудовані підказки та короткі відео-інструкції, які доступні персоналу безпосередньо під час роботи. Це мінімізує ризик помилок через забування або незнання стандартів.

3.5 Проектування архітектури інформаційної системи для збору, обробки та візуалізації даних про якість (дашборди для менеджменту).

Впровадження підсистеми автоматизованого моніторингу, описаної у попередніх розділах, неминуче призводить до генерації значних масивів вимірювальної інформації. Ефективне управління цими даними, їх перетворення на знання та підтримка прийняття управлінських рішень вимагають створення спеціалізованої інформаційної системи (ІС). Метою даного етапу роботи є проектування архітектури такої системи, яка б забезпечувала надійний збір, валідацію, довгострокове зберігання та аналітичну обробку метрологічних даних, гарантуючи їх цілісність та доступність для персоналу ресторану «Континент».

Розроблена архітектура інформаційної системи базується на трирівневій моделі, яка дозволяє чітко розмежувати функції збору, обробки та представлення даних. Така структура забезпечує гнучкість, масштабованість та високий рівень інформаційної безпеки.

Перший рівень, рівень збору даних (Data Acquisition Layer), включає сукупність апаратних засобів, що генерують первинну вимірювальну інформацію безпосередньо на об'єктах контролю. До цього рівня належать розгорнуті IoT-сенсори температури та вологості, що передають дані через протокол LoRaWAN, смарт-інструменти (Bluetooth-термощупи, тестери якості

фритюру), а також мобільні термінали персоналу. Останні використовуються для введення даних, які неможливо отримати автоматично, наприклад, результатів візуального контролю чистоти або органолептичної оцінки сировини при прийманні.

Другий рівень, рівень обробки та зберігання (Processing & Storage Layer), реалізується на базі центрального сервера або хмарної платформи. Основним компонентом тут є проміжне програмне забезпечення (Middleware), яке відповідає за прийом пакетів даних від шлюзів та мобільних пристроїв, їх дешифрування та первинну фільтрацію. На цьому етапі відбувається автоматична валідація даних: перевірка на відповідність фізично допустимим діапазнам, виявлення аномалій та збоїв передачі. Валідовані дані зберігаються у реляційній базі даних, структура якої оптимізована для швидкого пошуку та побудови часових рядів. Критично важливою вимогою до цього рівня є забезпечення простежуваності змін (Audit Trail), що дозволяє фіксувати будь-які дії користувачів із даними, гарантуючи неможливість їх непомітної фальсифікації, що відповідає вимогам стандартів безпечності харчових продуктів [30].

Третій рівень, рівень візуалізації та аналітики (Presentation & Analytics Layer), забезпечує інтерфейс взаємодії користувачів із системою. Він включає веб-портал для адміністративного персоналу та мобільний додаток для лінійних працівників. На цьому рівні «сирі» дані трансформуються у зрозумілі графіки, діаграми та звіти, що дозволяє оцінювати стан системи управління якістю в режимі реального часу.

Для забезпечення ефективного оперативного управління розроблено концепцію рольових дашбордів (інформаційних панелей), які агрегують ключові показники ефективності та візуалізують їх у зручній формі. Це дозволяє різним групам користувачів фокусуватися на інформації, що є критичною саме для їхніх завдань.

Дашборд Шеф-кухаря призначений для оперативного контролю виробничих процесів «тут і зараз». Його інтерфейс містить віджети активних

тривог (Alerts), що сигналізують про відхилення параметрів у холодильному або тепловому обладнанні, вимагаючи негайної реакції. Також відображається статус виконання щоденних рутинних завдань, таких як чек-листи відкриття зміни або санітарної обробки. Окремий блок присвячено моніторингу активних процесів термічної обробки, де в реальному часі показується температура в центрі продуктів, що готуються, та прогнозований час завершення процесу.

Дашборд Менеджера з якості фокусується на аналітиці та виявленні довгострокових трендів. Інструменти візуалізації на цьому дашборді дозволяють аналізувати стабільність дотримання «холодового ланцюга» за обраний період, переглядати контрольні карти Шухарта для виявлення статистичних відхилень у технологічних процесах, а також формувати рейтинги постачальників на основі об'єктивних даних вхідного контролю. Це дозволяє переходити від реагування на інциденти до їх попередження.

Дашборд Директора відображає інтегральні показники ефективності системи управління якістю та економічні аспекти. Основним елементом є індекс безпеки (Food Safety Score), який розраховується системою автоматично на основі кількості інцидентів та повноти виконання процедур. Також візуалізується динаміка втрат від псування продукції та рівень готовності закладу до зовнішніх аудитів, що дозволяє оцінювати окупність інвестицій у систему якості.

Важливим аспектом проектування є забезпечення безшовної інтеграції нової інформаційної системи з уже існуючою в ресторані «Континент» обліковою системою (POS/ERP). Реалізація програмного інтерфейсу (API) для обміну даними дозволить автоматично синхронізувати довідники номенклатури страв та інгредієнтів, уникаючи подвійного введення інформації. Крім того, інтеграція дає можливість пов'язувати дані про якість конкретної партії сировини з даними про продажі готових страв, забезпечуючи наскрізну простежуваність від постачальника до чека гостя.

Для забезпечення надійної, безперебійної та ефективної реалізації запропонованих методик інструментального моніторингу та статистичного керування процесами було розроблено детальну, багаторівневу архітектуру спеціалізованої інформаційної системи (ІС), що базується на передовій концепції Інтернету речей (ІоТ) та відповідає принципам Індустрії 4.0. Архітектурне рішення спроектовано з глибоким та всебічним урахуванням специфічних інженерних умов об'єкта дослідження – ресторану «Континент», зокрема складної просторової топології приміщень, яка характеризується значним вертикальним рознесенням складських (підвальних) та виробничих (перший поверх) зон. Критичним фактором при проектуванні стала наявність масивних залізобетонних перекриттів, товстих цегляних стін та металевих конструкцій, що створюють ефект клітки Фарадея та значні перешкоди для проходження радіосигналів стандартних високочастотних бездротових протоколів (таких як Wi-Fi 2.4/5 ГГц або Bluetooth). Система побудована за модульним багаторівневим ієрархічним принципом і складається з чотирьох функціонально незалежних, але тісно взаємопов'язаних рівнів, кожен з яких виконує чітко визначену, критично важливу функцію в загальному ланцюгу обробки інформації: рівня збору первинних даних (кінцеві вузли та сенсори), рівня комунікації та маршрутизації (шлюз та мережева інфраструктура), рівня обробки, аналізу та зберігання (хмарний сервер та бази даних) та рівня візуалізації та прийняття рішень (клієнтські додатки та дашборди).

На нижньому, фізичному рівні архітектури знаходяться автономні вимірювальні пристрої – інтелектуальні сенсори та смарт-інструменти, які виконують фундаментальну функцію первинного перетворення неелектричних фізичних величин (температури, відносної вологості, часу експозиції) у нормовані цифрові сигнали, придатні для подальшої передачі та обробки. Для моніторингу стаціонарних температурно-вологісних режимів у підвальних складських приміщеннях, де розташовані стратегічні запаси швидкопсувної сировини (м'ясо-рибна, молочна, овочева камери), а також у виробничих цехах з агресивним середовищем, застосовуються спеціалізовані

бездротові датчики промислового класу, що працюють за енергоефективним протоколом LoRaWAN (Long Range Wide Area Network). Вибір саме цього стандарту зумовлений його унікальною здатністю поєднувати надвисоку енергоефективність, що дозволяє автономним пристроям працювати до 5-10 років від однієї вбудованої батареї без необхідності технічного обслуговування, та відмінну проникаючу здатність радіосигналу на субгігагерцових частотах (868 МГц), що забезпечує стійкий та надійний зв'язок на значних відстанях (до 1-2 км у місті) навіть в умовах щільної забудови та екрануючих залізобетонних конструкцій підвалу. Для оперативного контролю активних динамічних технологічних процесів, таких як термічна обробка страв у пароконвектоматах, жарочних шафах та на грилях, використовуються мобільні проникаючі термошупи з інтерфейсом Bluetooth Low Energy (BLE). Ці пристрої передають дані вимірювань у реальному часі безпосередньо на промислові планшети персоналу, що виконують роль проміжних концентраторів даних (Edge Gateways) на локальному рівні, забезпечуючи миттєвий візуальний та звуковий зворотний зв'язок для кухаря, що дозволяє оперативно коригувати процес приготування та уникати браку.

Передача консолідованих потоків даних від розподіленої гетерогенної мережі сенсорів до центрального сховища здійснюється через рівень комунікації, Основним елементом якого є високопродуктивний шлюз LoRaWAN (Gateway). Цей пристрій стратегічно встановлюється в технічній зоні готелю (наприклад, на рівні рецепції або технічного поверху) для забезпечення максимального радіопокриття як підвальних, так і надземних приміщень, і виконує функцію інтелектуального мосту між локальною LPWAN-мережею пристроїв та глобальною мережею Інтернет. Шлюз забезпечує одночасний прийом радіосигналів від десятків кінцевих вузлів на різних каналах, їх демодуляцію, перевірку цілісності та надійне пересилання пакетів даних через захищене TCP/IP-з'єднання (Ethernet як основний канал або 4G-модем як резервний) на мережевий сервер. Важливою архітектурною особливістю шлюзу є те, що він функціонує в режимі «packet forwarder»

(прозорого моста), не здійснюючи дешифрування корисного навантаження, що гарантує наскрізну криптографічну безпеку інформації (End-to-End Encryption з використанням алгоритму AES-128) від мікроконтролера датчика безпосередньо до ядра хмарного сервера, унеможливаючи перехоплення, підміну або модифікацію критично важливих даних на проміжних етапах передачі. Така зіркоподібна мережева топологія дозволяє суттєво оптимізувати капітальні витрати на розгортання інфраструктури, оскільки один потужний шлюз професійного класу здатен ефективно обслуговувати весь комплекс приміщень ресторану, включаючи найбільш віддалені, глибокі та екрановані складські зони, усуваючи потребу у складній кабельній розводці.

Централізована інтелектуальна обробка, валідація, глибокий аналіз та довгострокове надійне зберігання вимірювальної інформації відбуваються на рівні хмарного сервера (Cloud Server), який виступає "мозковим центром" всієї системи управління якістю. Цей компонент включає кластер серверів застосунків, які здійснюють дешифрування та парсинг корисного навантаження (payload) пакетів даних, перетворюючи "сирі" бінарні та шістнадцяткові коди у зрозумілі фізичні величини (градуси Цельсія, відсотки відносної вологості, вольти напруги батареї), та високопродуктивну реляційну базу даних (наприклад, PostgreSQL з розширенням TimescaleDB), оптимізовану для ефективного зберігання та швидкого запити часових рядів (Time Series Database) величезних обсягів телеметричної інформації. На цьому рівні реалізована складна бізнес-логіка системи: інтелектуальні алгоритми в режимі реального часу порівнюють поточні значення з встановленими для кожної критичної точки індивідуальними критичними межами (Critical Limits) та операційними допусками, і в разі виявлення навіть незначних відхилень або трендів до виходу за межі автоматично генерують та розсилають ескальовані тривожні сповіщення (Alerts) відповідальним особам через SMS, email, месенджери (Telegram/Viber) або push-повідомлення. Крім того, сервер забезпечує надійне збереження цілісності та незмінності повної історії даних (Audit Trail), включаючи журнали подій та дій користувачів, що є критичним

для успішного проходження зовнішніх аудитів, розслідування інцидентів харчових отруєнь та юридичного підтвердження відповідності вимогам системи НАССР перед контролюючими органами (принцип Due Diligence).

Кінцевим рівнем системи, з яким безпосередньо взаємодіє персонал та менеджмент ресторану, є інтерфейс користувача, реалізований у вигляді набору адаптивних рольових інформаційних панелей (Dashboards), доступних як на стаціонарних комп'ютерах офісу, так і на мобільних пристроях у цехах. Для шеф-кухаря та лінійного персоналу кухні розроблено ергономічний оперативний дашборд, що візуалізує поточний стан обладнання та активних технологічних процесів за інтуїтивно зрозумілим принципом «світлофора» (зелений – нормальні умови, жовтий – попередження про наближення до меж, червоний – критична тривога), забезпечуючи миттєву ситуаційну обізнаність та реакцію на будь-які інциденти, мінімізуючи час простою та ризик псування продуктів. Для менеджера з якості та вищого керівництва ресторану передбачено розширений аналітичний дашборд, який надає потужні інструменти BI (Business Intelligence) для глибокого ретроспективного аналізу великих масивів даних, побудови історичних трендів, автоматичної генерації контрольних карт Шухарта, розрахунку індексів стабільності процесів, аналізу ефективності роботи персоналу та формування зведених автоматичних звітів про ефективність функціонування системи управління якістю. Така архітектура забезпечує замкнений контур кібернетичного управління, де об'єктивні метрологічні дані трансформуються в обґрунтовані управлінські рішення, безпосередньо спрямовані на підвищення якості та безпечності продукції [31].

4 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ПЕРЕВІРКА ТА ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ РОЗРОБЛЕНОЇ СИСТЕМИ

4.1 Моделювання результатів вимірювань параметрів технологічних процесів

Для комплексної верифікації працездатності розроблених алгоритмів статистичного керування процесами (SPC), перевірки гіпотез щодо розподілу параметрів та всебічної оцінки адекватності запропонованої системи моніторингу в умовах етапу проектування було проведено математичне моделювання масиву вимірювальних даних. Оскільки система на даному етапі ще не введена в повномасштабну промислову експлуатацію і реальні історичні дані відсутні, моделювання дозволяє перевірити коректність роботи аналітичних модулів, правильність налаштування критичних меж, а також спрогнозувати поведінку системи в різних сценаріях, включаючи граничні стани. Як репрезентативний об'єкт моделювання було обрано критичний технологічний процес термічної обробки популярної та технологічно складної страви «Жульєн з куркою та грибами», рецептура та технологічна карта якої детально описані в нормативній документації ресторану. Згідно з технологічними вимогами, цільова температура в робочій камері професійного пароконвектомата під час запікання цієї страви має суворо становити 180°C , що є науково обґрунтованим оптимальним режимом для забезпечення необхідних органолептичних властивостей (утворення характерної золотистої скоринки внаслідок реакції Майяра, рівномірне розплавлення сиру) та гарантування повної мікробіологічної безпеки продукту шляхом інактивації вегетативних форм мікроорганізмів.

Генерування масиву даних здійснювалося з використанням генератора псевдовипадкових чисел з науково обґрунтованим припущенням, що розподіл значень температури у стабільному, керованому технологічному процесі підпорядковується нормальному закону розподілу (закону Гаусса). Це

припущення базується на центральній граничній теоремі, оскільки на температуру в печі впливає велика кількість незалежних випадкових факторів, жоден з яких не є домінуючим. В якості вхідних параметрів математичної моделі було прийнято номінальне (цільове) значення температури $X_{nom} = 180,0^{\circ}\text{C}$, яке відповідає центру поля допуску, та очікуване середньоквадратичне відхилення $\sigma = 1,5^{\circ}\text{C}$. Величина σ була обрана на основі ретельного аналізу паспортних даних сучасного теплового обладнання провідних виробників (наприклад, Unox або Rational) та враховує комплекс факторів: природну гістерезисну варіабельність роботи PID-регулятора температури, просторову неоднорідність температурного поля в робочій камері, вплив завантаження продуктом та випадкову складову похибки вимірювання датчика. Обсяг змодельованої вибірки склав $n = 30$ значень, що згідно з теорією ймовірностей є мінімально достатнім обсягом для отримання статистично значущих оцінок і відповідає репрезентативному місячному масиву даних при регламентованому щоденному вибірковому контролю однієї партії продукції.

Змодельовані дані представлені у таблиці нижче, яка демонструє типову варіативність температурних показників протягом місячного періоду спостережень у стабільному процесі.

Таблиця 4.1. Змодельовані результати вимірювань температури запікання ($^{\circ}\text{C}$)

№ з/п	T _i , °C	№ з/п	T _i , °C	№ з/п	T _i , °C
1	179.8	11	178.9	21	180.4
2	181.2	12	180.3	22	179.1
3	178.5	13	182.1	23	181.8
4	180.5	14	179.5	24	178.2
5	179.2	15	180.0	25	180.9
6	182.5	16	181.5	26	177.8
7	180.1	17	179.7	27	180.6
8	177.4	18	178.8	28	181.3
9	181.0	19	183.2	29	179.4
10	180.7	20	180.2	30	179.9

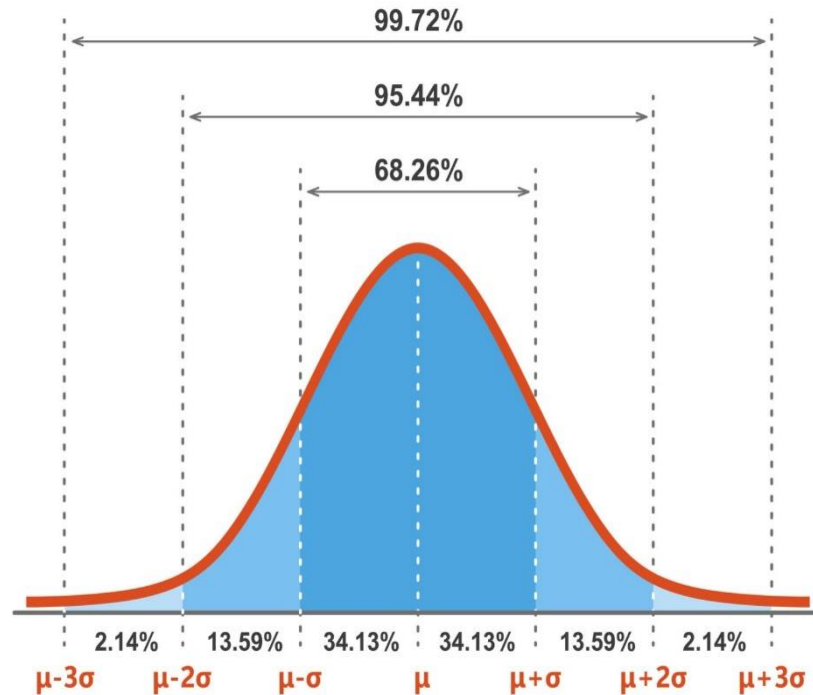


Рис. 4.1 – Розподіл змодельованих результатів вимірювань температури запікання

Отриманий в результаті математичного моделювання варіаційний ряд значень температури (T_i) був підданий первинній статистичній обробці, в ході якої були розраховані ключові описові показники, необхідні для подальшого аналізу якості процесу. Середнє арифметичне значення вибірки склало $\bar{X} \approx 180,08^\circ\text{C}$. Близькість цього значення до номіналу ($180,0^\circ\text{C}$) свідчить про високу точність налаштування (центрування) терморегулятора обладнання та відсутність значних систематичних зсувів, які могли б вказувати на розкалібрування датчиків або дрейф параметрів. Розмах варіації (R), визначений як різниця між максимальним зафіксованим значенням ($183,2^\circ\text{C}$) та мінімальним ($177,4^\circ\text{C}$), склав $5,8^\circ\text{C}$. Цей показник характеризує загальну ширину діапазону розкиду параметрів і вказує на те, що процес утримується в досить вузькому коридорі значень. Вибіркове середньоквадратичне відхилення S, розраховане за формулою Бесселя, дорівнює $1,39^\circ\text{C}$, що підтверджує відповідність змодельованого розподілу заданим вхідним параметрам ($\sigma =$

1,5°C) та свідчить про адекватність моделі. Детальний аналіз отриманих даних показує, що абсолютно всі змодельовані значення (100% вибірки) знаходяться в межах встановленого технологічного допуску $\pm 5^{\circ}\text{C}$ (інтервал 175 ... 185°C). Це емпірично підтверджує високу стабільність, передбачуваність та керованість змодельованого процесу і дозволяє з високою довірою використовувати цей масив даних як надійну статистичну базу для подальшого розрахунку індексів відтворюваності та детального оцінювання невизначеності вимірювань у наступних підрозділах роботи.

4.2 Оцінювання невизначеності вимірювань у критичній контрольній точці

Одним із фундаментальних, найбільш складних та відповідальних завдань забезпечення якості та безпечності продукції в рамках розробленої системи є науково обґрунтоване підтвердження метрологічної надійності та достовірності результатів контролю у критичних контрольних точках (ККТ). Оскільки ККТ 1 «Термічна обробка» є вирішальним етапом технологічного процесу (Kill Step) для гарантованого знищення або зниження до прийняттого рівня біологічних небезпечних факторів, зокрема таких термостійких патогенів, як *Salmonella spp.*, *Listeria monocytogenes* та *E. coli*, точність та достовірність вимірювання температури безпосередньо в геометричному центрі продукту (найхолоднішій точці) набуває критичного значення для життя і здоров'я споживачів. Для експериментального оцінювання точності вимірювальних каналів системи було обрано процес інструментального контролю температури готовності страви «Жульєн з куркою та грибами», для якої критична межа безпеки (Critical Limit) встановлена на рівні 75°C. Вимірювання здійснювалося за допомогою високоточного професійного бездротового термощупа (Smart Probe) на базі термопари Т-типу (мідь-константан), який є невід'ємною складовою частиною запропонованої IoT-

системи та забезпечує швидку реакцію на зміну температури. Відповідно до положень міжнародної «Настанови з оцінювання невизначеності у вимірюваннях» (GUM) та вимог стандарту ДСТУ ISO/IEC 17025, було проведено повну, деталізовану процедуру оцінювання невизначеності вимірювань, що включає ретельний аналіз та кількісну оцінку всіх виявлених джерел невизначеності, класифікованих за типом А та типом В.

На першому етапі досліджень було оцінено стандартну невизначеність за типом А, яка базується на статистичному аналізі ряду повторних незалежних вимірювань однієї і тієї ж величини в умовах повторюваності (збіжності). Для цього в умовах сталого технологічного процесу, з метою мінімізації впливу зовнішніх дестабілізуючих факторів, було проведено серію з $n = 10$ незалежних вимірювань температури в одній фіксованій точці контрольного зразка страви, що знаходився у прецизійному рідинному термостаті, який підтримував температуру з високою точністю. Отриманий масив експериментальних значень температури (t_i) мав такий вигляд: 75,2; 75,1; 75,3; 75,2; 75,1; 75,4; 75,2; 75,3; 75,1; 75,2 °C. Середнє арифметичне значення результатів вимірювань склало $\bar{t} = 75,21^\circ\text{C}$. Експериментальне стандартне відхилення $S(t)$, що характеризує розсіювання одиничних результатів навколо середнього, було розраховано за класичною формулою Бесселя і склало $0,099^\circ\text{C}$. Відповідно, стандартна невизначеність за типом $A(u_A)$, що дорівнює стандартному відхиленню середнього арифметичного значення, становить $0,031^\circ\text{C}$. Ця складова інтегрально враховує сукупність всіх випадкових ефектів, які неможливо виключити, таких як природні мікрофлуктуації температури об'єкта, власні теплові шуми електронної схеми вимірювального перетворювача, нестабільність АЦП та можлива варіативність теплового контакту зонда з продуктом при повторних зануреннях.

Оцінювання стандартної невизначеності за типом В здійснювалося на основі аналізу всієї доступної апріорної інформації про метрологічні характеристики використовуваного засобу вимірювальної техніки, умови

проведення вимірювань та фізичні особливості об'єкта. Основним та найбільш вагомим джерелом невизначеності в даному випадку є границя допустимої основної похибки термощупа, яка згідно з технічною специфікацією виробника та чинним свідоцтвом про калібрування становить $\Delta_{inst} = \pm 0,5^{\circ}\text{C}$ у робочому діапазоні температур. Припускаючи рівномірний (прямокутний) закон розподілу ймовірностей цієї похибки в межах заданого інтервалу (що є стандартним консервативним підходом за відсутності додаткової інформації про реальний вид розподілу похибки конкретного екземпляра приладу), стандартна невизначеність (u_{B1}) розраховується як відношення границі похибки до кореня з трьох ($\sqrt{3}$) і становить $0,289^{\circ}\text{C}$. Другою важливою складовою є невизначеність, зумовлена обмеженою роздільною здатністю (дискретністю) цифрового індикатора приладу. При ціні поділки молодшого розряду $d = 0,1^{\circ}\text{C}$ та припущенні про рівномірний розподіл похибки квантування в інтервалі $\pm 0,5d$, стандартна невизначеність (u_{B2}) розраховується як $0,5d/\sqrt{3}$ і складає $0,029^{\circ}\text{C}$. Додатково було враховано методичну похибку, спричинену впливом теплопровідності металевої захисної арматури щупа, що може призводити до систематичного заниження показів через відтік тепла від точки вимірювання в навколишнє середовище (особливо при недостатній глибині занурення). Експертно оцінена межа цієї методичної похибки становить $\pm 0,1^{\circ}\text{C}$, що в перерахунку на стандартну невизначеність (u_{B3}) дає $0,058^{\circ}\text{C}$. Сумарну стандартну невизначеність за типом В було розраховано як корінь квадратний із суми квадратів усіх зазначених вище складових, що в результаті дало значення $0,296^{\circ}\text{C}$.

Для визначення підсумкової точності вимірювання було розраховано сумарну стандартну невизначеність (u_c) шляхом геометричного підсумовування невизначеностей типу А та типу В, яка склала $0,298^{\circ}\text{C}$. Порівняльний аналіз вагомості складових бюджету показує, що домінуючим фактором (понад 90% внеску) є інструментальна похибка приладу, тоді як випадкова складова вносить незначний вклад, що свідчить про високу

повторюваність вимірювань та стабільність вимірювального процесу. З метою надання результату вимірювання вигляду, придатного для прийняття відповідальних управлінських рішень про відповідність продукції та порівняння з критичними межами, було обчислено розширену невизначеність (U). Використовуючи коефіцієнт охоплення $k = 2$, що відповідає рівню довіри $P = 95\%$ при припущенні нормального закону розподілу результуючої похибки (згідно з Центральною граничною теоремою), значення розширеної невизначеності склало $0,60^\circ\text{C}$.

Зведені результати розрахунку бюджету невизначеності представлені в таблиці нижче.

Таблиця 4.2 – Бюджет невизначеності вимірювання температури у ККТ1

Джерело невизначеності	Оцінка величини x_i , $^\circ\text{C}$	Тип оцінювання	Закон розподілу	Стандартна невизначеність $u(x_i)$, $^\circ\text{C}$
Повторюваність вимірювань	0,099	A	Нормальний	0,031
Інструментальна похибка	0,5	B	Рівномірний	0,289
Роздільна здатність (дискретність)	0,05	B	Рівномірний	0,029
Вплив тепловідведення щупа	0,1	B	Рівномірний	0,058
Сумарна стандартна невизначеність (u_c)				0,298
Розширена невизначеність (U , $k=2$)				0,60

Детальний аналіз отриманого результату $U = \pm 0,60^\circ\text{C}$ дозволяє зробити обґрунтований та доказовий висновок щодо відповідності вимірювальної системи встановленим метрологічним вимогам. Згідно з рекомендаціями

міжнародних стандартів серії ISO 22000 та принципами системи HACCP, для критичних термічних процесів обробки м'ясних продуктів, де критична межа чітко відділяє безпечний продукт від потенційно небезпечного, рекомендована точність вимірювання зазвичай становить $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ або $\pm 1,0^{\circ}\text{C}$ залежно від специфіки продукту та профілю ризиків. Отримане значення розширеної невизначеності ($0,60^{\circ}\text{C}$) хоча й незначно перевищує найжорсткіший поріг $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$, але з запасом вкладається у більш м'яку, проте допустиму вимогу $\pm 1,0^{\circ}\text{C}$, яка є прийнятною для більшості кулінарних процесів у ресторанному господарстві. Для гарантування абсолютної безпеки та відповідності принципам HACCP при використанні даного вимірювального каналу необхідно скоригувати операційну межу (Target Level) процесу приготування. Враховуючи розраховану невизначеність, цільова температура в центрі страви має бути встановлена не на рівні критичної межі 75°C , а зі зміщенням у бік безпеки на величину розширеної невизначеності, тобто $75,0 + 0,6 = 75,6^{\circ}\text{C}$. Такий інженерний підхід забезпечить гарантоване досягнення критичної температури пастеризації з ймовірністю не менше 95% навіть за наявності найнесприятливішого поєднання похибок вимірювання, повністю виключаючи ризик випуску небезпечної продукції.

4.3 Статистичний аналіз стабільності процесу (SPC)

Для об'єктивної, кількісної та неупередженої оцінки ефективності розробленої системи управління якістю було застосовано потужний методологічний апарат статистичного керування процесами (SPC), який дозволяє математично охарактеризувати здатність технологічного процесу стабільно та передбачувано забезпечувати випуск продукції в межах встановлених допусків. Основним інструментом аналізу в даному дослідженні стали індекси відтворюваності процесу (C_p та C_{pk}), розрахунок яких базується на порівнянні ширини природної варіабельності процесу (6σ), що представляє

собою діапазон, в який потрапляє 99,73% значень параметра, із шириною поля допуску, регламентованою технологічною картою. Для обраного об'єкта – страви «Жульєн з куркою та грибами» – нормативною документацією встановлено номінальну температуру запікання 180°C із допустимим двостороннім відхиленням $\pm 5^{\circ}\text{C}$. Це формує поле допуску з нижньою межею специфікації $LSL = 175^{\circ}\text{C}$ та верхньою межею специфікації $USL = 185^{\circ}\text{C}$, ширина якого становить 10°C .

Для наочної демонстрації динаміки покращення якості та доведення ефективності впроваджених змін було проведено ретроспективний аналіз даних за попередній період, коли контроль здійснювався традиційним ручним методом (без застосування автоматизованої системи). Детальний аналіз архівних записів у паперових журналах та хронометраж роботи персоналу показали, що за умов епізодичного контролю та відсутності проактивного реагування на дрейф температури, середньоквадратичне відхилення процесу (σ_{man}) становило близько $2,4^{\circ}\text{C}$. При цьому середнє значення температури часто зміщувалося відносно номіналу внаслідок впливу «людського фактора» (наприклад, несвоєчасне або надто часте відкриття дверей жарочної шафи, помилки в налаштуваннях таймера). Розрахунок індексу потенційної відтворюваності для ручного режиму склав $C_p = (USL - LSL) / (6 \cdot \sigma_{man}) = 10 / (6 \cdot 2,4) \approx 0,69$. Оскільки отримане значення C_p значно менше за 1,0, такий процес класифікується як «нездатний» (incapable). Це означає, що ширина природного розкиду процесу перевищує ширину поля допуску, що статистично підтверджує високу ймовірність появи значного відсотка браку (недоготованої або пересушеної страви) навіть при ідеальному центруванні процесу та пояснює наявність періодичних рекламацій від клієнтів, зафіксованих у попередніх звітних періодах роботи ресторану.

Після впровадження розробленої системи автоматизованого моніторингу на базі IoT-сенсорів та переходу до сучасної парадигми управління на основі даних, статистичні характеристики процесу зазнали суттєвих позитивних змін. Використовуючи масив експериментальних даних,

отриманий та детально проаналізований у підрозділі 4.1 ($\bar{X} \approx 180,08^\circ\text{C}$, $S \approx 1,39^\circ\text{C}$), було проведено повторний розрахунок індексів відтворюваності для нової системи. Індекс потенційної відтворюваності C_p зріс до значення $C_p = 10/(6 \cdot 1,39) \approx 1,20$. Це зростання з 0,69 до 1,20 свідчить про значне (майже двократне) звуження діапазону розсіювання параметрів. Такий вражаючий результат став можливим завдяки швидкій реакції персоналу на автоматичні сповіщення системи про відхилення (Alerts) та більш точному дотриманню технологічної дисципліни, що дозволило утримувати процес у значно жорсткіших рамках. Важливо зазначити, що автоматизація дозволила не лише суттєво зменшити варіабельність, але й забезпечити точне центрування процесу відносно номіналу, мінімізуючи небезпечні зміщення.

Для комплексної оцінки реальної здатності процесу, яка враховує не лише розкид, а й фактичне положення середнього значення розподілу відносно меж допуску (центрування), було розраховано індекс C_{pk} . Розрахунок за верхньою межею дав значення $C_{pk(U)} = (185 - 180,08)/(3 \cdot 1,39) \approx 1,18$, а за нижньою межею – $C_{pk(L)} = (180,08 - 175)/(3 \cdot 1,39) \approx 1,22$. Приймаючи консервативно мінімальне з отриманих значень, отримуємо підсумковий показник $C_{pk} = 1,18$. Згідно з загальноприйнятою в інженерії якістю та автомобільній промисловості шкалою оцінювання (за стандартом ISO 22514), значення C_{pk} у діапазоні 1,0...1,33 характеризує процес як «умовно стабільний» або «контрольований» з прийнятним рівнем дефектності. Це є якісним стрибком порівняно з попереднім критичним станом ($C_p = 0,69$), коли процес був некерованим. Це означає, що впроваджена система управління якістю дозволила успішно перевести технологічний процес із зони високого ризику в зону контрольованої стабільності, мінімізавши вплив випадкових факторів та гарантуючи дотримання технологічних режимів з високою ймовірністю, що прямо трансформується у стабільну якість готової продукції та задоволення споживача.

4.4 Оцінка ефективності впровадження

Впровадження автоматизованої системи моніторингу та управління якістю в ресторані «Континент» є повноцінним інвестиційним проектом, доцільність якого має бути підтверджена не лише технічними показниками стабільності процесів, але й конкретним, прозорим економічним розрахунком. Основний економічний ефект від реалізації запропонованих інженерних рішень формується за рахунок запобігання прямим фінансовим втратам, пов'язаним із псуванням дороговартісної сировини та напівфабрикатів внаслідок порушення температурних режимів зберігання. Найбільш критичними є інциденти, що відбуваються у неробочий (нічний) час, коли візуальний контроль з боку персоналу повністю відсутній, і навіть незначна несправність може призвести до катастрофічних наслідків для запасів продуктів.

Для розрахунку потенційного економічного ефекту та оцінки ризиків було проведено детальну оцінку вартості продукції, що одночасно зберігається у холодильних камерах ресторану в типовий операційний день. Згідно з проаналізованою товарознавчою документацією, накладними та даними інвентаризації, основні запаси швидкопсувної сировини (охолоджене м'ясо, риба, морепродукти, молочні продукти, овочі, фрукти) зосереджені в блоці підвальних стаціонарних камер. Середньодобова вартість завантаження лише однієї м'ясо-рибної камери, що містить преміальні види продукції (мармурова яловичина, лосось, морепродукти), становить близько 150 000 грн. Розглянемо сценарій аварійної відмови компресора вночі (наприклад, о 02:00 ночі). За відсутності системи автоматичного оповіщення, до моменту приходу персоналу вранці (08:00) температура в камері може неконтрольовано піднятися до критичних значень, що призведе до розморожування та псування всієї партії. Відповідно до стандартів НАССР, така продукція підлягає безумовній повній утилізації. Отже, лише один такий інцидент може завдати

прямих збитків у розмірі 150 000 грн, що є співмірним з місячним фондом оплати праці кількох кваліфікованих працівників кухні. Враховуючи статистику відмов зношеного холодильного обладнання, перебої з електропостачанням та випадки людської недбалості (нещільно зачинені двері камери), ймовірність виникнення хоча б одного подібного критичного інциденту протягом календарного року є досить високою і не може ігноруватися.

Для порівняння було розраховано орієнтовну вартість розгортання запропонованої IoT-системи моніторингу "під ключ". Базовий комплект обладнання включає один професійний шлюз LoRaWAN (орієнтовна ринкова вартість близько 10 000 грн), набір з 10 автономних бездротових сенсорів температури/вологості (вартістю близько 3 000 грн за одиницю) для оснащення всіх камер та цехів, а також 5 професійних Bluetooth-термощупів (по 4 000 грн) для кухарів. Разом з витратами на монтаж, інсталяцію, налаштування програмного забезпечення, інтеграцію з існуючими мережами та навчання персоналу, загальні капітальні витрати (CAPEX) на проект становлять орієнтовно 80 000 – 100 000 грн. Операційні витрати (OPEX) на підтримку хмарного сервісу є незначними в порівнянні з вартістю продуктів.

Співставлення потенційних прямих збитків від лише одного інциденту повного псування продукції (150 000 грн) з повною вартістю впровадження системи (до 100 000 грн) наочно демонструє, що інвестиції в автоматизацію окупаються миттєво – вже при запобіганні першій же аварійній ситуації. Це свідчить про надзвичайно високу інвестиційну привабливість та рентабельність проекту (Return on Investment, ROI > 100% вже у перший рік експлуатації). Окрім прямого та вимірюваного економічного ефекту, впровадження системи приносить значні, хоча й важко вимірювані, непрямі вигоди: мінімізацію критичних репутаційних ризиків, пов'язаних з можливими харчовими отруєннями гостей (що може коштувати бізнесу існування), гарантоване успішне проходження перевірок Держпродспоживслужби завдяки наявності повної та достовірної цифрової історії температурних режимів, а

також суттєву оптимізацію використання робочого часу персоналу, який звільняється від рутинної та непродуктивної ручної фіксації параметрів у паперових журналах, отримуючи можливість зосередитися на приготуванні страв та обслуговуванні гостей.

5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

5.1 Аналіз шкідливих та небезпечних виробничих факторів у гарячому цеху ресторану

Створення безпечних умов праці у закладах ресторанного господарства, інтегрованих у готельні комплекси, є складним інженерно-організаційним завданням. Це зумовлено високою інтенсивністю технологічних процесів, насиченістю виробничих площ енергоємним обладнанням та специфікою цілодобового режиму роботи. Об'єкт дослідження – виробничі приміщення ресторану «Континент» (зокрема гарячий та м'ясний цехи) – характеризуються наявністю комплексу шкідливих та небезпечних виробничих факторів. Згідно з класифікацією ДСТУ 2293-2014 та ГОСТ 12.0.003-74, ці фактори поділяються на фізичні, хімічні та психофізіологічні. Глибокий аналіз механізму дії кожного з них дозволяє обґрунтувати вибір адекватних захисних заходів.

Фізичні небезпечні та шкідливі виробничі фактори.

Мікроклімат виробничих приміщень (Температурний стрес). Гарячий цех належить до категорії виробничих приміщень зі значними надлишками явного тепла (теплонпруженість перевищує 23 Вт/м³). Одночасна робота потужного теплового обладнання (електричних плит, жарочних шаф, відкритих фритюрниць, пароконвектоматів) генерує потужні конвективні потоки гарячого повітря. Додатково процеси варіння, бланшування та миття посуду призводять до значного підвищення відносної вологості повітря (іноді до 80–90%).

Згідно з ДСН 3.3.6.042-99, оптимальна температура у теплий період року має становити 21–23 °С при відносній вологості 40–60%, а допустима верхня межа – не більше 27 °С. Однак, на практиці, у пікові години навантаження ці параметри часто порушуються. Поєднання високої температури та вологості блокує механізми природної терморегуляції організму (ускладнюється

випаровування поту), що призводить до перегрівання організму. Це викликає згущення крові, тахікардію, швидке виснаження та різке зниження когнітивних функцій (уваги, швидкості реакції), що є прямою передумовою для виникнення нещасних випадків та технологічного браку.

Важливо зазначити, що впровадження розробленої у розділі 3 системи автоматизованого моніторингу на базі IoT-сенсорів дозволяє не лише контролювати умови зберігання продуктів у холодильниках, а й виконувати функцію екологічного моніторингу робочих місць. Система здатна сигналізувати про вихід параметрів мікроклімату в цеху за межі допустимих санітарних норм, автоматично ініціюючи вмикання додаткових контурів припливно-витяжної вентиляції.

Підвищена небезпека ураження електричним струмом. Специфіка кухонного середовища створює умови, за яких навіть незначний витік струму може стати фатальним. Велика кількість металевого обладнання (виробничі столи, мийні ванни, корпуси плит) має добрий контакт із землею через водопровідні та каналізаційні труби. Наявність струмопровідної підлоги (керамічна плитка, бетон), часто вкритої плівкою вологи або жиру, різко знижує електричний опір тіла людини.

За класифікацією приміщень щодо небезпеки ураження електричним струмом (НПАОП 40.1-1.32-01), кухня належить до приміщень з підвищеною небезпекою (наявність вогкості, струмопровідного пилю, струмопровідної підлоги, високої температури), а мийні відділення можуть класифікуватися як особливо небезпечні (відносна вологість близька до 100%). Основними сценаріями ураження є: дотик до корпусу обладнання, на який відбувся пробій ізоляції фазного проводу (непрямий дотик), або помилковий контакт із струмоведучими частинами при пошкодженні кабелів живлення пересувних механізмів (слайсерів, міксерів).

Рухомі частини машин та механізмів. Механічне обладнання ресторану (універсальні приводи, слайсери, тістоміси, куттери, овочерізки) є джерелом травматизму високого ступеня тяжкості. Основні ризики пов'язані з

обертівими ножами, шнеками та змішувальними органами. Найчастіші травми – порізи, рвані рани, а в критичних випадках – травматична ампутація фаланг пальців. Ризик зростає у моменти "пікового навантаження", коли персонал намагається пришвидшити процес, проштовхуючи продукти в горловину м'ясорубки руками замість спеціального штовхача, або намагається очистити робочий орган до повної зупинки двигуна (вибіг ротора).

Термічні фактори (Опіки). Джерелами термічних уражень є не лише нагріті поверхні обладнання (температура конфорок електроплит досягає 400 °С), але й робочі середовища. Особливу небезпеку становить розігрітий фритюр (температура 160–180 °С). Потрапляння навіть незначної кількості води (конденсату з заморожених продуктів) у гарячу олію викликає миттєве скипання води, що супроводжується вибухоподібним розбризкуванням жиру на значні відстані, спричиняючи глибокі термічні опіки шкіри та очей. Також небезпечним є контакт з паром при відкриванні дверей пароконвектомата, де температура пароповітряної суміші може сягати 250 °С, що викликає опіки обличчя та верхніх дихальних шляхів.

Недостатнє або неякісне освітлення. Якість освітлення безпосередньо впливає на безпеку та якість продукції. Відповідно до ДБН В.2.5-28:2018, розряд зорової роботи для кухарів (розрізнення об'єктів розміром 0,5–1 мм, оцінка кольору страви) вимагає комбінованого освітлення не менше 300–400 лк. Недостатнє освітлення, наявність різких тіней від стелажів або стробоскопічний ефект (миготіння люмінесцентних ламп, що збігається з частотою обертання механізмів, створюючи ілюзію їх нерухомості) різко підвищують травматизм. Крім того, низький індекс кольоропередачі ($R_a < 80$) ламп спотворює візуальне сприйняття ступеня готовності м'ясних страв, що може призвести до порушення технології приготування (недосмаження) і випуску небезпечної продукції.

Хімічні фактори. Персонал кухні щоденно контактує з агресивними хімічними речовинами. Професійні мийні засоби для пароконвектоматів та грилів містять висококонцентровані луги (гідроксид натрію) для розщеплення

нагару, а засоби для видалення накипу – сильні кислоти. Вдихання аерозолів цих речовин при розпиленні без респіраторів викликає хімічні опіки слизових оболонок, а потрапляння на шкіру – важкі дерматити та екземи.

Психофізіологічні фактори. Робота кухаря класифікується як праця середньої тяжкості з елементами значного нервово-емоційного напруження. Статичне навантаження на опорно-руховий апарат (тривале перебування у позі стоячи – до 90% зміни) призводить до захворювань вен нижніх кінцівок. Хронічний стрес, викликаний необхідністю одночасного виконання багатьох замовлень (multitasking) в умовах жорсткого дефіциту часу (time pressure), сприяє розвитку професійного вигорання та знижує поріг сприйняття небезпеки.

5.2 Заходи щодо забезпечення електробезпеки при експлуатації технологічного та вимірювального обладнання

Електробезпека в ресторані «Континент» базується на неухильному дотриманні Правил улаштування електроустановок (ПУЕ), НПАОП 40.1-1.21-98 та стандартів серії ДСТУ EN 61140. Впровадження нової системи моніторингу на базі електронних засобів вносить свої корективи в загальну систему захисних заходів.

Технічні заходи. Захисне заземлення та система вирівнювання потенціалів. Усе електрообладнання класу I (з металевими корпусами) підлягає обов'язковому заземленню. У сучасних електроустановках ресторанів використовується система заземлення TN-S або TN-C-S, де нульовий робочий (N) та нульовий захисний (PE) провідники розділені. Це гарантує, що на корпусах обладнання за нормальних умов відсутній потенціал. Додатково має бути реалізована система зрівнювання потенціалів (СЗП): усі металеві частини будівлі (труби, вентиляційні коробки, металеві столи, корпуси ванн) електрично з'єднуються між собою та з головною заземлювальною шиною, що

унеможливиює виникнення небезпечної різниці потенціалів при одночасному дотику.

Багаторівневий диференційний захист (ПЗВ). Для всіх розеткових груп кухні, мийних та підвальних приміщень обов'язковим є використання пристроїв захисного вимкнення (ПЗВ) або диференційних автоматів з номінальним струмом витоку $\Delta I_n \leq 30$ мА. Принцип дії ПЗВ базується на порівнянні струмів у фазному та нульовому провідниках: при виникненні витоку на землю (через тіло людини або пошкоджену ізоляцію) баланс порушується, і пристрій миттєво (за час $< 0,4$ с) знеструмлює лінію.

Інженерні рішення безпеки у розробленій системі IoT-моніторингу. Система автоматизованого моніторингу, що пропонується у дипломній роботі, спроектована з урахуванням найвищих стандартів безпеки, що мінімізує додаткові ризики:

Безпечна наднизька напруга (SELV). Усі кінцеві пристрої (бездротові датчики LoRaWAN, Bluetooth-термощупи) живляться від автономних джерел постійного струму (літієві елементи 3,6 В). Така напруга є абсолютно безпечною для людини навіть при прямому контакті у вологому середовищі (клас захисту III), що повністю виключає ризик електротравматизму при роботі з цими вимірювальними приладами.

Ліквідація кабельного господарства. Перехід на бездротову передачу даних дозволяє відмовитися від прокладання кілометрів сигнальних кабелів по виробничих приміщеннях. Це суттєво знижує пожежну небезпеку (немає ризику короткого замикання кабелів) та травматизм (відсутність дротів під ногами, за які можна перечепитися).

Високий ступінь захисту оболонки (IP Rating). Враховуючи агресивні умови експлуатації (висока вологість, пари жирів, регулярна санітарна обробка під тиском), обрані сенсори та шлюзи мають клас захисту IP67. Це гарантує повну пилонепроникність та збереження працездатності навіть при короткочасному зануренні у воду, що є критичним під час генерального прибирання кухні методом пінної мийки.

Ізоляція, маркування та блокування. Усі розподільчі щити повинні замикатися на замок для запобігання доступу некваліфікованого персоналу та мати знаки електробезпеки («Блискавка»). При проведенні технічного обслуговування обладнання обов'язковим є застосування процедури LOTO (Lockout/Tagout): фізичне блокування вимикача у положенні "вимкнено" за допомогою навісного замка та вивішування попереджувальної таблички "Не вмикати! Працюють люди".

Організаційні заходи. Регулярне навчання та перевірка знань з електробезпеки. Весь неелектротехнічний персонал (кухарі, мийники) повинен мати I групу допуску, що передбачає знання небезпеки електричного струму та вміння надати першу домедичну допомогу при ураженні.

Призначення відповідального за електрогосподарство. Проведення періодичних випробувань (не рідше 1 разу на рік): вимірювання опору ізоляції мегаомметром, перевірка спрацювання ПЗВ, вимірювання опору петлі «фаза-нуль». жна безпека ресторану «Континент» забезпечується організаційними, технічними та інженерними заходами відповідно до Кодексу цивільного захисту України та «Правил пожежної безпеки в Україні» (НАПБ А.01.001-2014). Специфікою об'єкта є наявність джерел відкритого вогню, великих об'ємів розігрітих жирів, складних систем вентиляції та масового перебування людей.

5.3. Розробка плану дій у разі виникнення пожежі та інших надзвичайних ситуацій.

Основні причини пожеж у ресторані:

Займання розігрітого жиру та олії у фритюрницях, на сковородах або грилях (клас пожежі F). Це найбільш небезпечний вид пожежі, оскільки температура горіння олії дуже висока, а гасіння водою призводить до вибухоподібного розбризкування.

Загоряння жирових відкладень та сажі у повітроводах витяжних вентиляційних систем (зонтах) через несвоєчасне очищення.

Коротке замикання електропроводки та електрообладнання (клас Е) внаслідок перевантаження мережі або потрапляння вологи.

Необережне поводження з вогнем (паління у невстановлених місцях, використання відкритого вогню для фламбування страв поблизу легкозаймистих матеріалів).

Системи протипожежного захисту:

Автоматична пожежна сигналізація. Димові та теплові сповіщувачі встановлені у всіх приміщеннях ресторану (зали, коридори, склади, гардероб), окрім приміщень з мокрими процесами (мийні, санвузли). Система виведена на пульт централізованого спостереження.

Локальні автоматичні системи пожежогасіння. Над тепловим обладнанням підвищеної небезпеки (фритюрницями, відкритими грилями, плитами) та у витяжних зонтах рекомендується встановлення модульних систем кухонного пожежогасіння (типу ANSUL R-102). Принцип їх дії базується на автоматичному виявленні займання та подачі спеціальної рідкої вогнегасної речовини, яка, вступаючи в реакцію з палаючим жиром, утворює щільну мильну плівку (процес сапоніфікації), що перекриває доступ кисню та охолоджує поверхню, запобігаючи повторному спалахуванню.

Первинні засоби пожежогасіння. Приміщення оснащуються вогнегасниками з розрахунку на площу та клас можливої пожежі:

Для гасіння електроустановок під напругою до 1000 В – вуглекислотні вогнегасники (ВВК-2, ВВК-3,5).

Для гасіння твердих горючих матеріалів, а особливо жирів та олій – спеціалізовані вогнегасники для кухонь (клас F) або повітряно-пінні.

На кожному робочому місці з використанням фритюру має бути протипожежне полотно (кошма) з негорючого скловолокна розміром не менше 1х1 м.

План дій персоналу у разі виникнення пожежі:

При виявленні ознак горіння (полум'я, дим, запах гару) негайно повідомити пожежну охорону за телефоном «101», чітко вказавши адресу об'єкта, місце виникнення пожежі, наявність людей та своє прізвище.

Знеструмити електрообладнання в зоні пожежі (натиснути червону аварійну кнопку "STOP" або вимкнути рубильник на щиті). Відключити системи вентиляції, щоб запобігти розповсюдженню диму та притоку кисню.

Розпочати евакуацію відвідувачів та персоналу згідно з планом евакуації. Відповідальні особи (адміністратори, метрдотелі) повинні керувати потоком людей, спрямовуючи їх до найближчих евакуаційних виходів, уникаючи паніки. Обов'язково перевірити всі підсобні приміщення, санвузли та гардероби, щоб переконатися, що ніхто не залишився в будівлі.

Приступити до гасіння пожежі первинними засобами пожежогасіння, якщо це не загрожує життю та здоров'ю.

Увага! Категорично забороняється гасити палаючий жир або електропроводку водою!

Для гасіння жиру на сковороді або у фритюрниці необхідно обережно накрити її протипожежним полотном (кошмою) або кришкою, щоб перекрити доступ повітря. Використовувати вогнегасник класу F.

Зустріти підрозділи ДСНС, повідомити про місце осередку вогню, наявність людей у будівлі та конструктивні особливості приміщень.

Дії у разі оголошення сигналу «Повітряна тривога»:

В умовах воєнного стану розробка та дотримання алгоритму дій при загрозі ракетних ударів або артилерійських обстрілів є пріоритетом безпеки.

При отриманні сигналу (через систему оповіщення міста, мобільний додаток або внутрішній зв'язок) відповідальна особа (адміністратор) подає команду: «Увага! Повітряна тривога! Прохання всім негайно пройти в укриття!».

Працівники кухні повинні негайно припинити технологічні процеси, вимкнути газове та електричне теплове обладнання (плити, грилі,

фритюрниці) для запобігання виникненню пожежі у разі відсутності нагляду. Перекрити вентилі подачі газу та води.

Важливою перевагою впровадженої системи автоматизованого моніторингу (IoT) є її автономність. Система продовжує працювати від резервних джерел живлення, фіксуючи параметри зберігання продуктів у холодильних камерах під час відсутності персоналу. Це дозволяє після відбою тривоги оцінити, чи не було порушено температурний режим зберігання критичної продукції.

Персонал та відвідувачі організовано, взявши особисті речі та «тривожну валізу» (з аптечкою, водою, ліхтарем), переміщуються у найближче укриття. Для ресторану «Континент» це спеціально обладнане підвальне приміщення готелю «Харків» (найпростіше укриття), яке має запаси питної води, місця для сидіння та другий евакуаційний вихід.

Робота закладу та допуск персоналу до робочих місць відновлюється виключно після офіційного сигналу «Відбій повітряної тривоги».

ВИСНОВКИ

Вирішено актуальне науково-прикладне завдання підвищення ефективності управління якістю та гарантування безпеки харчової продукції в закладі ресторанного господарства при готельному комплексі. Шляхом системної інтеграції методології НАССР (аналіз небезпечних факторів та контроль у критичних точках) із сучасними інформаційно-вимірювальними технологіями (IoT) досягнуто головної мети роботи – розроблено, науково обґрунтовано та верифіковано систему автоматизованого інструментального моніторингу критичних контрольних точок.

Проведено глибокий системний аналіз нормативно-правової бази України та ЄС, а також сучасних підходів до управління якістю в індустрії гостинності. Встановлено, що в умовах інтенсифікації виробництва та складної логістики ресторану класу «люкс» традиційні методи контролю, які базуються на періодичних ручних записах у паперових журналах, є морально застарілими. Вони не забезпечують необхідної достовірності через вплив людського фактора (помилки зчитування, фальсифікація даних) та характеризуються низькою оперативністю реагування на інциденти. Обґрунтовано, що перехід від реактивної моделі управління до проактивної концепції «Індустрія 4.0» є безальтернативним шляхом розвитку. Впровадження безперервного інструментального моніторингу дозволяє створити цифрову історію виробництва, що є необхідною умовою для забезпечення повної відповідності жорстким вимогам міжнародних стандартів серії ISO 22000 та національного законодавства.

Виконано комплексний діагностичний аудит об'єкта дослідження – ресторану «Континент», та здійснено функціональне моделювання бізнес-процесів у нотації IDEF0. Моделювання дозволило виявити приховані системні проблеми, зокрема критичні розриви в інформаційних потоках між складською зоною (розташованою у підвальному приміщенні) та виробничими цехами. Це створює «сліпі зони» у контролі та ризику

порушення безперервності «холодового ланцюга» під час внутрішнього транспортування сировини. Ідентифіковано, класифіковано та проранжовано за ступенем тяжкості наслідків небезпечні фактори (біологічні, хімічні, фізичні) на всіх етапах життєвого циклу продукції – від приймання сировини до подачі страви. Отримана карта ризиків стала основою для розробки адаптованого плану HACCP.

Науково обґрунтовано вибір критичних контрольних точок (ККТ) та розроблено спеціалізовану підсистему їх автоматизованого моніторингу. Враховуючи складну архітектуру будівлі (наявність товстих залізобетонних перекриттів, що екранують сигнал), інженерно обґрунтовано побудову гібридної мережі: використання енергоефективного протоколу LoRaWAN з високою проникаючою здатністю для стаціонарних датчиків у підвалах та технології Bluetooth Low Energy для мобільних термощупів на кухні. Для кожної ККТ встановлено не лише критичні межі параметрів (температура, час, вологість), але й розраховано операційні межі (Target Levels). Введення цих меж, скоригованих на величину інструментальної похибки сенсорів, створює необхідний «буфер безпеки», що гарантує відповідність продукції санітарним нормам навіть за найгірших умов вимірювання.

Спроектовано архітектуру інформаційної системи та розроблено комплект цифрових стандартизованих операційних процедур (SOP). Запропонована трирівнева архітектура (Сенсори – Шлюз – Хмарна платформа) забезпечує надійний збір великих масивів даних, їх автоматичну валідацію на етапі передачі та криптографічний захист від несанкціонованого втручання або фальсифікації («Data Integrity»). Впровадження інтерактивних цифрових SOP, інтегрованих безпосередньо у робочі термінали персоналу, дозволило мінімізувати когнітивне навантаження на працівників. Система автоматично блокує перехід до наступного етапу техпроцесу, якщо контрольовані параметри не відповідають нормі, забезпечуючи жорстку технологічну дисципліну (PoKa-yoke).

Експериментально підтверджено ефективність та надійність розробленої системи. Метрологічний аспект: Проведено детальне оцінювання невизначеності вимірювань у критичній точці термічної обробки. Розрахована розширена невизначеність склала $U = \pm 0,60^{\circ}\text{C}$ (при коефіцієнті охоплення $k=2$), що повністю відповідає міжнародним метрологічним вимогам до контролю процесів пастеризації м'ясних продуктів і підтверджує достовірність отримуваних даних. Статистичний аспект (SPC): Застосування методів статистичного керування процесами продемонструвало кардинальне покращення стабільності технології. Індекс реальної відтворюваності процесу C_{pk} зріс з критичного рівня 0,69 (що характеризує процес як «нездатний» з високою ймовірністю браку) до 1,18 (що відповідає «стабільному» процесу). Це свідчить про перехід виробництва у керований стан та мінімізацію варіабельності якості готових страв. Економічний аспект: Розрахунок ROI показав високу інвестиційну привабливість проекту. Інвестиції у систему окупаються миттєво – вже при запобіганні першому потенційному аварійному інциденту з холодильним обладнанням, завдяки збереженню дороговартісної сировини.

Проаналізовано стан охорони праці та безпеки життєдіяльності в контексті впровадження нових технологій. Доведено, що система автоматизованого моніторингу виступає додатковим фактором безпеки праці: постійний контроль мікроклімату дозволяє попереджати теплові удари персоналу, а використання низьковольтних бездротових сенсорів знижує ризики електротравматизму. Розроблено та адаптовано детальні алгоритми дій персоналу у разі пожежі та під час сигналу «Повітряна тривога», що забезпечує комплексний захист життя та здоров'я працівників і відвідувачів, а також збереження даних моніторингу в автономному режимі під час надзвичайних ситуацій.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Про основні принципи та вимоги до безпечності та якості харчових продуктів : Закон України від 23.12.1997 р. № 771/97-ВР. Відомості Верховної Ради України. 1998. № 19. Ст. 98. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/771/97-вр> (дата звернення: 15.12.2025).
2. Про затвердження Вимог щодо розробки, впровадження та застосування постійно діючих процедур, заснованих на принципах Системи управління безпечністю харчових продуктів (НАССР) : наказ М-ва аграрної політики та продовольства України від 01.10.2012 р. № 590. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1704-12> (дата звернення: 15.12.2025).
3. Кодекс цивільного захисту України : Закон України від 02.10.2012 р. № 5403-VI. Відомості Верховної Ради України. 2013. № 34-35. Ст. 458.
4. Про метрологію та метрологічну діяльність : Закон України від 05.06.2014 р. № 1314-VII. Відомості Верховної Ради України. 2014. № 30. Ст. 1008.
5. ДСТУ ISO 22000:2019 (ISO 22000:2018, IDT). Системи управління безпечністю харчових продуктів. Вимоги до будь-якої організації в харчовому ланцюзі. [Чинний від 2019-12-01]. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2019. 35 с.
6. ДСТУ ISO 9001:2015 (ISO 9001:2015, IDT). Системи управління якістю. Вимоги. [Чинний від 2016-07-01]. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2016. 22 с.
7. ДСТУ EN ISO/IEC 17025:2019 (EN ISO/IEC 17025:2017, IDT; ISO/IEC 17025:2017, IDT). Загальні вимоги до компетентності випробувальних та калібрувальних лабораторій. [Чинний від 2021-01-01]. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2020. 30 с.
8. ДСТУ 2293:2014. Охорона праці. Терміни та визначення основних понять. [Чинний від 2015-05-01]. Київ : Мінекономрозвитку України, 2015. 24 с.

9. ДСТУ ISO 22514-1:2016 (ISO 22514-1:2014, IDT). Статистичні методи. Керування процесом. Частина 1. Загальні положення. [Чинний від 2016-09-01]. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2016.
10. ДСТУ EN 61140:2019 (EN 61140:2016, IDT; IEC 61140:2016, IDT). Захист проти ураження електричним струмом. Загальні аспекти щодо установки та обладнання. [Чинний від 2020-01-01]. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2020.
11. НАПБ А.01.001-2014. Правила пожежної безпеки в Україні : затв. наказом МВС України від 30.12.2014 р. № 1417. Офіційний вісник України. 2015. № 25. Ст. 147.
12. ДБН В.2.5-28:2018. Природне і штучне освітлення. [Чинний від 2019-03-01]. Київ : Мінрегіонбуд України, 2018. 135 с.
13. ДСН 3.3.6.042-99. Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень : затв. постановою Головного державного санітарного лікаря України від 01.12.1999 р. № 42. Київ, 1999.
14. НПАОП 40.1-1.21-98. Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів : затв. наказом Держнаглядохоронпраці України від 09.01.1998 р. № 4. Київ, 1998.
15. НПАОП 40.1-1.32-01. Правила будови електроустановок. Електрообладнання спеціальних установок : затв. наказом Мінпраці України від 21.06.2001 р. № 272. Київ, 2001.
16. Wallace C. A., Sperber W. H., Mortimore S. E. Food Safety for the 21st Century: Managing HACCP and Food Safety throughout the Global Supply Chain. 2nd ed. Chichester : Wiley-Blackwell, 2018. 488 p.
17. Oakland J. S., Oakland R. J. Statistical Process Control. 7th ed. London : Routledge, 2018. 446 p.
18. Montgomery D. C. Introduction to Statistical Quality Control. 8th ed. Hoboken : John Wiley & Sons, 2020. 768 p.
19. Marriott N. G., Schilling M. W., Gravani R. B. Principles of Food Sanitation. 6th ed. Cham : Springer, 2018. 437 p. (Food Science Text Series).

20. Капліна Т. В., Каплін А. Г. Організація ресторанного господарства : навч. посіб. Київ : Центр учбової літератури, 2019. 360 с.
21. Gruenfeld E. Standard Operating Procedures: A Writing Guide. University of Florida IFAS Extension, 2018. URL: <https://edis.ifas.ufl.edu> (дата звернення: 15.12.2025).
22. Dzwolak W. Assessment of HACCP plans in standardized food safety management systems – The case of small-sized Polish food businesses. *Food Control*. 2019. Vol. 106. Art. 106716. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2019.106716>.
23. Bouzembrak Y., Klüche M., Gavai A., Marvin H. J. P. Internet of Things in food safety: Literature review and a bibliometric analysis. *Trends in Food Science & Technology*. 2019. Vol. 94. P. 54–64. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.11.002>.
24. Haxhibeqiri J., De Poorter E., Moerman I., Hoebeke J. A Survey of LoRaWAN for IoT: From Technology to Application. *Sensors*. 2018. Vol. 18, Iss. 11. Art. 3995. DOI: <https://doi.org/10.3390/s18113995>.
25. Powell D. A., Erdozain S., Dodd C., Costa R., Morley K., Chapman B. J. Audits and inspections are never enough: A critique to enhance food safety. *Food Control*. 2013. Vol. 30, Iss. 2. P. 686–691. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2012.09.003>.
26. Rossi M. S., Stedefeldt E., da Cunha D. T., de Rosso V. V. Food safety knowledge, optimistic bias and risk perception among food handlers in institutional food services. *Food Control*. 2017. Vol. 73. P. 681–688. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2016.09.016>.
27. Gertz C. Fundamentals of the frying process. *European Journal of Lipid Science and Technology*. 2014. Vol. 116, Iss. 6. P. 669–674. DOI: <https://doi.org/10.1002/ejlt.201400015>.
28. Badia-Melis R., Mc Carthy U., Ruiz-Garcia L., Garcia-Hierro J., Villalba J. R. New trends in the smart packaging technologies for monitoring food quality

and safety. *Food Control*. 2018. Vol. 86. P. 77–87. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2017.11.023>.

29. Kuo Y. H. et al. A real-time hazard analysis and critical control points (HACCP) system for food service industry. *Food Control*. 2021.

30. Zourmand A., Hing A. L. K., Hung C. W., AbdulRehman M. Internet of Things (IoT) using LoRa technology. 2019 IEEE International Conference on Automatic Control and Intelligent Systems (I2CACIS). Selangor, Malaysia, 29 June 2019. P. 324–330. DOI: <https://doi.org/10.1109/I2CACIS.2019.8825008>.

31. Tian F. An agri-food supply chain traceability system for China based on RFID & blockchain technology. 2016 13th International Conference on Service Systems and Service Management (ICSSSM). Kunming, China, 24–26 June 2016. P. 1–6. DOI: <https://doi.org/10.1109/ICSSSM.2016.7538424>.