

# СИСТЕМАТИЗАЦІЯ ВИМОГ ДО СИСТЕМ ОПЕРАЦІЙНОГО КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ М'ЯСНОЇ ПРОДУКЦІЇ

*Ostap Kutyansky, аспірант, Юрій Рибак, аспірант,  
Національний університет «Львівська політехніка», Україна;*

*e-mail: [ostap.r.kutianskyi@lpnu.ua](mailto:ostap.r.kutianskyi@lpnu.ua),*

*e-mail: [yurii.a.rybak@lpnu.ua](mailto:yurii.a.rybak@lpnu.ua)*

## Анотація

У цій статті представлено дослідження щодо організації вимог до автоматизованих систем контролю якості м'яса. Визначено ключові показники якості - колір, текстура, мармуровість і блиск - та проаналізовано технічні і функціональні параметри, необхідні для практичної оцінки. Дослідження підкреслює інтеграцію комп'ютерного зору, обробки зображень та алгоритмів машинного навчання для підвищення об'єктивності, точності та швидкості оцінки. Запропонований підхід має на меті зменшити вплив людського фактору, уможливити моніторинг у режимі реального часу та запропонувати масштабовані рішення, придатні для великих виробників та малих підприємств.

## Ключові слова

Контроль якості м'яса, алгоритми класифікації, комп'ютерний зір, машинне навчання, аналіз зображень, оцінка текстури, оцінка мармуровості, автоматизовані системи якості

## 1. Вступ

Контроль якості м'ясної продукції є важливим аспектом сучасної харчової промисловості, зумовленим високими стандартами безпеки та необхідністю об'єктивної оцінки якісних характеристик продукції. Оскільки споживчий попит на безпечні та якісні харчові продукти продовжує зростати, важливість ефективних методів контролю стає все більш значущою. Однак традиційні методи оцінки, такі як органолептичні, фізико-хімічні та мікробіологічні аналізи [1], мають суттєві недоліки - вони є трудомісткими, дорогими та значною мірою залежать від людського фактору. Це підкреслює необхідність розробки інноваційних підходів, які б дозволили більш точно та швидко оцінювати якість м'яса.

Основна мета цього дослідження - визначити ключові характеристики якості м'яса та встановити вимоги до системи контролю. Оцінка параметрів, що безпосередньо впливають на якість продукту, таких як колір, текстура, мармуровість і блиск, має вирішальне значення. Крім того, важливо дослідити фундаментальні характеристики систем контролю якості, забезпечити точність і швидкість аналізу, мінімізувати суб'єктивні помилки та інтегрувати зібрані дані в сучасні інформаційні системи контролю якості.

Алгоритми класифікації відіграють ключову роль у розробці високоточних моделей, які оцінюють параметри м'яса з мінімальною похибкою [2]. Такий підхід не тільки підвищує ефективність контролю, але й підвищує довіру споживачів та зменшує ризик розповсюдження неякісної продукції. Оптимізувавши вимоги до системи контролю, ми можемо встановити точні критерії оцінки та значно підвищити ефективність процесів моніторингу якості м'ясної продукції.

## 2. Недоліки

Традиційні методи оцінки якості м'яса - сенсорна оцінка, фізико-хімічні тести та мікробіологічні аналізи - мають ряд обмежень. Ці підходи часто є ресурсомісткими, вимагають значних витрат часу, праці та досвіду. Крім того, вони можуть бути суб'єктивними і непослідовними через участь людини [3], що робить їх непридатними для застосування в режимі реального часу в сучасних високопродуктивних виробничих середовищах. Хоча машинне навчання і технології на основі зображень пропонують багатообіцяючі альтернативи, їх ефективність значною мірою залежить від точного вибору вхідних характеристик. Якщо використовуються нерелевантні або неадекватно визначені характеристики, моделі можуть генерувати ненадійні результати і призводити до неправильної класифікації якості. Тому успіх автоматизованих систем залежить від визначення та використання найбільш інформативних і репрезентативних параметрів для забезпечення високої точності та надійності прийняття рішень.

### 3. Мета

Метою цього дослідження є визначення ключових показників якості м'яса та вимог до автоматизованих систем контролю для підвищення точності та ефективності оцінки.

### 4. Основні характеристики систем контролю якості м'яса

Ефективна система контролю якості м'яса повинна відповідати декільком основним критеріям, щоб забезпечити її практичне застосування, точність і масштабованість. Ці характеристики включають в себе

- Швидкість обробки. Швидкий аналіз має вирішальне значення для своєчасного виявлення відхилень у якості. Оцінка в режимі реального часу запобігає потраплянню неякісної продукції до споживача і є особливо важливою на великих виробничих лініях. Сучасні технології сприяють швидкій автоматизованій оцінці без переривання робочого процесу.
- Точність. Точність вимірювань має фундаментальне значення для дотримання стандартів продукції. Мінімізація помилок за допомогою цифрових технологій, таких як спектральний аналіз, комп'ютерна оцінка та алгоритми машинного навчання, забезпечує надійну оцінку якості та підвищує безпеку харчових продуктів.
- Доступність технологій. Системи управління повинні бути адаптовані як до великих підприємств, так і до невеликих виробництв. Масштабованість і простота інтеграції в існуюче виробниче середовище роблять технологію доступною для різних секторів м'ясної промисловості.
- Зручність для користувача. Інтуїтивно зрозумілі інтерфейси та автоматизовані інструменти аналізу мають важливе значення для зменшення помилок оператора. Орієнтовані на користувача розробки, включаючи мобільні додатки та веб-платформи, дозволяють персоналу отримувати доступ до якісних даних та ефективно їх інтерпретувати.
- Адаптивність і кастомізація. Системи управління повинні підтримувати конфігурацію для різних видів м'яса (наприклад, яловичини, свинини, птиці) і специфічних вимог до продукту. Гнучкі налаштування параметрів дозволяють підприємствам пристосовувати систему до своїх операційних і регуляторних потреб.
- Відповідність нормативним вимогам. Система повинна забезпечувати відповідність місцевим та міжнародним стандартам безпеки та якості харчових продуктів (наприклад, HACCP [4], ISO 22000 [5], USDA [6]), допомагаючи бізнесу уникати штрафів та відповідати експортним вимогам.

Ці фундаментальні характеристики формують основу надійної автоматизованої системи контролю якості м'яса, здатної надавати послідовні результати в режимі реального часу, мінімізуючи участь і суб'єктивність людини.

### 5. Ключові характеристики м'ясних продуктів для оцінки якості

Ключові класифікаційні ознаки, такі як колір, текстура та мармуровість, були обрані для швидкої та точної оцінки, щоб забезпечити ефективну систему контролю якості м'яса. Ці ознаки легко інтегруються в алгоритми для послідовного контролю якості.

Колір, один з найбільш очевидних показників для візуальної оцінки свіжості та якості, має вирішальне значення для класифікації м'ясних продуктів. Яскраво-червоне або рожеве забарвлення зазвичай вказує на свіжість завдяки наявності м'язових пігментів, таких як міоглобін і гемоглобін. Зміна кольору, наприклад, потемніння внаслідок окиснення міоглобіну, вказує на хімічні або фізичні зміни [7]. Блиск поверхні також свідчить про свіжість, а природний вологий блиск вказує на високий рівень вологості. Втрата блиску свідчить про виснаження вологості, що може бути наслідком тривалого зберігання або неналежних умов транспортування. Завдяки аналізу зображень моделі машинного навчання можуть точно відрізнити свіже м'ясо від зіпсованого, забезпечуючи швидку оцінку свіжості в режимі реального часу, що зменшує суб'єктивність.

Текстура глибоко впливає на якість м'яса, суттєво впливаючи на задоволеність споживачів завдяки ніжності. Властивості текстури визначаються кількістю сполучної тканини, розташуванням м'язових волокон та рівнем внутрішньом'язового жиру [8]. Надмірна кількість сполучної тканини може зробити м'ясо жорсткішим, що знижує споживчу привабливість. Розташування м'язових волокон впливає на зернистість м'яса, а еластичність - на пружність м'яса під час приготування та споживання.

Мармуровість, невід'ємна частина текстури, включає внутрішньом'язовий жир, рівномірно розподілений між м'язовими волокнами, що покращує смак м'яса, утримуючи вологу під час приготування та збільшуючи соковитість [9]. Висока мармуровість корелює з вищою якістю м'яса, що характеризується насиченим смаком і ніжністю. Для оцінки мармуровості зазвичай використовують шкали USDA [10] та японську BMS [11], які ефективно класифікують якість м'яса. Ці системи надають чіткі критерії класифікації, які можна використовувати для навчання алгоритмів та автоматизованого контролю якості. використовуються для оцінки якості м'яса. Для класифікації ступеня мармуровості на міжнародному рівні використовуються дві загальновизнані системи: стандарт USDA та японська шкала BMS (Beef Marbling Standard). Детальний опис цих систем класифікації представлено в Таблиці 1 для USDA і Таблиці 2 для BMS [10, 11].

**Табл. 1.** Клас мармуровості за стандартом USDA

| Марка мармуру | Опис                                                           |
|---------------|----------------------------------------------------------------|
| Прайм         | Найвищий ступінь мармуровості; висока соковитість і ніжність   |
| Вибір         | Середній ступінь мармуровості; помірна соковитість і ніжність  |
| Виберіть      | Низький ступінь мармуровості; м'ясо більш пісне, менш соковите |

**Табл. 2.** Клас мармуровості за японською шкалою BMS

| Оцінка BMS | Марка мармуру | Опис                                                   |
|------------|---------------|--------------------------------------------------------|
| 8-12       | Дуже високий  | Преміальна якість, надзвичайно ніжне та соковите м'ясо |
| 5-7        | Високий       | Високий рівень ніжності та соковитості                 |
| 3-4        | Середній      | Помірний рівень ніжності та жирності                   |
| 1-2        | Низький       | Низький вміст жиру, менш ніжне м'ясо                   |

На рисунку 1 зображено Японський стандарт мармуровості яловичини, який візуально класифікує яловичину за ступенем розподілу внутрішньом'язового жиру. Шкала варіюється від № 1 (мінімальна мармуровість) до № 12 (надзвичайно висока мармуровість), причому кожен рівень представлений як схематичним поперечним перерізом, так і реальним зразком м'яса. Мармуровість стає дедалі щільнішою і більш рівномірно розподіленою зі збільшенням сорту. У нижній частині малюнка також представлені японські стандарти для кольору яловичих м'язів і жиру, які є важливими показниками в комплексній оцінці якості м'яса.

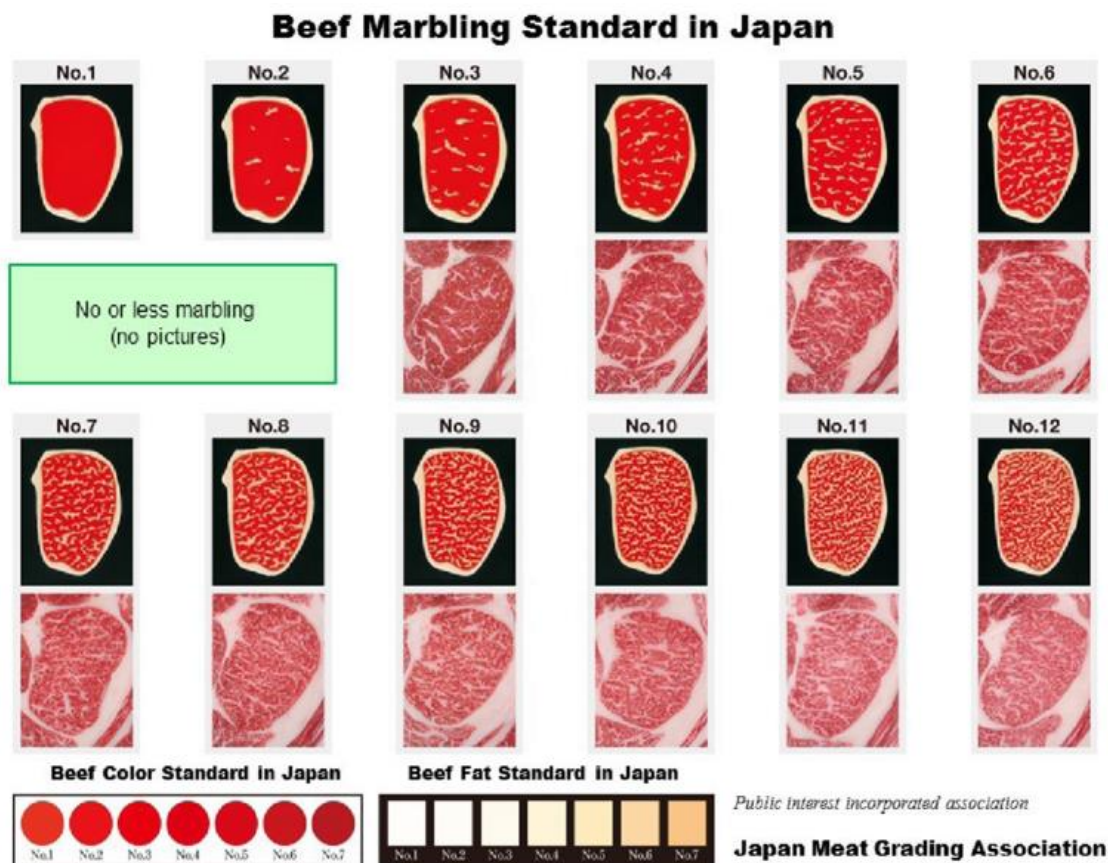


Рис 1. Стандарт мармуровості яловичини в Японії (BMS).

Ці системи класифікації необхідні для калібрування моделей автоматизованого аналізу та забезпечення відповідності міжнародним стандартам якості. Інтеграція таких класифікацій в алгоритми машинного навчання підвищує об'єктивність оцінки мармуровості та покращує процес прийняття рішень у системах контролю якості м'яса.

## 6. Технічні особливості систем контролю якості м'яса

Отримання високоякісних зображень у стандартизованих умовах є ключем до ефективних автоматизованих систем контролю якості м'яса. Це також передбачає розробку різноманітних, добре анотованих наборів даних для навчання моделей класифікації. Використання камер високої роздільної здатності, таких як системи Full HD і 4K, дозволяє детально фіксувати особливості м'ясних продуктів, включаючи мармуровість і орієнтацію м'язових волокон [2].

Умови освітлення під час зйомки - ще один важливий фактор. Непослідовне або невідповідне освітлення може спотворити сприйняття кольору м'яса, що призведе до помилкових оцінок свіжості або якості. Рівномірне, безтіньове освітлення допомагає підтримувати узгодженість вимірювань кольору для всіх зразків. Крім того, захоплення зображень з різних кутів і в різних умовах може підвищити надійність [2]. Фотографуючи м'ясні нарізки з різних точок зору (і навіть у різний час доби або при незначних змінах освітлення), система може навчитися розпізнавати ознаки якості незалежно від орієнтації або зовнішніх змін.

Не менш важливим є створення комплексних наборів даних, що містять зображення різних видів м'яса - яловичини, свинини, баранини та птиці. Оскільки кожен вид м'яса має різні відтінки кольору, структуру м'язових волокон і мармуровість, включення всіх цих категорій гарантує, що система може бути адаптована для багатовидового використання, що відповідає вимогам до систем контролю якості, які можуть бути налаштовані для різних видів м'яса. Крім того, в межах кожної категорії м'яса зображення повинні охоплювати весь спектр показників якості (наприклад, свіже і зіпсоване м'ясо або різні ступені мармуровості). Такий комплексний підхід захищає від упередженості і дає змогу класифікаційній моделі обробляти весь спектр продуктів, що зустрічаються в реальних умовах. Всі зображення повинні бути точно визначені відповідними показниками якості як істина в останній інстанції. Залежно від застосування, етикетки можуть включати категоричні рівні свіжості ("свіжий", "напів свіжий", "зіпсований"), показники мармуровості, оцінки за кольором, наявність дефектів або клас ніжності.

Алгоритми обробки зображень відіграють центральну роль у перетворенні необроблених візуальних даних в об'єктивні показники якості м'яса. Методи глибокого навчання, особливо згорткові нейронні мережі (CNN) [12], забезпечують високу точність класифікації ключових ознак, таких як мрамуровість, текстура, колір і структура м'язів. На відміну від традиційних методів, ШНМ вивчають ієрархічні ознаки безпосередньо з маркованих зображень, що робить їх більш стійкими до змін освітлення, ракурсу та типу м'яса.

Для детального аналізу алгоритми сегментації, такі як U-Net, дозволяють ідентифікувати на рівні пікселів окремі ділянки - такі як жир, м'язи та дефекти, що дає змогу точно визначити кількісні характеристики якості, такі як внутрішньом'язовий розподіл жиру [13]. Така сегментація має вирішальне значення для таких завдань, як оцінка мрамуровості та виявлення дефектів. У поєднанні з добре структурованими наборами даних і попередньою обробкою [13] ці моделі забезпечують надійні, високопродуктивні та повторювані оцінки в автоматизованих системах контролю якості м'яса.

Обробка великих обсягів даних необхідна для безперебійної роботи системи. Потужні обчислювальні платформи та оптимізовані алгоритми сприяють швидкому аналізу великих масивів даних з камер і датчиків. Штучний інтелект і методи машинного навчання автоматизують обробку результатів і виявлення аномалій в режимі реального часу, значно підвищуючи швидкість і ефективність управління.

## Висновки

Забезпечення якості м'ясних продуктів має важливе значення через зростаючі вимоги споживачів до безпечності та високих стандартів харчових продуктів. Це дослідження систематично визначило найважливіші показники якості м'яса, такі як колір, текстура, мрамуровість і блиск, які безпосередньо впливають на сприйняття споживачем і свіжість продукту. Дослідження визначило основні характеристики для автоматизованих систем контролю якості, виділивши швидкість обробки, точність, доступність технологій, зручність для користувача, адаптивність та відповідність нормативним вимогам. Інтеграція цих характеристик в автоматизовані системи сприяє отриманню послідовних, об'єктивних оцінок, що значно перевершує традиційні суб'єктивні методи. Крім того, передові технології, такі як машинне навчання і комп'ютерний зір, вимагають точного відбору ознак і стандартизованих умов візуалізації для досягнення максимальної ефективності та надійності. Враховуючи ці елементи, запропонований підхід не тільки підвищує точність і ефективність оцінки, але й забезпечує масштабованість у різних операційних масштабах - від малих підприємств до великих виробничих середовищ. Постійний розвиток і вдосконалення автоматизованих технологій обіцяє розширити можливості моніторингу, знизити операційні витрати, а також підвищити довіру і задоволеність споживачів.

## Конфлікт інтересів

Автори заявляють, що немає жодних фінансових або інших потенційних конфліктів щодо цієї роботи.

## Подяка

Автор висловлює подяку редакційній колегії журналу за допомогу.

## Список використаної літератури

- [1] I. F. Ovchinnikova, S. O. Dubinina, T. M. Letuta, M. O. Naumenko, and A. A. Dubinina, Methods for determining the falsification of goods. Kyiv: Pub.dim "Professional", 2010. [Online]. Available: [https://library.nlu.edu.ua/POLN\\_TEXT/CUL/24-Metodi%20vznachennya%20falsif%20tovariv-Dubinina.pdf](https://library.nlu.edu.ua/POLN_TEXT/CUL/24-Metodi%20vznachennya%20falsif%20tovariv-Dubinina.pdf)
- [2] Y. Shi et al., "A review on meat quality evaluation methods based on non-destructive computer vision and artificial intelligence technologies", Food Sci. Animal Resour., vol. 41, no. 4, pp. 563–588, Jul. 2021. <https://doi.org/10.5851/kosfa.2021.e25>
- [3] K. O. Honikel, "Assessment of meat quality", in Animal Biotechnology and the Quality of Meat Production. Elsevier, 1991, pp. 107–125. Accessed: Apr. 2, 2025. <https://doi.org/10.1016/b978-0-444-88930-0.50013-4>
- [4] "HACCP principles & application guidelines." U.S. Food & Drug. Accessed: Apr. 2, 2025. [Online]. Available: <https://www.fda.gov/food/hazard-analysis-critical-control-point-haccp/haccp-principles-application-guidelines>
- [5] "Food safety", in Iso 22000. United Nations, 2007, pp. 11–16. Accessed: Apr. 2, 2025. <https://doi.org/10.18356/adf67d38-en>
- [6] "U.S. Department of agriculture." Accessed: Apr. 2, 2025. [Online]. Available: <https://www.usda.gov/>

- [7] C. Ruedt, M. Gibis, and J. Weiss, “Meat color and iridescence: Origin, analysis, and approaches to modulation”, *Comprehensive Rev. Food Sci. Food Saf.*, 2023. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.13191>
- [8] R. Warner et al., “Meat tenderness: Advances in biology, biochemistry, molecular mechanisms and new technologies”, *Meat Sci.*, no. 185, 108657, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2021.108657>
- [9] W. Cheng, J.-H. Cheng, D.-W. Sun, and H. Pu, “Marbling analysis for evaluating meat quality: Methods and techniques”, *Comprehensive Rev. Food Sci. Food Saf.*, vol. 14, no. 5, pp. 523–535, Aug. 2015. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12149>
- [10] “Carcass beef grades and standards | agricultural marketing service.” Home | Agricultural Marketing Service. Accessed: Apr. 2, 2025. [Online]. Available: <https://www.ams.usda.gov/grades-standards/carcass-beef-grades-and-standards>
- [11] T. Gotoh, T. Nishimura, K. Kuchida, and H. Mannen, “The Japanese Wagyu beef industry: Current situation and future prospects — A review”, *Asian-Australas. J. Animal Sci.*, vol. 31, no. 7, pp. 933–950, Jul. 2018. <https://doi.org/10.5713/ajas.18.0333>
- [12] L. Chen, S. Li, Q. Bai, J. Yang, S. Jiang, and Y. Miao, “Review of image classification algorithms based on convolutional neural networks”, *Remote Sens.*, vol. 13, no. 22, p. 4712, Nov. 2021. <https://doi.org/10.3390/rs13224712>
- [13] N. Siddique, S. Paheding, C. P. Elkin, and V. Devabhaktuni, “U-Net and its variants for medical image segmentation: A review of theory and applications”, *IEEE Access*, vol. 9, pp. 82031–82057, 2021. <https://doi.org/10.1109/access.2021.3086020>
- [14] K. Maharana, S. Mondal, and B. Nemade, “A review: Data pre-processing and data augmentation techniques”, *Global Transitions Proc.*, Apr. 2022. <https://doi.org/10.1016/j.gltp.2022.04.020>