

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЛЬВІВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»

Любчик Ольга Сергіївна



УДК 637.07:637.5.04/.07

**РОЗВИТОК МЕТРОЛОГІЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЯКОСТІ ХАРЧОВОЇ
ПРОДУКЦІЇ ТВАРИННОГО ПОХОДЖЕННЯ**

05.01.02 – стандартизація, сертифікація та метрологічне забезпечення

Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Львів – 2017

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана у Національному університеті «Львівська політехніка» Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник:

доктор технічних наук, професор
Микийчук Микола Миколайович,
директор Інституту комп'ютерних
технологій, автоматики та метрології
Національного університету
«Львівська політехніка»
м. Львів

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук, професор
Васілевський Олександр
Миколайович, професор кафедри
«Метрологія та промислова
автоматика» Вінницького
національного технічного
університету
м. Вінниця

кандидат технічних наук, доцент
Сусол Наталія Ярославівна, доцент
кафедри «Харчові технології та
оздоровче харчування»
Львівського інституту економіки та
туризму
м. Львів

Захист відбудеться «12» квітня 2018 року о 14⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 35.052.21 у Національному університеті «Львівська політехніка» (79013, Львів-13, вул. С.Бандери, 28а, ауд. 713 п'ятого навчального корпусу).

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

Автореферат розісланий «7» березня 2018 р.

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



Т.З. Бубела

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Безпека харчової продукції і продовольчої сировини є однією з вирішальних складових економічної безпеки кожної держави й визначається спроможністю країни ефективно контролювати виробництво та ввезення безпечного та якісного продовольства на загальноєвропейських у світі засадах. Ця сфера діяльності у людському суспільстві має надзвичайно важливі гуманітарний, соціальний, економічний та політичний аспекти, регулювання якого доцільно здійснювати з використанням сучасних інформаційно-вимірювальних технологій.

М'ясна продукція належить до найважливіших продуктів харчування, як джерело повноцінних білків, а також жирів, мінеральних, екстрактивних речовин і деяких вітамінів. Сьогодні споживач має можливість вибирати м'ясний продукт із великого асортименту товарів з однаковими (або близькими) споживчими властивостями, що ставить його перед іншою проблемою – як серед цього асортименту обрати якісний товар з оптимальними властивостями. За умов товарного достатку споживачу необхідно надати якомога більше об'єктивної інформації, щоб він міг правильно ідентифікувати товар і купити саме той якісний продукт, який найбільшою мірою задовільнить його потреби.

Зростання конкуренції на ринку, впровадження сучасних норм із захисту прав споживачів, розвиток законодавства про відповідність продукції потребують нового підходу до процесів створення продукції гарантованої якості. Рівень якості продукції став критерієм і показником культури суспільства, економічного розвитку держави. Якість в значній мірі визначається рівнем метрологічного забезпечення виробництва, зберігання та розповсюдження харчової продукції. Метрологічне забезпечення, як основне джерело об'єктивної інформації, стає важливим елементом забезпечення довіри споживачів до якості харчової продукції.

Актуальним завданням розвитку метрологічного забезпечення якості продукції є впровадження комбінованого оцінювання якості м'ясної продукції із застосуванням оптичних та органолептичних методів, що дозволить підвищити вірогідність та оперативність ідентифікації видів та рівня якості м'ясної продукції. Реалізація такого підходу сприятиме підвищенню ефективності функціонування інформаційної системи моніторингу якості м'ясної продукції під час її продажу, дозволить оперативно впливати на процес виготовлення та розповсюдження м'яса і м'ясної продукції та забезпечить мінімізацію ризиків придбання споживачем бракованої м'ясної продукції.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Тема дисертації відповідає науковому напряму кафедри інформаційно-вимірювальних технологій Національного університету «Львівська політехніка», а саме: «Розвиток теоретичних і методичних засад нормування характеристик якості продукції і послуг та створення метрологічного забезпечення для їх вимірювання та контролю при сертифікації і її підтвердженні відповідності». Дисертація виконана в межах науково-дослідних робіт: «Розроблення та дослідження нових методів і засобів експрес-контролю характеристик якості та безпечності продукції (речовин)»

(№01107U001097), «Дослідження властивостей та показників якості процесів, матеріалів і продукції оптичними, електромагнітними (безконтактними) методами» (№0107U006223).

Мета і завдання дослідження. Метою дослідження є підвищення ефективності метрологічного забезпечення контролю якості шляхом розвитку теорії та методів комбінованої оцінки якості харчової продукції тваринного походження із застосуванням оптичних та органолептичних методів, що дозволить підвищити вірогідність ідентифікації видів та рівня якості м'ясної продукції в місцях його продажу.

Для досягнення поставленої в роботі мети необхідно було вирішити наступні завдання:

1. Систематизувати вимоги до метрологічного забезпечення оперативного контролю якості харчової продукції.

2. Створити математичну модель оптичного контролю якості продукції тваринного походження.

3. Дослідити органолептичні та оптичні властивості м'яса та розробити спосіб ідентифікації та оцінювання якості м'ясної продукції в місцях її продажу.

4. Розробити алгоритм прийняття рішення під час ідентифікації та оцінювання рівня якості в місцях її продажу.

5. Розробити алгоритми ідентифікації та оцінювання рівня якості м'яса, які будуть сумісними із сучасними інформаційними пристроями та придатними для масового застосування.

Об'єктом дослідження є якість харчової продукції тваринного походження в місцях її продажу.

Предметом дослідження є методи контролю якості харчової продукції тваринного походження.

Методи дослідження базуються на використанні основних положень системного аналізу, теорії розпізнавання образів, теорії ймовірності та математичної статистики, сучасних підходів до оцінювання якості продукції.

Наукова новизна одержаних результатів. У роботі отримані такі наукові результати:

1. Вперше запропоновано здійснювати комбіновану оцінку якості із застосуванням оптичних та органолептичних методів із використанням розробленої математичної моделі контролю різних типів м'ясної продукції за колірними параметрами, в якій, на відміну від існуючих на сьогоднішній день, аргументами є фізико-хімічні показники якості, що дозволить підвищити вірогідність ідентифікації видів та рівня якості м'ясної продукції в місцях її продажу.

2. Подальший розвиток отримав експрес-метод контролю якості м'яса, який ґрунтується на аналізованні його параметрів (R, G, B) колірних характеристик, зокрема їхніх змін від показників якості м'ясної продукції та її зберігання, а також умов (освітленості, фону тощо) реалізації методу, що дозволяє підвищити оперативність ідентифікації виду та оцінювання рівня якості м'яса а також створює умови мінімізації ризиків придбання бракованої продукції.

3. На основі аналізу результатів експериментальних досліджень виявлено не значні зміни колірних параметрів (R, G, B) м'ясної продукції від освітленості, що зменшує вимоги щодо стабільності джерела освітлення технічного засобу та встановлено закономірну залежність параметрів колірних характеристик від термінів зберігання м'яса різних типів за різних температурних умов зберігання (охолоджене, неохолоджене) лише для світлого фону.

4. Розроблено математичну модель оптичного методу контролю різних типів м'ясної продукції за колірними та структурними параметрами, яка дозволяє формалізувати задачу розпізнавання якості за цифровими зображеннями досліджуваних зразків, застосування якої сприяє підвищенню ефективності функціонування інформаційної системи моніторингу якості м'ясної продукції під час її продажу.

Практичне значення одержаних результатів.

1. Проведені експериментальні дослідження підтверджують ефективність застосування візуальних методів для оперативної ідентифікації виду та контролю рівня якості м'ясної продукції в місцях її продажу.

2. Розроблено програмний додаток для оперативного контролю якості м'яса в місцях його продажу з використанням сучасних інформаційних пристроїв (смартфони, планшети, тощо), що дозволить мінімізувати ризик споживача під час придбання неякісного м'яса.

2. Запропоновано шкалу кольорів різних видів м'ясної продукції, що створює умови раціонального застосування оперативного методу контролю якості м'ясної продукції.

3. На основі проведених статистичних досліджень м'яса створено базу даних про значення усереднених характерних ознак для різних видів м'яса за кольором.

4. Результати дисертаційної роботи мають вагоме прикладне значення та можуть бути використані у навчальному процесі кафедри «Інформаційно-вимірювальні технології» Національного університету «Львівська політехніка» для підготовки фахівців за спеціалізацією «Метрологічне забезпечення випробувань та якості продукції» і «Якість, стандартизація та сертифікація», а саме при вивченні дисциплін «Прилади та методи вимірювань в окремих галузях промисловості», «Метрологія, стандартизація та сертифікація», «Фізико-хімічні вимірювання».

Особистий внесок здобувача. У дисертації використані розробки, ідеї, результати теоретичних і практичних досліджень, що відображені в наукових працях і представлені на конференціях, у роботі яких автор брала безпосередню участь. Зокрема у друкованих працях, написаних у співавторстві, здобувачу належить: [1] – запропоновано задачі для вирішення тісного інформаційного зв'язку між якістю технологічних процесів та якістю вимірювань в процесі виготовлення харчової продукції, [2] – проведення аналізу нормативно-правового забезпечення якості харчової продукції, [3] – проаналізовано існуючі методи контролю показників якості м'ясної продукції та запропоновано шляхи оперативної ідентифікації її видів, [4] – проведення аналізу існуючих методів контролю показників якості м'ясної продукції та запропоновано шляхи оперативної ідентифікації її видів, [5] – здійснення аналізу запропонованого методу реалізації оптичного методу оперативної ідентифікації виду м'яса, [6] –

формулювання основних вимог до методів контролю якості м'ясної продукції в точках продажу, [7] – підхід до визначення узагальненого показника оперативності метрологічного забезпечення, достовірності контролю та розрахунку коефіцієнта доступності харчової продукції, [8] – визначення основних пріоритетів щодо якості та безпеки продуктів харчування, мета яких полягає в забезпеченні умов створення та споживання в Україні екологічно чистої харчової продукції, [9] – розроблення узагальненої структури вимірювального засобу для побудови засобів ідентифікації водно-спиртових розчинів, [10] – розроблення алгоритму оперативного контролю якості м'ясної продукції, [11] – розроблення математичної моделі та моделі вирішального правила для реалізації запропонованого оперативного візуального методу контролю якості м'яса. За результатами експериментів встановлено оптимальний діапазон значень освітленості та фон об'єкта дослідження.

Апробація результатів роботи. Основні теоретичні положення та результати дисертаційної роботи висвітлено і обговорено на 5 міжнародних та всеукраїнських науково-технічних конференціях і семінарах: Міжнародній науково-практичній конференції «Управління якістю в освіті та промисловості: досвід, проблеми та перспективи» (Львів, 2013); IV Всеукраїнській науково-практичній конференції молодих вчених, аспірантів та студентів за напрямком (Донецьк, 2014); XII Міжнародній конференції "Контроль і управління в складних системах" (Вінниця, 2014); 69-ій науково-технічній конференції професорсько-викладацького складу, науковців, аспірантів та студентів «Економіка, управління та філософія соціальної дії» (Одеса, 2014); II Міжнародній науково-практичній конференції «Управління якістю в освіті та промисловості: досвід, проблеми та перспективи» (Львів, 2015).

Публікації. За темою дисертаційної роботи опубліковано 11 наукових праць, серед них: 6 статей, з них 5 у наукових фахових виданнях України, 1 стаття у науковому періодичному виданні іншої держави, 5 тез доповідей на міжнародних, всеукраїнських та студентських науково-технічних та науково-практичних конференціях.

Структура та обсяг дисертації. Дисертація складається із вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних літературних джерел зі 134 найменувань та 4 додатків, містить 132 сторінки друкованого тексту, включає 32 рисунки та 41 таблицю.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність теми, сформульовано мету та основні завдання дослідження. Наведено зв'язок роботи із науковими програмами, планами, темами. Визначено наукову новизну отриманих результатів та їх практичну цінність. Представлено об'єкт, предмет та методи дослідження. Наведені дані про особистий внесок здобувача, апробацію та публікації результатів.

У першому розділі дисертації проаналізовано сучасне нормативно-правове забезпечення у сфері безпеки та якості харчової продукції з точки зору забезпечення захисту прав споживачів. Встановлено доцільність ефективності

функціонування інформаційної системи моніторингу якості м'ясної продукції під час її продажу.

Проаналізовано показники якості харчової продукції тваринного походження та виявлено, що оцінювання більшості з них із використанням існуючих методів вимірювань, які забезпечують достатню точність, неможливе через високу вартість цих методів та значний час їх виконання.

Проведено аналіз відомих методів контролю якості харчових продуктів тваринного походження, виявлено їх невідповідність сучасним вимогам, в першу чергу через їх низьку швидкість та високу вартість. Доведено доцільність підвищення вірогідності контролю якості харчової продукції тваринного походження шляхом розроблення та впровадження оперативних методів контролю в місцях продажу.

Сформульовано напрями та завдання подальших дослідження, які необхідно вирішити для вдосконалення метрологічного забезпечення якості харчової продукції тваринного походження.

У другому розділі здійснено систематизацію вимог до метрологічного забезпечення оперативного контролю якості харчової продукції, сформульовано основні вимоги до системи контролю якості м'ясної продукції та встановлено, що засоби мають забезпечувати достатній рівень достовірності інформації про рівень якості м'ясної продукції та мати низьку ціну, що сприятиме масовості їх використання. Основними вимогами до системи контролю якості м'ясної продукції визначено: оперативність, вірогідність, доступність. Застосування даних вимог для контролю м'ясної продукції дозволяє включити споживача в процес контролю, що сприятиме підвищенню відповідальності виробника за якість продукції.

Показано, що раціональним шляхом підвищення оперативності ідентифікації виду та оцінювання рівня якості м'яса є використання візуальних методів контролю. Запропоновано здійснювати комбіновану оцінку якості із застосуванням оптичних та органолептичних методів, що дозволить підвищити вірогідність ідентифікації видів та рівня якості м'ясної продукції в місцях його продажу.

Для реалізації запропонованого вище підходу до оцінювання якості м'ясної продукції було розроблено метод оперативного контролю якості м'ясної продукції, блок-схема якого зображена на рис. 1.

Проведенні в роботі дослідження дозволили обрати як основні класифікаційні ознаки різних видів м'ясної продукції: структурні елементи та колір досліджуваних зразків. Контроль структурних елементів м'ясної продукції дозволяє здійснювати оперативну ідентифікацію видів м'ясної продукції та рівня її якості. Для реалізації запропонованого комбінованого методу доцільно використовувати оптичні технічні засоби, які набули масового розповсюдження (смартфони, планшети) та мають достатньо чутливі оптичні системи.

Для реалізації оптичного методу оперативної ідентифікації виду м'яса необхідно вирішити наступні завдання:

- на основі ряду фотографій різних видів м'яса визначити характерні класифікаційні ознаки конкретного виду м'яса;

- створити оптичну математичну модель видів м'яса, яка дозволить враховувати його характерні класифікаційні ознаки (віртуальні еталони видів м'яса);

- розробити алгоритми оперативної ідентифікації, які на основі теорії розпізнавання образів дозволять із використанням вирішального правила оперативно ідентифікувати особисто споживачем вид м'яса та рівень його якості.

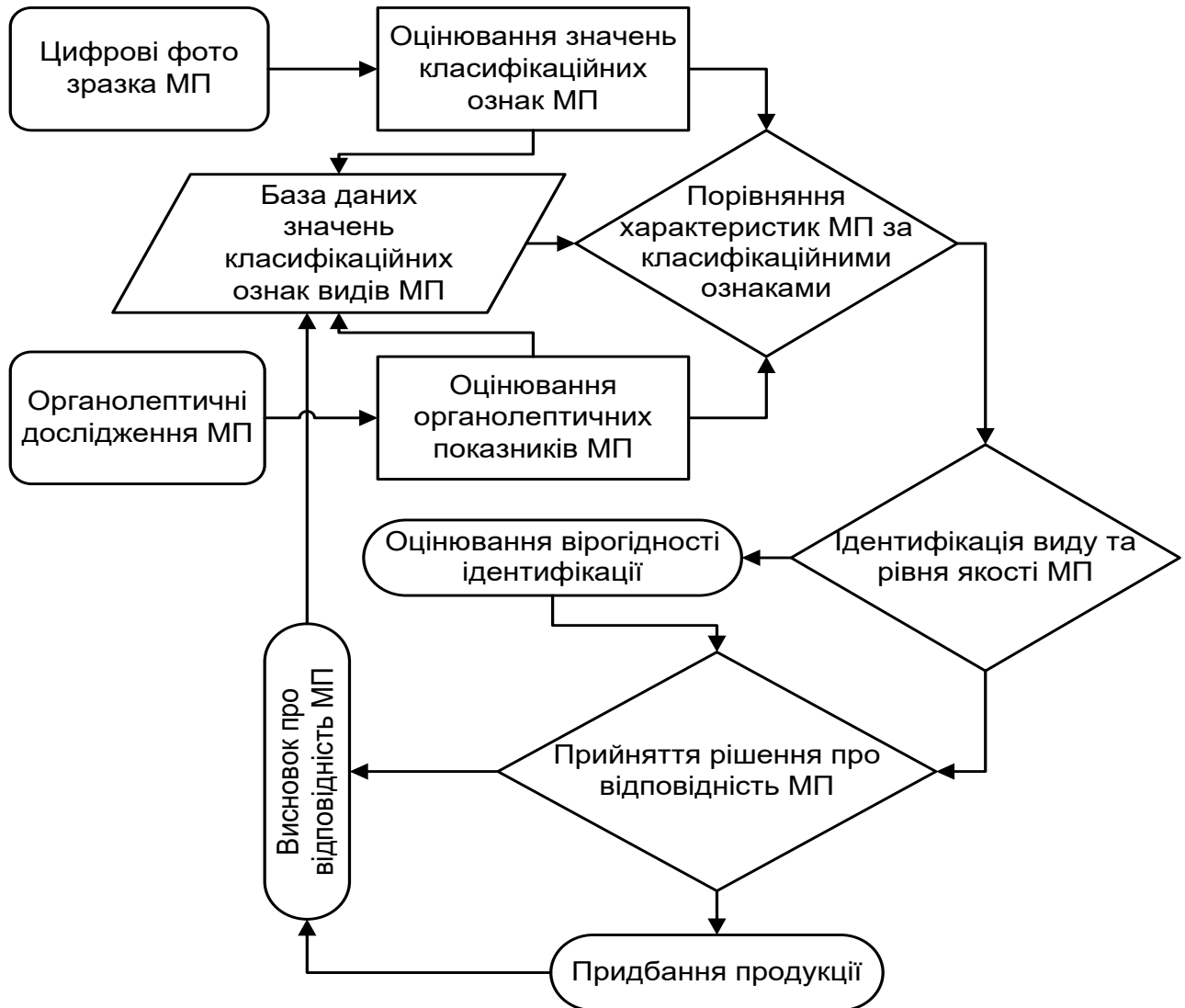


Рисунок 1 – Блок-схема методу оперативного контролю якості м'ясної продукції

Досліджено органолептичні показники якості сирого м'яса (телятини, свинини та курятини), що визначаються за допомогою органів чуття. На основі результатів експериментальних даних рекомендовано використовувати такі класифікаційні показники: кількість волокон, середній розмір волокон, колір, чіткість країв волокон. За результатами дослідження потрібно побудувати класифікатор видів м'яса, який містить базу даних зі статистичними характеристиками класифікаційних ознак м'яса.

Для підвищення вірогідності контролю якості було розроблено математичну модель оптичної ідентифікації виду та рівня м'ясної продукції.

Математична модель оптичної ідентифікації м'ясної продукції інтегрує в собі основні елементи ідентифікації м'ясної продукції та дозволяє вводити необхідні обмеження на характеристики вимірювання досліджуваного зразка.

$$S_{\text{ОПТ}} \Rightarrow \left\{ \begin{array}{l} 0 < I(x, y, \lambda) \leq I_{\text{max}} - \text{яскравість зображення} \\ x_1 \leq x \leq x_2, y_1 \leq y \leq y_2 - \text{розміри зображення} \\ L(x, y) = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} I(x, y, \lambda) \cdot s(\lambda) \cdot d\lambda - \text{зображення} \\ 350\text{нм} \leq \lambda \leq 780\text{нм} - \text{оптичний діапазон} \\ C = \int_0^1 (I - \bar{I})^2 \cdot p(I) \cdot dI = \frac{I_0 - I_\phi}{I_\phi} - \text{контрастність зображення} \\ z = \frac{\lambda}{2m \cdot \sin \varphi} - \text{роздільна здатність} \\ y_{\text{RED}} = ax^2 + bx + c - \text{показникии червоного спектру зображення} \\ y_{\text{GREEN}} = ax^2 + bx + c - \text{показник зеленого спектру зображення} \\ y_{\text{BLUE}} = ax^2 + bx + c - \text{показник синього спектру зображення} \\ R^2 - \text{коефіцієнт детермінації моделі} \end{array} \right. \quad (1)$$

де \bar{I} – усереднена яскравість зображення; $p(I)$ – функція густини ймовірності рівнів сірого; I_0 – яскравість досліджуваного зображення; I_ϕ – яскравість фону; $2m \cdot \sin \varphi$ – числова апертура оптичної системи; x^2 та x – може бути часом, ступенем освітленості, терміном зберігання – все залежить від умови поставленої задачі; a, b, c – коефіцієнт моделі, які розраховуються; R^2 – коефіцієнт детермінації моделі, який характеризує ступінь її адекватності.

Проведені дослідження показали, що використовуючи доступні на ринку оптичні системи, які сумісні з камерами смартфонів, можна досягнути роздільної здатності не менш ніж 0,2 мкм.

Очевидно, що вірогідність контролю якості м'ясної продукції визначається точністю вимірювання його оптичних характеристик. Фактично, процес вимірювання оптичною системою це вимірювання площі проекції зразка м'ясної продукції, яка зафіксована на цифровому зображенні. При вимірюванні площі проекції зразка м'ясної продукції за допомогою оптичної системи основним джерелом похибки вимірювання є похибка квантування зображення, тобто розділення безперервного зображення на дискретні області - пікселі, для яких вважається, що вони або належать до об'єкту, або не належать. Площу, яку необхідно знайти, вважають пропорційною кількості пікселів, що належать до об'єкту.

Якщо піксель належить до вимірюваного об'єкту тільки частково (через нього проходить межа об'єкту), то, у разі бінаризації зображення, піксель може бути або помилково повністю віднесений до об'єкту, тоді як до об'єкту належить тільки частина його площі (помилка першого роду), або помилково віднесений

повністю до фону, тоді як до частини його площі належить об'єкт (помилка другого роду). Оскільки передбачено тільки бінарне рішення, то $p_\alpha + p_\beta = 1$, а отже:

$$S = S_k \frac{n_0 + n_{ep} p_\alpha - n_{ep} p_\beta}{n} \quad (2)$$

де n – загальна кількість пікселів зображення; n_0 – кількість пікселів, що належать до структурного елемента на зображенні; n_{ep} – кількість пікселів, що формують контур структурного елемента об'єкта; S_k – загальна площа кадру; p_α – вірогідність помилкової ідентифікації структурного елемента об'єкту; p_β – вірогідність пропуску ідентифікації.

Оскільки відхилення для кожного граничного пікселя незалежні і мають однаковий розкид значень, то для рівномірного закону розподілу середньоквадратичне відхилення результату вимірювання доцільно визначати за виразом:

$$\sigma = \frac{\Delta}{2} \sqrt{\frac{n_{ep}}{\sqrt{3}}} \quad (3)$$

В роботі запропоновано алгоритм пошуку регресійного зв'язку між вимірними характерними ознаками м'ясної продукції та їх нормованими значеннями (рис. 2).

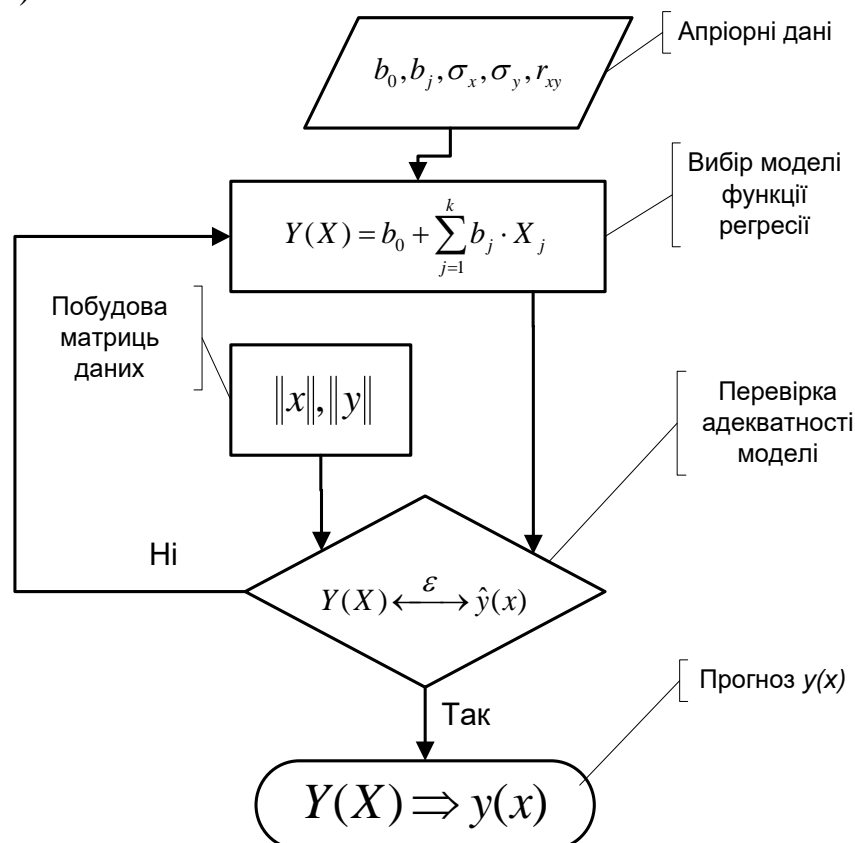


Рисунок 2 – Алгоритм пошуку регресійного зв'язку між показниками якості та технологічними параметрами

Пошук регресійного зв'язку складається із двоетапної процедури:

Перший етап – побудова (чи уточнення) регресійної моделі, яка описує функціональну залежність випадкової величини (показник якості), що досліджується, від факторів: випадкових величин, що безпосередньо вимірюються (характерними ознаками м'ясної продукції).

Другий етап – використання регресійної моделі для прогнозу значень випадкової величини – показника якості - Y , за отриманими значеннями факторів – характерні ознаки м'ясної продукції - X .

Для практичного застосування адекватною оцінкою помилки прогнозу можна використати формулу для визначення залишкової дисперсії ε_0 лінійної регресії:

$$\varepsilon_0 = \sigma_x^2(1 - r_{xy}^2) \quad (4)$$

У разі застосування для ідентифікації якості м'ясної продукції розповсюджених систем розпізнавання кольорів, які мають 256 рівнів квантування яскравості та за умови забезпечення необхідних умов освітлення та фону можна забезпечити похибку ідентифікації якості на рівні 10 %.

Запропоновані метод оперативного контролю та математична модель оптичної ідентифікації дозволяють формалізувати процес вимірювання показників якості м'ясної продукції, вводять необхідні обмеження на характеристики вимірювання та створюють необхідні умови для розвитку інструментальних методів оперативного контролю якості м'ясної продукції в місцях її продажу.

У третьому розділі проведено дослідження класифікаційних ознак для різних видів м'ясної продукції за результатами органолептичного та оптичного оцінювання якості м'ясної продукції за розробленим методом оперативного контролю.

Дослідження показників якості м'ясної продукції за кольором показали, що колір м'яса є одним із основних показників якості, що оцінюється споживачем, за яким судять про товарний вигляд продуктів, а також про деякі хімічні перетворення, які можуть відбуватися у м'ясі. Розроблено шкалу кольорів для різних видів м'яса, яка враховує зміну кольору тканин м'яса у залежності від хімічної будови фарбуючих речовин, коливається від білого (свинячий жир) до різних відтінків жовтого, жовто-коричневого, коричнево-червоного та червоного.

Підтверджено, що при збільшенні терміну зберігання діяльність мікроорганізмів може здійснити прямий вплив на колір м'яса, що є характерною ознакою погіршення його якості. В роботі представлена база шкали кольорів для певного типу м'яса, яка використовується при реалізації методу оперативного контролю.

Оскільки важливим показником для візуального контролю м'яса є його структура, то було також проведено дослідження саме цієї властивості. Для мікроскопічного дослідження відібраний матеріал м'ясопродуктів маркували і фіксували в 10 % нейтральному формаліні. Після фіксації вирізали шматочки, величиною 0,5x1 см, зневоднювали, ущільнювали. Виготовлені гістопрепарати досліджували за допомогою дзеркальної фотокамери OLYMPUS C 5050 (роздільна здатність – 4032 x 3024 пікселів, 12 Мп) та світлового мікроскопа OLYMPUS CX-41 при малому (об'єктив 10x), середньому (20x) та великому (40x) збільшеннях. В

процесі дослідження ряду фотографій було встановлено, що для забезпечення достатнього рівня чутливості оптичної системи необхідні цифрові зображення із роздільною здатністю на рівні 21 Мп.

Проведено дослідження впливу рівня освітленості зразків тваринного м'яса на його оптичні властивості, а саме дослідження оптичних (візуальних) властивостей м'яса в залежності від рівня його освітлення L та від співвідношення яскравостей фону. Рівень освітлення склав в діапазоні від 730 лк до 1850 лк. Фон – світлий тон. Зображення здійснювали камерою Apple iPhone 6s, з характеристиками: роздільна здатність – 4032 x 3024 пікселів, 12 Мп.

Об'єкт досліджень - куряче м'ясо. На кожному зразку проводили по 5 експериментів в кожній точці. Кількість точок на зразку складала 16.

Ідентифікація зображення відбувалась шляхом аналізу червоного (RED) – $R_{\text{серед}}$, зеленого (GREEN) – $G_{\text{серед}}$ та синього (BLUE) – $B_{\text{серед}}$ спектрів у отриманих фото зображеннях. З метою формування еталонної бази для визначення якості курячого м'яса було здійснено дослідження на 25 зразках, результати яких представлено у вигляді таблиць (табл. 1).

Таблиця 1 – Дослідження зразка 1 кольорних властивостей курячого м'яса

Кількість Зображень	Освітленість (Lux)	Кодування зразка											
		Точка 1			Точка 2			Точка 3			Точка 4		
		R	G	B	R	G	B	R	G	B	R	G	B
1	752	174	110	66	175	114	69	176	114	65	181	131	80
		169	108	64	181	114	71	179	122	63	179	120	64
		191	127	83	179	107	68	181	117	65	181	117	69
		180	118	77	178	103	61	181	109	61	185	121	73
2	1392	171	109	62	195	131	83	178	117	72	182	131	78
		171	107	63	190	126	80	176	113	71	180	119	65
		181	114	71	187	116	72	180	107	64	186	123	72
		187	130	87	196	123	80	177	100	56	198	132	80
3	1690	192	128	82	176	112	66	182	120	71	174	121	69
		181	117	73	175	108	66	188	122	74	183	126	73
		179	110	68	209	142	97	185	117	70	205	143	92
		193	126	83	184	109	67	183	106	62	206	140	90
4	1843	174	113	66	180	118	71	180	122	76	181	128	78
		163	99	61	171	106	64	179	112	69	183	128	74
		157	95	56	160	95	55	187	123	79	187	127	77
		168	117	78	164	99	57	160	92	47	168	110	64
5	1747	159	101	53	166	104	57	173	112	58	194	134	74
		170	109	64	183	120	69	182	111	57	193	124	67
		162	98	54	187	117	68	186	110	60	195	122	69
		199	138	91	193	116	70	188	106	56	103	132	70

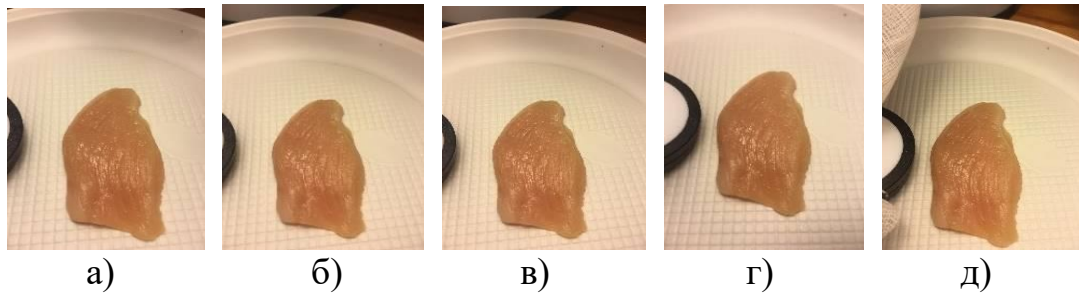


Рисунок 3 – Зображення зразка 1 при освітленості: а) 752 лк; б) 1392 лк; в) 1690 лк; г) 1843 лк; д) 1747 лк

Усереднені значення результатів представлено в таблиці 2 та графічно (рис.4).

Таблиця 2 – Усереднені результати дослідження колірних властивостей зразків курячого м'яса

Номер зображення	Освітленість (лк)	$R_{\text{серед}}$	$G_{\text{серед}}$	$B_{\text{серед}}$
1	752	179,375	115,75	68,6875
2	1392	183,4375	118,625	72,25
3	1690	187,1875	121,6875	75,1875
4	1843	172,625	111,5	67
5	1747	177,0625	115,875	64,8125

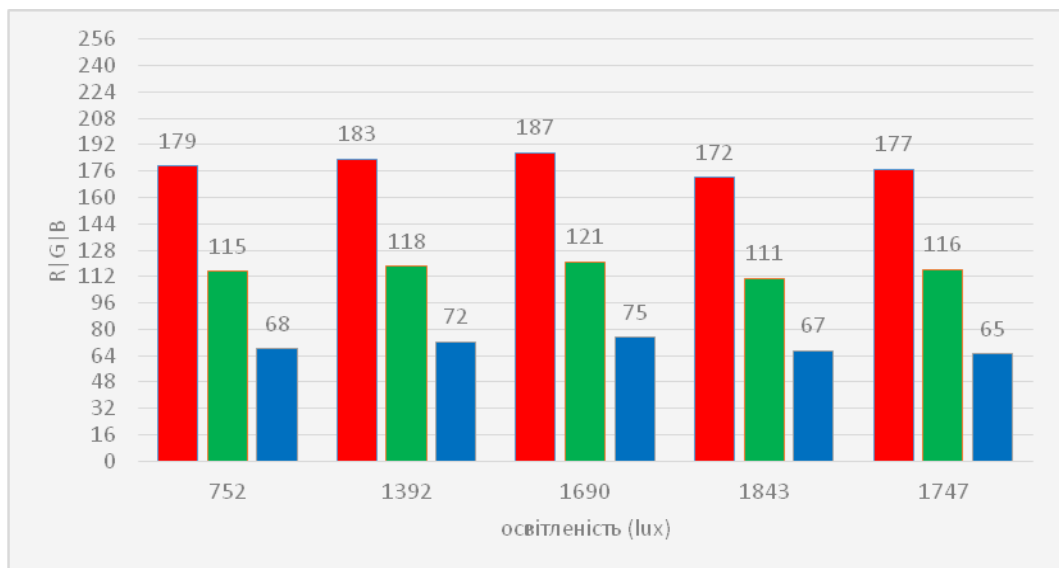


Рисунок 4 – Залежність $R_{\text{серед}}$, $G_{\text{серед}}$, $B_{\text{серед}}$ від освітленості L (лк)

Проведені експериментальні дослідження дозволили визначити числові значення для математичної моделі оптичної ідентифікації м'яса, яка представлена нижче:

$$\begin{aligned}
& 0 < I(x, y, \lambda) \leq I_{max} - \text{яскравість зображення} \\
& x_1 \leq x \leq x_2, y_1 \leq y \leq y_2 - \text{розміри зображення} \\
& L(x, y) = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} I(x, y, \lambda) \cdot s(\lambda) \cdot d\lambda - \text{зображення} \\
& 350_{нм} \leq \lambda \leq 780_{нм} - \text{оптичний діапазон} \\
& C = \int_0^1 (I - \bar{I})^2 \cdot p(I) \cdot dI = \frac{I_0 - I_\phi}{I_\phi} - \text{контрастність зображення} \\
S_{OPT} \Rightarrow & z = \frac{\lambda}{2m \cdot \sin \varphi} - \text{роздільна здатність} \\
& y_{RED} = -4,75x^2 + 22,05x + 160,75 \\
& R^2 = 0,853 \\
& y_{GREEN} = -3,25x^2 + 15,35x + 102,25 \\
& R^2 = 0,8457 \\
& y_{BLUE} = -3x^2 + 15x + 55,5 \\
& R^2 = 0,878
\end{aligned} \tag{5}$$

де \bar{I} – усереднена яскравість зображення; $p(I)$ – функція густини ймовірності рівнів сірого; I_0 – яскравість досліджуваного зображення; I_ϕ – яскравість фону; $2m \cdot \sin \varphi$ – числова апертура оптичної системи; y_{RED} , y_{GREEN} , y_{BLUE} – показники спектрів; R^2 – коефіцієнт детермінації моделі, який характеризує ступень адекватності.

Виявлено, що при освітленості $L > 1600$ лк закономірність, відображена на рис. 4 та описана моделлю (5), зникає, тому рекомендоване значення для освітленості L не повинно перевищувати 1600 лк під час реалізації запропонованого методу визначення якості м'яса.

В роботі було проведено дослідження оптичних властивостей м'яса в залежності від співвідношення яскравостей фону. Об'єкт досліджень – куряче м'ясо. Рівень освітлення змінювався в діапазоні від 540 лк до 1800 лк. Фон – темний тон. Зображення здійснювали камерою Apple iPhone 6s, з характеристиками: роздільна здатність – 4032 x 3024 пікселів, 12 Мп.

З метою формування еталонної бази для визначення якості курячого м'яса було здійснено дослідження на 25 зразках, результати яких представлено у вигляді таблиць (табл. 3).

Таблиця 3 – Дослідження зразка 1 властивостей м'яса від фону

Кількість зображень	Освітленість (Lux)	Кодування зразка											
		Точка 1			Точка 2			Точка 3			Точка 4		
		R	G	B	R	G	B	R	G	B	R	G	B
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	547	211	163	101	210	162	98	194	156	93	187	162	105
		202	152	93	204	150	90	214	161	93	175	143	82
		205	154	99	231	190	136	226	178	114	182	144	79
		199	162	109	171	131	79	159	119	68	144	128	76

Продовження таблиці 3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
2	1263	201	169	92	210	151	95	216	165	102	200	150	85
		193	138	84	224	167	112	222	167	110	203	155	89
		197	139	86	197	142	86	194	138	87	204	158	99
		196	150	98	191	143	94	187	139	90	178	147	93
3	1480	192	143	87	194	143	86	194	149	92	195	151	90
		188	138	89	203	150	96	201	145	91	200	149	86
		188	138	87	185	140	85	193	141	91	195	143	86
		170	120	90	169	127	79	167	125	77	161	133	85
4	1646	184	137	85	193	146	92	188	143	86	180	138	88
		206	164	114	217	170	124	200	145	91	196	141	85
		178	129	89	193	146	102	174	124	75	185	142	89
		178	137	93	169	126	83	146	107	64	145	126	83
5	1749	200	149	102	202	150	103	197	147	107	184	146	97
		192	138	94	200	143	98	223	162	117	187	142	90
		176	132	97	188	133	92	201	153	107	195	143	95
		228	186	151	198	146	108	165	116	75	161	128	83



а) б) в) г) д)

Рисунок 5 – Зображення зразка 1 при освітленості: а) 547 лк; б) 1263 лк; в) 1480 лк; г) 1646 лк; д) 1749 лк

Усереднені значення результатів представлено в таблиці 4 та графічно (рис. 6).

Таблиця 4 – Усереднені результати дослідження зразків властивостей м'яса від фону

Номер зображення	Освітленість (лк)	RED _{серед}	GREEN _{серед}	BLUE _{серед}
1	547	194,625	153,4375	94,6875
2	1263	200,8125	151,125	93,875
3	1480	187,1875	139,6875	87,3125
4	1646	183,25	138,8125	90,1875
5	1749	193,5625	144,625	101

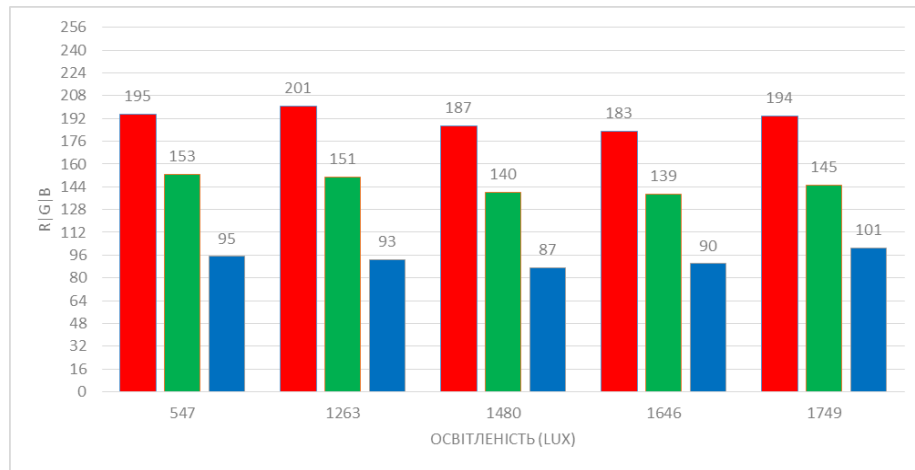


Рисунок 6 – Залежність $R_{\text{серед}}$, $G_{\text{серед}}$, $V_{\text{серед}}$ від освітленості L (лк)

Проведеними в роботі статистичними дослідженнями було встановлено, що розроблена оптична модель є адекватною в діапазоні від 730 лк до 1850 лк. За результатами дослідження впливу фону (світлий і темний) на оптичні властивості досліджуваних зразків м'ясної продукції було виявлено, що на темному фоні стабільних і закономірних результатів досягнути важко. Тому, рекомендовано реалізовувати запропонований оптичний метод на світлому тоні.

Проведено дослідження впливу терміну зберігання зразків тваринного м'яса на його оптичні властивості для різних температурних режимів. Виявлено, що абсолютні значення $R_{\text{серед}}$, $G_{\text{серед}}$, $V_{\text{серед}}$ зменшуються з часом при одному і тому самому рівні освітленості та температурі зберігання. Побудовано математичної моделі оптичної ідентифікації м'яса з врахуванням його умов зберігання (температурний режим) та терміну зберігання.

У четвертому розділі проаналізовано способи ідентифікації видів м'яса та запропоновано методику для оцінювання якості м'яса способом накладання зображень. Розроблено алгоритм візуального оцінювання якості м'яса.

Розроблено програмний додаток для смартфона фірми Apple моделі iPhone 6s, який призначений для оперативного контролю якості м'яса в місцях його продажу, що дозволяє мінімізувати ризик придбання споживачем неякісної м'ясної продукції. Практична цінність дослідження полягає у створенні програмного продукту, який пропонуватиметься для допомоги споживачу під час здійснення ситуативного вибору продукту. Споживач отримує середовище, де в покроковому режимі із використанням своїх органолептичних можливостей, керуючись підказками програми, він може оперативно оцінити якість м'ясної продукції. Після того, як споживач за допомогою програми оцінив усі органолептичні показники, програма видає результат оцінювання. В алгоритмі програми враховані всі можливі комбінації органолептичних показників. Крім цього, подальший аналіз статистики результатів користування споживачами запропонованою програмою дасть можливість виявляти фальсифікації та встановлювати ступінь свіжості м'яса.

Сформовано рекомендації для створення системи збору інформації для кіберфізичних систем моніторингу виробництва та реалізації продукції тваринного походження, а саме структуровано показники та тип інформації, що необхідна для

роботи такої кіберфізичної системи на кожному етапі, на основі опрацювання якої повинні прийматись відповідні рішення для підвищення якості м'ясої продукції.

ВИСНОВКИ

Результатом досліджень даної дисертаційної роботи є вирішення науково-технічного завдання щодо вдосконалення метрологічного забезпечення якості харчової продукції тваринного походження. Отримано такі висновки:

1. На основі порівняння міжнародного та українського законодавства у сфері безпеки та якості продукції встановлено доцільність розвитку ефективних систем метрологічного забезпечення контролю якості харчової продукції на етапі її виготовлення та реалізації, що стане вагомим інструментом мінімізації ризиків невідповідності харчової продукції як для виробника так і для споживача, що в сукупності, дозволить підвищити безпеку та конкурентоспроможність вітчизняної харчової продукції.

2. Сформульовано основні вимоги до системи контролю якості м'ясної продукції та встановлено, що засоби контролю мають забезпечувати достатній рівень вірогідності інформації про рівень якості м'ясної продукції та мати низьку ціну, що сприятиме масовості їх використання.

3. Показано, що раціональним шляхом підвищення оперативності ідентифікації виду та оцінювання рівня якості м'яса є використання візуальних методів контролю.

4. Досліджено органолептичні показники якості сирого м'яса (телятини, свинини та курятини), що визначаються за допомогою органів чуття. На основі результатів експериментальних даних рекомендовано використовувати класифікаційні показники, а саме: кількість волокон, середній розмір волокон, колір, чіткість країв волокон.

5. Розроблено математично-оптичну модель та модель вирішального правила, які дозволяють формалізувати задачу розпізнавання якості м'яса за цифровими фотографіями досліджуваних зразків.

6. Досліджено показники якості м'яса за кольором та за структурою. Проведено дослідження впливу рівня освітленості зразків тваринного м'яса на його оптичні властивості, а саме дослідження оптичних (візуальних) властивостей м'яса в залежності від рівня його освітленості та від співвідношення яскравостей фону. Рекомендовано реалізовувати запропонований метод контролю на світлому фоні об'єкта та при рівні освітленості, що не перевищуватиме 1600 лк.

7. Проведено дослідження впливу терміну зберігання зразків тваринного м'яса на його оптичні властивості для різних температурних режимів. Виявлено, що абсолютні значення $R_{\text{серед}}$, $G_{\text{серед}}$, $V_{\text{серед}}$ зменшуються з часом при одному і тому самому рівні освітленості та температурі зберігання. Побудовано математичну модель оптичної ідентифікації м'яса з врахуванням умов його зберігання (температурний режим) та терміну зберігання.

8. Розроблено програмний додаток, який дозволяє реалізувати метод оперативного контролю якості м'яса в місцях його продажу та сформовано рекомендації для створення загальної системи збору інформації для кіберфізичних

систем моніторингу виробництва та реалізації продукції тваринного походження, структуровано показники та тип інформації, яка необхідна для роботи такої кіберфізичної системи на кожному етапі, на основі опрацювання якої повинні прийматись відповідні дії, направлені на підвищення якості м'ясної продукції.

СПИСОК ОСНОВНИХ ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Любчик О.С. Перспективи розвитку метрологічного забезпечення якості харчової продукції / О.С. Любчик, М.М. Микийчук // Міжнародна науково-практична конференція «Управління якістю в освіті та промисловості: досвід, проблеми та перспективи», 22-24 травня 2013р. – Львів: НУ «ЛП», 2013. – С. 238.

2. Любчик О.С. Аналіз шляхів удосконалення методів ідентифікації видів м'яса / О.С. Любчик, М.М. Микийчук // IV Всеукраїнська науково-практичної конференції молодих вчених, аспірантів та студентів за напрямком, 7-10 квітня 2014 р. – Донецьк: ДВНЗ, 2014. – С. 40-42.

3. Любчик О.С. Комп'ютеризована база даних нормативно-правового забезпечення якості харчової продукції / О.С. Любчик, М.М. Микийчук, Т.З. Бубела // Вісник НУ «Львівська політехніка» «Комп'ютерні системи та мережі». – Львів, Вид-во НУ «ЛП», 2014. – №773. – С. 68-74.

4. Любчик О.С. Застосування теорії розпізнавання образів при контролі якості м'ясної продукції / О.С. Любчик, М.М. Микийчук // XII Міжнародній конференції «Контроль і управління в складних системах» 14-16 жовтня 2014 р. – Вінниця: ВНТУ, 2014. – С. 164.

5. Любчик О.С. Покращення системи управління метрологічного забезпечення виробництва харчової продукції / О.С. Любчик, М.М. Микийчук // 69-ій науково-технічній конференції професорсько-викладацького складу, науковців, аспірантів та студентів «Економіка, управління та філософія соціальної дії», 3-5 грудня 2014 р. – Одеса: ОНАЗ ім. О.С.Попова, 2014. – Частина IV. – С. 89-90.

6. Любчик О.С. Аналіз шляхів удосконалення методів ідентифікації видів м'яса / О.С. Любчик, М.М. Микийчук, О.В. Гонсьор // Вісник НУ «Львівська політехніка» «Вимірювальна техніка та метрологія». – Львів, 2014. – №75. – С. 63-69.

7. Любчик О.С. Аналіз сучасного стану метрологічного забезпечення якості харчової продукції / О.С. Любчик, М.М. Микийчук // II Міжнародній науково-практичній конференції «Управління якістю в освіті та промисловості: досвід, проблеми та перспективи», 28-30 травня 2015 р. – Львів: НУ «ЛП», 2015. – С. 238.

8. Любчик О.С. Аналіз основних напрямків удосконалення системи метрологічного забезпечення виробництва харчової продукції / О.С. Любчик, М.М.

Микийчук // Віснику «Національного лісотехнічного університету України». – Львів, 2015. – Вип. 25.4. – С. 167-172.

9. Lyubchyk O. Mykyjchuk Mykola, Vorobets Mariya. Development of operational quality control method for meat products / O. Lyubchyk, M. Mykyjchuk, M. Vorobets // Journal of «Food and Environment Safety», Ștefan cel Mare University. – Vol. 14. – № 2/2015. – Pp. 212-217.

10. Pokhodylo E. V. Means of identification of water-spirit solutions / E. V. Pokhodylo, V. Z. Yuzva, O. S. Lyubchyk // Redaktsiya Zhurnalu "Naukovyy Visnyk Nltu Ukrayiny". – Vol. 25.6. – 2015. – Pp. 225-229.

11. Любчик О.С. Дослідження оптичних властивостей м'яса з метою реалізації оперативного візуального методу його контролю / О.С. Любчик, М.М. Микийчук, Т.З. Бубела // Наукові доповіді Національного університету біоресурсів і природокористування України. — 2017. — № 1.

АНОТАЦІЯ

Любчик О.С. Розвиток метрологічного забезпечення якості харчової продукції тваринного походження. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.01.02 – стандартизація, сертифікація та метрологічне забезпечення. Національний університет «Львівська політехніка» Міністерства освіти і науки України, Львів, 2017.

Дисертація присвячена розвитку метрологічного забезпечення якості харчової продукції тваринного походження. М'ясо і м'ясні продукти повинні входити в щоденний раціон людини, тому важливо забезпечувати якість м'ясної продукції. Фальсифікація м'ясопродуктів не тільки впливає на зниження якості готових виробів, а також може бути фактором небезпеки для здоров'я споживачів. Методи контролю якості м'яса, які використовують на сьогодні, мають низку недоліків – вибірковість дії, дороге обладнання, велика тривалість визначення, необхідність застосування великої кількості реактивів, потреба у кваліфікованих кадрах і спеціалізованих лабораторіях. Здійснено розробку методу оперативного контролю якості м'яса якісної продукції споживачем в місцях його продажу на основі оптичних методів з використанням сучасних цифрових оптико-електронних перетворювачів, для реалізації якого досліджено умови його застосування. Здійснено дослідження на зразках курячого м'яса з метою формування еталонної бази для визначення його якості. Розроблено математичну модель оптичної ідентифікації м'яса та модель вирішального правила для прийняття рішення. Визначені основні фактори впливу під час реалізації методу, а саме: фон (контрастність зображення) та рівень освітленості досліджуваного зразка. За результатами експериментів встановлено оптимальний діапазон значень освітленості та фон об'єкту досліджень.

Ключові слова: фальсифікація м'яса, органолептичні показники м'яса, класифікаційні ознаки м'яса, оперативність контролю, система контролю якості, контрастність зображення, математична модель оптичної ідентифікації м'яса, модель вирішального правила.

ANNOTATION

Lyubchyk O.S. Development of metrological assurance of the quality of food products of animal origin. - On the rights of manuscript.

The thesis for a scientific degree of the Candidate of Technical Sciences by specialty 05.01.02 - Standardization, Certification and Metrological Assurance. Lviv Polytechnic National University, Ministry of Education and Science of Ukraine, Lviv, 2017.

Thesis is devoted to the development of metrological quality assurance of food products of animal origin. Meat and meat foods have to be included into human's everyday ration. Therefore, it is important to provide high quality of meat foods. Counterfeiting of meat foods does not only decrease the quality of ready products but also might become a dangerous factor for consumers' health. Methods of controlling meat quality, that are used nowadays, have a row of shortcomings - selectivity of action, expensive equipment, big longevity of recognition, necessity of using a lot of chemical agents, need in qualified personnel and specialized laboratories. Optical method of efficient meat quality identification is proposed in the article. The conditions of implementing it were investigated in order to bring it into action. The investigation on chicken meat samples was conducted in order to compound the standard of comparison basis for defining its quality. The mathematical model of optical meat identification and model of the defining rule for decision making were developed. The main influential factors were defined. They are as follows: background (contrast of the image) and light level of the investigated sample. Based on the results of the experiments, the optimum range of illumination values and the background of the research object were established.

Keywords: falsification of meat, organoleptic indicators of meat, classification of meat, promptness of control, quality control system, image contrast, mathematical model of optical identification of meat, model of the governing.

АННОТАЦИЯ

Любчик О.С. Развитие метрологического обеспечения качества пищевой продукции животного происхождения. - На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.01.02 - стандартизация, сертификация и метрологическое обеспечение. Национальный университет «Львівська політехніка» Министерства образования и науки Украины, Львов, 2017.

Диссертация посвящена развитию метрологического обеспечения качества пищевой продукции животного происхождения. Мясо и мясные продукты должны входить в ежедневный рацион человека, поэтому важно обеспечивать качество мясной продукции. Фальсификация мясопродуктов не только влияет на снижение качества готовых изделий, а также может быть опасным фактором для здоровья потребителей. Методы контроля качества мяса, которые используют сегодня, имеют ряд недостатков – избирательность действия, дорогостоящее оборудование, большая продолжительность определения, необходимость применения большого количества реактивов, потребность в квалифицированных кадрах и специализированных лабораториях. Осуществлено разработка метода оперативного контроля качества мяса качественной продукции потребителем в местах его продажи на основе оптических методов с использованием современных цифровых оптико-электронных преобразователей, для реализации которого исследованы условия его применения. Проведено исследование на образцах куриного мяса с целью формирования эталонной базы для определения его качества. Разработана математическая модель оптической идентификации мяса и модель решающего правила для принятия решения. Определены основные факторы влияния при реализации метода, а именно: фон (контрастность изображения) и уровень освещенности исследуемого образца. По результатам экспериментов установлен оптимальный диапазон значений освещенности и фон объекта исследований. Проведено исследование влияния срока хранения образцов животного мяса на его оптические свойства для различных температурных режимов. Обнаружено, что абсолютные значения $R_{\text{серед}}$, $G_{\text{серед}}$, $V_{\text{серед}}$ уменьшаются со временем при одном и том же уровне освещенности и температуре хранения. Построено математической модели оптической идентификации мяса с учетом его условий хранения (температурный режим) и срока хранения. Разработан программный приложение для смартфона фирмы Apple модели iPhone 6s, который предназначен для оперативного контроля качества мяса в местах его продажи, позволяет минимизировать риск приобретения потребителем некачественной мясной продукции. Сформированы рекомендации для создания системы сбора информации для киберфизичних систем мониторинга производства и реализации продукции животного происхождения, а именно структурировано показатели и тип информации, необходимой для работы такой киберфизичной системы на каждом этапе, на основе обработки которой должны приниматься соответствующие решения для повышения качества мяские ясои продукции.

Ключевые слова: фальсификация мяса, органолептические показатели мяса, классификационные признаки мяса, оперативность контроля, система контроля качества, контрастность изображения, математическая модель оптической идентификации мяса, модель решающего правила.