

Харківський національний технічний університет сільського господарства
імені Петра Василенка
Міністерство освіти і науки України

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

ЦИБУХ Андрій Володимирович

УДК 621.324:621.380

ДИСЕРТАЦІЯ
ЛАЗЕРНА ТЕХНОЛОГІЯ СОРТУВАННЯ ОВЕЦЬ ПО КОЛЬОРУ ШЕРСТІ
ПРИ ФОРМУВАННІ СТАДА

05.11.17 – біологічні та медичні прилади і системи

Подається на здобуття наукового
ступеня кандидата технічних наук

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання чужих
ідей, результатів і текстів мають посилання на відповідне джерело

_____ А. В. Цибух

Науковий керівник

Лисиченко Микола Леонідович, доктор технічних наук, професор

Харків – 2021

АНОТАЦІЯ

Цибух А. В. Лазерна технологія сортування овець по кольору шерсті при формуванні стада. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.11.17 – біологічні та медичні прилади і системи – Харківський національний технічний університет сільського господарства імені Петра Василенка. – Харків, 2021 р.

Дисертаційна робота присвячена вирішенню наукової задачі розробці неінвазивного методу дистанційного визначення кольору шерстного покриву овець, шляхом застосування напівпровідникових лазерних джерел випромінювання з довжиною хвилі випромінювання 405, 532, 650, 780 нм. Задача пов'язана з відсутністю об'єктивності у визначенні кольору шерсті овець, що призводить до суттєвих фінансових втрат при виробництві вовни в галузі вівчарства. Проведений в роботі аналіз застосування оптичних технологій заснованих на використанні лазерного випромінювання виявив їх високу ефективність у ряді технологічних процесів. Крім того, виявилось що на сьогодні визначення кольору забарвлення шерсті овець (біла, сіра) та особливо при визначенні напіввідтінків, що пов'язане із меланіновою пігментацією, відбувається завдяки суб'єктивній оцінці оператора.

Отримані такі основні наукові результати:

– вперше запропоновано метод об'єктивного визначення ступені пігментації шерсті овець, який корелює із її забарвленням, перед їх подальшим стриженням та сортуванням(селекцією) або при подальшому вирощуванні чи утриманні;

– вперше отримані теоретичні залежності дифузного відбиття оптичного випромінювання від шерстного покриву овець, які дозволяють розраховувати кількісний вміст меланіну в шерсті овець;

– отримала подальший розвиток методика діагностики зовнішнього покриву тварин за ступенем її пігментації, яка дозволила об'єктивно

визначити колір шерсті овець, що дозволяє формувати стадо тварин відповідно забарвлення шерсті;

– отримала подальший розвиток модель взаємодії монохроматичного когерентного (лазерного) оптичного випромінювання із зовнішнім покривом тварин з урахуванням забарвлення шерстного покриву і жиропоту.

Практичне значення отриманих результатів полягає в обґрунтуванні параметрів лазерної технології сортування овець по кольору шерсті за рахунок розробки і використання:

- приладу для вимірювання фізико-біологічних характеристик шерстного покриву та шкіри (патент на корисну модель №70157);
- способу визначення фізико-біологічних характеристик шерстного покриву та шкіри тварин (патент на корисну модель №71015);
- способу подачі овець на стриження з урахуванням кольору шерстного покриву перед формуванням стада (патент на корисну модель №128481);
- діючого макетного зразка приладу для неінвазивної оцінки зовнішнього покриву тварин.

Ефективність запропонованих технічних засобів для реалізації лазерної технології сортування овець за кольором шерсті підтверджена техніко економічними розрахунками, а саме рівень рентабельності виробництва вовни збільшується до 12 %, а рівень окупності додаткових капітальних вкладень не перевищує 2 роки.

Результати роботи та розроблений діючий макетний зразок приладу для дистанційного визначення кольору шерсті овець використовуються в: Державному підприємстві ДГ «Гонтарівка» Інституту тваринництва НААН України, Інституті тваринництва НААН України, приватному підприємстві «Фотоніка Плюс» (м. Черкаси), ТОВ «Промагроінжиніринг». Результати теоретичних та експериментальних досліджень використовуються при викладанні дисципліни «Технологія виробництва продукції птахівництва» на кафедрі технології тваринництва та птахівництва Харківської державної зооветеринарної академії, при викладанні дисциплін «Електротехнології та

електроосвітлення» і «Інноваційні технології на підприємствах АПВ» на кафедрі інтегрованих електротехнологій та процесів Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка.

Ключові слова: оптичне випромінювання, дифузне відбиття, джерела монохроматичного когерентного оптичного випромінювання – лазери, напівпровідникові лазери, оптичні властивості шерстного покриву, прилади для діагностики шерстного покриву, сортування овець.

ANNOTATION

Tsybukh A. V. Laser technology of sorting sheep by wool color during herd formation. – Manuscript

The dissertation for acquiring a scientific degree of the candidate of technical sciences on a specialty 05.11.17 – biological and medical devices and systems. The – Petro Vasylenko Kharkiv National Technical University of Agriculture. – Kharkiv, 2021.

The dissertation is devoted to the solution of the scientific problem of the development of a non-invasive method of remote determination of sheep wool color by application of semiconductor laser radiation sources with a radiation wavelength of 405, 532, 650, 780 *nm*. The problem is related to the lack of objectivity in determining the color of sheep's wool, which leads to significant financial losses in the production of wool in the sheep industry. The analysis of the application of optical technologies based on the use of laser radiation carried out in the work revealed their high efficiency in several technological processes. In addition, it turned out that nowadays the determination of the color of sheep wool (white, gray) and especially in the determination of halftones, which is attributable to melanin pigmentation, occurs due to the subjective assessment of the operator.

In this study, we obtained the following main scientific results:

- for the first time we propose a method of objective determination of the level of pigmentation of sheep's wool, which correlates with its color, before further shearing and sorting (selection) or during further breeding or keeping;
- for the first time we obtained theoretical dependences of diffuse reflection of optical radiation from the sheep wool, which allow to calculate the quantitative content of melanin in sheep wool;
- a method of diagnosing the outer covering of animals by the degree of its pigmentation was further developed and allowed to objectively determine the color of sheep wool, which allows to form a herd of animals in accordance with the wool color;
- the model of interaction between monochromatic coherent (laser) optical radiation and the outer covering of animals with account of the wool color and sweat was further developed.

The practical significance of the obtained results consists in substantiating the parameters of the laser technology of sorting sheep by wool color due to the development and use of:

- a device for measuring the physical and biological characteristics of the wool and skin (patent for utility model №70157);
- a method of determination of physical and biological characteristics of the wool and skin of animals (patent for utility model №71015);
- method of feeding sheep for shearing, taking into account the color of the coat before the formation of the herd (patent for utility model №128481);
- an operative prototype of the device for non-invasive assessment of the outer covering of animals.

The efficiency of the introduced technical means for the implementation of laser technology of sorting sheep by wool color is confirmed by technical and economic calculations, as follows: the level of profitability of wool production increases to 12% and the level of return on additional capital investment does not exceed 2 years.

The results of the work and the developed prototype of the device for remote determination of the wool color of sheep are used in: State Enterprise Ecploratory Agricultural Enterprise "Gontarivka" of the Institute of Livestock of NAAS of Ukraine, Institute of Animal Husbandry of NAAS of Ukraine, private enterprise "Photonics Plus" (Cherkasy), LLC "Promagroengineering". The results of theoretical and experimental research are used in teaching the "Technology of poultry production" subject at the Department of Livestock and Poultry Technology of Kharkiv State Veterinary Academy, in teaching "Electrotechnology and lighting" and "Innovative technologies at enterprises of auto reclosers" subjects at the Department of Electrical Integration and processes of the Petro Vasylenko Kharkiv National Technical University of Agriculture.

Keywords: optical radiation, diffuse reflection, sources of monochromatic coherent optical radiation - lasers, semiconductor lasers, optical properties of wool, devices for diagnosis of wool, sorting of sheep.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Публікації, які відображають основні наукові результати дисертації

1 [94] Цибух А. В. Аналіз застосування випромінювання в сільському господарстві // Вісник ХНТУСГ ім. П. Василенка. Технічні науки. “Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України” – Х.: ХНТУСГ, 2010. – Вип.101. – С. 92-100.

2 [96] Цибух А. В. Методи та засоби лазерної діагностики біологічних об’єктів і процесів // Вісник ХНТУСГ ім. П. Василенка. Технічні науки. “Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України” – Х.: ХНТУСГ, 2011. – Вип. 116. – С. 84-85.

3 [99] Цибух А. В. Схема приладу для вимірювання спектру дифузного відбиття / А. В. Цибух, М. Л. Лисиченко, Л. С. Скрипка // Вісник ХНТУСГ ім. П. Василенка. Технічні науки. “Проблеми енергозабезпечення та

енергозбереження в АПК України” – Х.: ХНТУСГ, 2012. – Вип.129. – С.51-52.

4 [106] Цибух А. В. Методи визначення оптичних властивостей біотканин / А. В. Цибух, Л. С. Скрипка // Вісник ХНТУСГ ім. П. Василенка. Технічні науки. “Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України” – Х.: ХНТУСГ, 2014. – Вип. 153. – С.88-89.

5 [163] Цибух А. В. Аналіз умов математичного моделювання розповсюдження оптичного випромінювання в біологічних об’єктах сільського господарства / А. В. Цибух, М. Л. Лисиченко // Вісник ХНТУСГ ім. П. Василенка. Технічні науки. “Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України” – Х.: ХНТУСГ, 2015. Вип.164. – С.144-147.

6 [206] Цибух А. В. Визначення вимог до електроприводу установки для сортування овець перед стриженням / А. В. Цибух, М. Л. Лисиченко, Л. С. Скрипка // Вісник ХНТУСГ ім. П. Василенка. Технічні науки. “Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України” – Х.: ХНТУСГ, 2018. – Вип.195. – С. 110-113.

7 [187] Цибух А. В. Пристрій для визначення кольору шерстного покриву тварин / А. В. Цибух, М. Л. Лисиченко // Modern Scientific Researches – №13, oktober 2020, Belarus – Minsk: Yolnat PE, 2020. – С. 56-63. Режим доступу: <https://www.modscires.pro/index.php/msr/issue/view/msr13-01/msr13-01>

8 [176] Tsybukh A. V. Color detection device of animal wool cover / A. V. Tsybukh, M. L. Lysychenko // Modern engineering and innovative technologies. – 2021. – №15-03. – P. 17-28. Режим доступу: <https://www.moderntechno.de/index.php/meit/issue/view/meit15-03/meit15-03>

9 [232] Tsybukh A. Feasibility study for the implementation of a device for sorting sheep production / A. Tsybukh, O. Kravchenko, I. Pomitun, M. Lysychenko // Technology audit and production reserves – 2021. – №3/4(59). – P. 33-40. Режим доступу: <http://journals.uran.ua/tarp/issue/view/14237>

Публікації, які додатково відображають наукові результати дисертації

10 [200] Патент на корисну модель №70157, Україна. МПК G01N 21/01 (2006.01), G01N 33/48 (2006.01) Прилад для вимірювання фізико-біологічних характеристик шерстного покриву на шкіри / А. В. Цибух, М. Л. Лисиченко, В.В. Холін (Україна) – № u 2011 14174; Заявлено 30.11.2011; Опубл. 25.05.2012. Бюл. № 10. – 6 с.

11 [214] Патент на корисну модель №71015, Україна. МПК А61В 5/00 (2012.01) Спосіб визначення фізико-біологічних характеристик шерстного покриву та шкіри тварин / А. В. Цибух, М. Л. Лисиченко (Україна) – № u 2012 01015; Заявлено 31.01.2012; Опубл. 25.06.2012. Бюл. № 12. – 6 с.

12 [207] Патент на корисну модель № 128481, Україна. МПК С14В 17/06 (2006.01). Спосіб подачі овець на стриження / А. В. Цибух, М. Л. Лисиченко (Україна) – № u 2018 00936; Заявл. 01.02.2018; Опубл. 25.09.2018. Бюл. № 18. – 3 с.

Публікації, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації

13 [187] Цибух А. В. Застосування лазерного випромінювання в методах визначення меланіну в шерсті тварин / А. В. Цибух, М. Л. Лисиченко // Матер. XXVII Межд. науч.-прак. конф. “Применение лазеров в медицине и биологии” (18-21 апреля 2007 г.) – Х.: НПМБК “Лазер и здоровье”, 2007. – С.168-169.

14 [139] Цибух А. В. Можливості застосування лазерного випромінювання для спрощення аналізу кількісних та якісних показників меланінів / А. В. Цибух, М. Л. Лисиченко // Матер. XXIX Межд. науч.-прак. конф. “Применение лазеров в медицине и биологии” (21-24 мая 2008 г.) – Х.: НПМБК “Лазер и здоровье”, 2008. – С.308-309.

15 [118] Цибух А. В. Удосконалення пристрою для визначення фізико-біологічних характеристик шерстного покриву та шкіри тварин / А. В. Цибух,

М. Л. Лисиченко // Матер. XXXVI Межд. науч.-прак. конф. “Применение лазеров в медицине и биологии” (5-8 октября 2011 г.) – Судак: НПМБК “Лазер и здоровье”, 2011. – С.163-164.

16 [119] Tsybukh A. V. Method and equipment of the optical properties diagnostics of the agricultural animals external cover / A. V. Tsybukh, N. L. Lysychenko // Матер. XXXVII Межд. науч.-прак. конф. “Применение лазеров в медицине и биологии” (23-25 мая 2012 г.) – Х.: НПМБК “Лазер и здоровье”, 2012. – С.126.

17 [148] Цибух А. В. Особливості формування спектру дифузного відбиття світла шерстиним покривом та шкірою тварин / А. В. Цибух, М. Л. Лисиченко // Матер. XXXVIII Межд. науч.-прак. конф. “Применение лазеров в медицине и биологии” (3-6 октября 2012 г.) – Ялта: НПМБК “Лазер и здоровье”, 2012. – С.145.

18 [233] Цибух А. В. Класифікація способів лазерної діагностики властивостей біологічних об’єктів / А. В. Цибух, М. Л. Лисиченко // Матер. III Міжн. наук.-прак. конф. «проблеми та перспективи розвитку енергетики, електротехнологій та автоматики в АПК» (17-18 грудня 2015 р.) – К.: НУБіП України, 2015. – С.107-108.

19 [208] Цибух А. В. Установка для сортування овець за кольором шерсті / А. В. Цибух, М. Л. Лисиченко // Матер. II Міжн. наук.-техн. конф. «Актуальні проблеми автоматики та приладобудування» (м. Харків, 6-7 грудня 2018 р.) – Х.: НТУ «ХПІ», 2018. – С.105-106.

20 [183] Tsybukh A. V. Device for determining the colour of animal coat / A. V. Tsybukh, M. L. Lysychenko // Eurasian scientific congress. Abstracts of XI international scientific and practical conference. Barca Academy Publishing (1-3 November, 2020) – Barcelona, Spain: 2020 – P.205-207. Режим доступу: <https://sci-conf.com.ua/xi-mezhdunarodnaya-nauchno-prakticheskaya-konferentsiya-eurasian-scientific-congress-1-3-noyabrya-2020-goda-barselona-ispaniya-arhiv/>

21 [214] Цибух А. В. Моделювання процесу визначення кольору шерсті овець / А. В. Цибух, М. Л. Лисиченко // Матер. VI Всеукр. наук.-практ. конф. «Електронні та механотронні системи: теорія, інновації, практика» (6 листопада 2020 р.) – Полтава: НУ «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка», 2020. – С. 108-111.

22 [215] Цибух А. В. Пристрій для визначення кольору шерстного покриву тварин / А. В. Цибух, М. Л. Лисиченко // Межд. науч. конф. «Современная научная идея – 2020» (7-8 октября 2020 г., г. Минск, Беларусь) – Минск: Едънать, 2020. – С. 9-11.

Режим доступу: <https://www.sworld.com.ua/konferbe13/progbe13.pdf>

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ.....	5
ВСТУП.....	6
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ЗСТОСУВАННЯ ОПТИЧНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ДЛЯ ДІАГНОСТИКИ БІОЛОГІЧНИХ ОБ’ЄКТІВ	
1.1 Стан і перспективи розвитку вівчарства в Україні	12
1.2 Історичні аспекти розвитку оптичних технологій в біології і ветеринарії	14
1.3 Застосування оптичних методів і технологій для діагностики біологічних об’єктів.....	17
1.4 Аналіз лазерних методів і засобів визначення оптичних властивостей біотканини.....	25
1.5 Зовнішній покрив тварин, як об’єкт оптичної діагностики.....	29
1.6 Аналіз методів математичного моделювання розповсюдження оптичного випромінювання в шерстному покриві тварин.....	32
1.7 Формування спектру дифузного відбиття шерстного покриву тварини та способи реєстрації.....	41
Висновки по розділу 1 і задачі досліджень.....	47
РОЗДІЛ 2 ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ДИСТАНЦІЙНОГО ВИЗНАЧЕННЯ КОЛЬОРУ ШЕРСТНОГО ПОКРИВУ ОВЕЦЬ	
2.1 Загальні положення теоретичних досліджень.....	49
2.2 Теоретичне обґрунтування спектрофотометричного методу визначення якості шерсті.....	52
2.3 Обґрунтування вимог до реєстратора якості шерсті овець оптичним методом.....	61

2.4 Аналіз джерел похибок при фотометричному визначенні кольору шерсті овець.....	66
2.5 Визначення статистичних оцінок при одномірній задачі спектрального визначення кольору шерсті овець	75
Висновки по розділу 2.....	84

РОЗДІЛ 3 РОЗРОБКА ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ ДІАГНОСТИКИ ОПТИЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ШЕРСТНОГО ПОКРИВУ І ШКІРИ ОВЕЦЬ

3.1 Розробка способу визначення фізико-біологічних характеристик шерстного покриву та шкіри тварин.....	86
3.2 Прилад для вимірювання фізико-біологічних характеристик шерстного покриву та шкіри.....	90
3.3 Розробка пристрою для подачі овець на стриження.....	94
3.4 Визначення зусиль в електроприводі установки для сортування овець перед стриженням	99
3.5 Розробка принципової електричної схеми приладу	104
Висновки по розділу 3.....	110

РОЗДІЛ 4 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ВПРОВАДЖЕННЯ ПРИСТРОЮ ДЛЯ СОРТУВАННЯ ПРОДУКЦІЇ ВІВЧАРСТВА

4.1 Аналіз умов проведення техніко-економічного обґрунтування в контексті розвитку галузі.....	111
4.2 Економічний аналіз галузі розрахунково-конструктивним методом	114
4.3 Результати економічного аналізу ефективності діяльності діючого сільськогосподарського підприємства.....	122
4.4 Результати розрахунку економічної ефективності запропонованого пристрою.....	124
4.5 SWOT-аналіз результатів досліджень.....	127

Висновки по розділу 4	129
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ПО РОБОТІ.....	130
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	132
ДОДАТОК А	
Ати виробничої перевірки і впровадження результатів роботи	156
ДОДАТОК Б	
Список публікацій здобувача за темою дисертації	161

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

МОЗ – міністерство охорони здоров'я

НААН – національна академія аграрних наук

ОВ – оптичне випромінювання

ОТ – оптичні технології

УФ – ультрафіолетове випромінювання

ІЧ – інфрачервоне випромінювання

БО – біологічні об'єкти

ОНД – оптично неінвазивна діагностика

ТП – теорія переносу

ЕПР –електронний парамагнітний резонанс

ПС – потік світла

ВСТУП

Актуальність роботи. Кризовий стан вівчарства обумовлений насамперед різким зниженням цін на вовну, що значно зменшило зацікавленість виробників у її виробництві. Галузь не було спрямовано на більш ефективний шлях розвитку і, як результат, її збитковості в останні роки становить 52-75 %. Собівартість вовни у сільськогосподарських підприємствах, за даними 2014 р., зросла до 29 грн при ціні реалізації – 7,1 грн/кг, а виробництво немітої вовни склало 2602 т, що менше порівняно з 2013 р. на 26 %, за середнього настригу немітої вовни 3,3 кг. За останні 20 років вівчарство перетворилося у дрібнотоварне виробництво, де 74 % поголів'я утримується у особистих господарствах. Загальна чисельність овець у сільськогосподарських підприємствах на початок 2015 р. становила 200,8 тис гол. Рівень споживання баранини становить 20 % від норми МОЗ, а потреба у вовні задовольняється лише на 5 %. У «Стратегії розвитку сільськогосподарського виробництва в Україні на період до 2025 року» відмічається, що подальший розвиток вівчарства на засадах самофінансування в сучасних економічних умовах, які не забезпечують прибуткового його ведення, поки неможливий. Аналіз фінансового стану підгалузі переконливо свідчить, що зробити її конкурентоспроможною можливо лише шляхом створення матеріально-технічної бази, здійснення заходів із збереження наявного генофонду та його удосконалення. Так, пріоритетним напрямком є створення ефективної системи селекції при умові утримання овець основного стада з певною чистотою кольору шерсті, що забезпечить максимальний прибуток у такому разі за можливість реалізувати за високу її ціну закордон.

Аналіз науково-технічної літератури показує, що сьогодні визначення кольору шерсті та смушка (білий, біло-сірий, сірий, темно сірий, ін.) овець здійснюється на основі суб'єктивної оцінки експертом. Тому, актуальними є дослідження спрямовані на розробку технічних приладів та засобів щодо

незалежного оцінювання кольору шерсті з метою усунення суб'єктивної оцінки, а саме щодо неінвазивної діагностики зовнішнього покриву тварин.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.

Основний зміст роботи становлять результати досліджень, проведені автором упродовж 2010-2020 рр. Дисертаційна робота виконувалась у відповідності до: Закону України «Про пріоритетні напрями розвитку науки і техніки», зокрема п.6 ст.7 «Новітні технології та ресурсозберігаючі технології в енергетиці, промисловості та агропромисловому комплексі», Постанови Кабінету Міністрів України №556 від 23.08.2016 р. «Перелік пріоритетних напрямків наукових досліджень і науково-технічних розробок до 2020 р.» та спрямованості тематики науково-дослідних робіт кафедри автоматизованих електромеханічних систем ХНТУСГ.

Мета і задачі дослідження. Метою дисертаційної роботи є підвищити ефективність виробництва вовни завдяки попереднього формування стада овець перед вирощуванням по кольору шерстного покриву шляхом створення приладу для визначення кольору шерсті на основі використання напівпровідникових джерел монохроматичного когерентного оптичного випромінювання (лазерів).

Для досягнення сформульованої мети необхідно вирішити наступні завдання:

- провести аналіз стану застосування оптичних електротехнологій для діагностики біологічних об'єктів в сільському господарстві, та електротехнічних приладів і систем для їх реалізації;
- провести теоретичні дослідження щодо умов дистанційного визначення кольору вовни та обґрунтувати доцільність застосування спектрофотометричного методу;
- провести моделювання процесу збору світла на поверхні приймача для визначення складових відбитого випромінювання від поверхні шерсті тварин та визначити джерело і величину похибки при вимірюванні;

- розробити метод і технічні засоби для дистанційного вимірювання кольору шерсті овець побудованих основі застосування напівпровідникових лазерів;

- провести техніко-економічне обґрунтування впровадження пристрою для сортування овець за кольором шерсті при формуванні стада.

Об'єкт дослідження – процес неінвазивної діагностики зовнішнього покриву тварин завдяки аналізу відбитого монохроматичного оптичного випромінювання від поверхні їх шерстного покриву.

Предмет дослідження – методи і технічні засоби діагностики шерстного покриву тварин.

Методи дослідження. Основні теоретичні положення дисертації базуються на методах статистичного аналізу, законах геометричної оптики для аналізу умов розповсюдження лазерного променя по поверхні шерстного покриву тварин, чисельні методи дослідження функцій на екстремум, методах математичного аналізу, метод порівняльного аналізу, абстрактно-логічний метод, емпіричний метод.

Наукова новизна отриманих результатів полягає у розв'язанні актуальної наукової задачі підвищення ефективності вирощування овець, шляхом розроблення методів і апаратури для дистанційного визначення кольору шерстного покриву тварин при формуванні стада. При цьому отримані наступні наукові результати:

- вперше запропоновано метод об'єктивного визначення степені пігментації шерсті овець, який корелює із її забарвленням, перед їх подальшим стриженням та сортуванням(селекцією) або при подальшому вирощуванні чи утриманні;

- вперше отримані теоретичні залежності дифузного відбиття оптичного випромінювання від шерстного покриву овець, які дозволяють розраховувати кількісний вміст меланіну в шерсті овець;

– отримала подальший розвиток методика діагностики зовнішнього покриву тварин за ступенем її пігментації, яка дозволила об'єктивно визначити колір шерсті овець, що дозволяє формувати стадо тварин по ;

– отримала подальший розвиток модель взаємодії монохроматичного когерентного (лазерного) оптичного випромінювання із зовнішнім покривом тварин з урахуванням забарвлення шерстного покриву і жиропоту.

Практичне значення отриманих результатів полягає в обґрунтуванні параметрів лазерної технології сортування овець по кольору шерсті за рахунок розробки і використання:

– приладу для вимірювання фізико-біологічних характеристик шерстного покриву та шкіри (патент на корисну модель №70157);

– способу визначення фізико-біологічних характеристик шерстного покриву та шкіри тварин (патент на корисну модель №71015);

– способу подачі овець на стриження з урахуванням кольору шерстного покриву перед формуванням стада (патент на корисну модель №128481);

– діючого макетного зразка приладу для неінвазивної діагностики зовнішнього покриву тварин;

Результати роботи та розроблений діючий макетний зразок приладу для дистанційного визначення кольору шерсті овець використовуються в: Державному підприємстві ДГ «Гонтарівка» Інституту тваринництва НААН України, Інституті тваринництва НААН України, приватному підприємстві «Фотоніка Плюс» (м. Черкаси), ТОВ «Промагроінжиніринг». Результати теоретичних та експериментальних досліджень використовуються при викладанні дисципліни «Технологія виробництва продукції птахівництва» на кафедрі технології тваринництва та птахівництва Харківської державної зооветеринарної академії, при викладанні дисциплін «Електротехнології та електроосвітлення» і «Інноваційні технології на підприємствах АПВ» на кафедрі інтегрованих електротехнологій та процесів Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка.

Особистий внесок здобувача. Основні положення і результати, які виносяться на захист дисертаційної роботи отримані особисто здобувачем. Серед них – виконання основного об’єму теоретичних та експериментальних досліджень, виконаних у дисертаційній роботі, включаючи розробку математичних моделей, удосконалення методу та методики діагностики зовнішнього покриву тварин за ступенем її пігментації, розробки технічних рішень щодо побудови приладів та установки для реалізації результатів теоретичних та експериментальних досліджень, узагальнення отриманих результатів та їх апробація в науковому середовищі і подальше оформлення у вигляді наукових публікацій за темою дисертації.

Апробація результатів дисертації. Основні результати досліджень доповідались та обговорювались на наступних наукових конференціях: II – й Міжнародний форум молодіжи «Молодежь и сельскохозяйственная техника в XXI веке» (Харьков, 2006 г.); Міжнародної науково-практичної конференції «Применение лазеров в медицине и биологии» (Харьков, 18-21 апреля 2007 г.; Харьков, 21-24 мая 2008 г.; Судак, 5-8 октября 2011 г.; Хельсинки, 24-29 мая 2012 г.; 24-25 мая 2013 г.); Міжнародній науково-практичній конференції «Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України» (Харків, 21-22 жовтня 2010 р.; 20-21 жовтня 2011р.; 01-02 листопада 2012 р.; 24-25 жовтня 2013р.; 06-07 листопада 2014 р.; 1-2 листопада 2018 р.); Міжнародній науково-технічній конференції «Проблеми та перспективи розвитку енергетики, електротехнологій та автоматики в АПК» (Київ, 17-18 грудня 2015 р.); Міжнародній науково-технічній конференції «Актуальні проблеми автоматики та приладобудування» (Харків, 06-07 грудня 2018 р.); Міжнародній науково-технічній конференції «Eurasian scientific congress» (Barcelona, 1-3 November, 2020); Всеукраїнській науково-технічній конференції «Електронні та механотронні системи: теорія, інновації, практика» (Полтава, 06 листопада 2020 р.); Міжнародної наукової

конференции «Современная научная идея – 2020» (Беларусь, 7-8 октября 2020 г.).

Публікації. Основний зміст дисертаційної роботи викладено в 22 наукових публікаціях, з них: 6 – у наукових фахових виданнях, 3 – у закордонних виданнях, 3 – патентах України на корисну модель, 10 – у матеріалах конференціях.

Структура та обсяг дисертації. Дисертація складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел та додатку на 5 сторінках. Загальний обсяг дисертації становить 131 сторінки тексту та списку використаних джерел, який налічує 196 найменувань на 21 сторінках. Основний текст містить – 4 таблиці, з них 1 на окремій сторінці, 36 рисунків.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ ЗАСТОСУВАННЯ ОПТИЧНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ДЛЯ ДІАГНОСТИКИ БІОЛОГІЧНИХ ОБ'ЄКТІВ

1.1 Стан та перспективи розвитку вівчарства в Україні

Галузь тваринництва, складає майже 30 % валового виробництва в аграрному комплексі економіки України, тому її розвиток залишається важливою умовою продовольчої безпеки і сталого розвитку соціально-економічного стану держави та істотним резервом валютних надходжень від експорту сільськогосподарської продукції. Ринок продукції тваринництва характеризується ціновою нестабільністю, низьким рівнем внутрішнього споживання та недостатньо розвинутою інфраструктурою. Аналіз розвитку галузі тваринництва, у порівнянні з галуззю рослинництва дає більше можливостей для розширення асортименту продукції і відповідно створення додаткової вартості на кожному етапі виробництва: відгодівля тварин – переробка сировини – логістична складова реалізації готової продукції – споживання продукції. З іншого боку, характерною рисою галузі є те, що вона функціонує у великому діапазоні – від промислового до натурального виробництва, а ринок продукції всіх видів характеризується незбалансованістю попиту і пропозиції та нерівномірністю внутрішнього споживання [1].

Однією із важливих галузей, яка забезпечує не тільки продуктами харчування, а й сировиною для легкої промисловості – є вівчарство. За останні 20 років вівчарство перетворилось у дрібнотоварне виробництво, та відповідно статистичних даних загальне поголів'я овець в Україні скоротилось за останні роки майже 10 разів і складає 743,9 тис гол. із них в індивідуальних господарствах населення 181,4 тис гол., а у сільськогосподарських підприємствах – 562,5 тис гол. Рівень виробництва баранини на душу населення становить 30 % від норми МОЗ, потреба у вовні

задовольняється лише на 10 %. За даними НААН України збитковість в останні роки сягає 72-73 %, а дефіцит баранини становить 35,1 тис т, вовни – 41,1 тис т [2].

Розроблена НААН України «Стратегія розвитку сільськогосподарського виробництва в Україні на період до 2025 р.» передбачає подолання збитковості галузі, обумовленої різким зниженням цін на вовну, що зменшило зацікавленість виробників у її виробництво. Так, собівартість виробництва вовни у сільськогосподарських підприємствах зросла до 29,0 грн/кг при ціні реалізації у 2019 р. – 7,1 грн/кг, що в першу чергу пов'язане із низкою її якістю обумовленою в тому числі чистотою кольору. Тому, передбачається поміж іншими завданнями, удосконалити породну структуру вівчарства відповідно до потреб сучасного ринку на його продукцію, збільшити чисельність поголів'я племінних овець і довести їх частку в кожній породі до 15 %. З іншого боку, необхідно забезпечити збереження генофонду аборигенних та малочисельних порід і типів овець: сокільської, української гірсько-карпатської порід та асканійського породного типу багатоплідних каракульських овець. Крім того, окремо наголошується на необхідності технічного та технологічного переоснащення галузі за рахунок сприяння удосконаленню сільськогосподарської техніки для кормоприготування, технологічного устаткування та обладнання для виробництва і переробки продукції вівчарства. В результаті реалізації «Стратегії...» очікується збільшення: поголів'я овець до 1,54 млн гол; виробництва баранини в забійній масі до 44,4 тис т; виробництва вовни до 5,4 тис т. Програмою розвитку галузі вівчарства України на період до 2030 р. є збільшення загального поголів'я овець від 743 до 2287 тис гол. у тому числі за рахунок сільгосппідприємств від 183 до 877 тис гол, вівцематок – від 478 до 1487 тис гол., вихід ягнят – від 90 до 110 гол. на 100 вівцематок, збільшити виробництво баранини від 8,5 до 30,2 тис т, вовни – від 2,3 до 8,1 тис т, молока – від 3,0 до 11,0 тис т [3].

В Україні за часи незалежності та скасування державного замовлення на вовну для потреб навчальних і військових відомств, галузь вівчарства суттєво занепала. Дослідженням питання розвитку галузі тваринництва, зокрема вівчарства, в різні роки присвячені праці ряду вчених, в яких висвітлені деталі стану та запропоновано шляхи виходу із кризи, зокрема завдяки підвищенню конкурентоспроможності в південних областях України, розширення експортного потенціалу галузі в тому числі вовни та утворенню сприятливих умов розвитку галузі [4-9].

Разом із тим потребують більш детального дослідження як сучасний стан розвитку галузі вівчарства України, так і причини її занепаду, також обґрунтування можливості покращення показників результативності та ефективності галузі за рахунок впровадження нових технологій виробництва продукції вівчарства в тому числі із застосуванням сучасних досягнень щодо формування стада тварин за ознаками кольору шерсті з метою підвищення чистоти шерсті вже на стадії вирощування тварин.

1.2 Історичні аспекти розвитку оптичних технологій в біології і ветеринарії

Історично, початок досліджень з використанням оптичного випромінювання (ОВ), на основі якого були розроблені цілий ряд оптичних технологій (ОТ) можна віднести до наукових праць Ньютона (1675), а також засновників фотометрії – Р. Bouger (1729), J. Lambert (1760), A. Beer (1852) [10-12]. Починаючи з першої половини ХІХ століття, питання використання світла для моніторингу стану біотканин з ціллю діагностики набуває стрімкого розвитку, завдяки чому був накопичений великий експериментальний досвід. Зокрема, можна згадати ендоскопічні дослідження порожнин тіла [13], у 1831 році було показано, що сонячне світло проходить крізь голову пацієнта, який хворіє гідроцифалією [14]. Пізніше можливість дослідження біотканини за допомогою оптичних систем була відмічена

Дезормо (1853р.) [15]. Наприкінці XIX століття, керуючись основами законів фотометрії, Н. Helmholtz вивчав зорове сприйняття світла і кольору людиною [16].

Перші спроби застосування ОТ в дослідженнях біотканин безпосередньо в клінічних умовах почали з'являтися на початку XX століття, керуючись основними явищами спектроскопії: поглинанням, відбиттям, розсіянням та люмінесценцією, вдалося розробити основні методи і принципи оптичної діагностики, таких як фотоплетизмографія, денситометрія та флуоресцентна спектроскопія [17-20], це відбулося, не в останню чергу, завдяки появі першого серійного спектрометра – модель "D", який дозволяв проводити спектральний аналіз речовин в ультрафіолетовій (УФ) області спектру [21].

Простий фотоелектричний колориметр G. Millikan, запропонований ним на початку 30-х років XX століття, успішно застосовувався для вивчення ОТ, з використанням методу двохвильової оптичної спектроскопії [22]. Нові важливі характеристики ОТ в інфрачервоному (ІЧ) спектрі були представлені А. П'іна наприкінці 50-х років [23]. В 1960 році Т. Матман продемонстрував перший оптичний квантовий генератор [24], що обумовило відновлення інтересу до фундаментальних досліджень оптичних характеристик органічних сполук та властивостей ОТ і широкого застосування лазерів у медицині і біології [25-32]. В першу чергу тут можна виділити дослідження направлені на вирішення проблем онкології, хірургії, фізіотерапії та офтальмології [33-35].

З розвитком лазерної техніки, а саме винаходом нових типів лазерів – He-Ne (1961), CO₂ (1962), Ar⁺ та Nd/YAG (1964), область їх застосування постійно розширювались, а методи і підходи формувалися у нові вузькоспеціалізовані напрямки у медицині, біології та сільському господарстві (рис.1.1) [32,36].

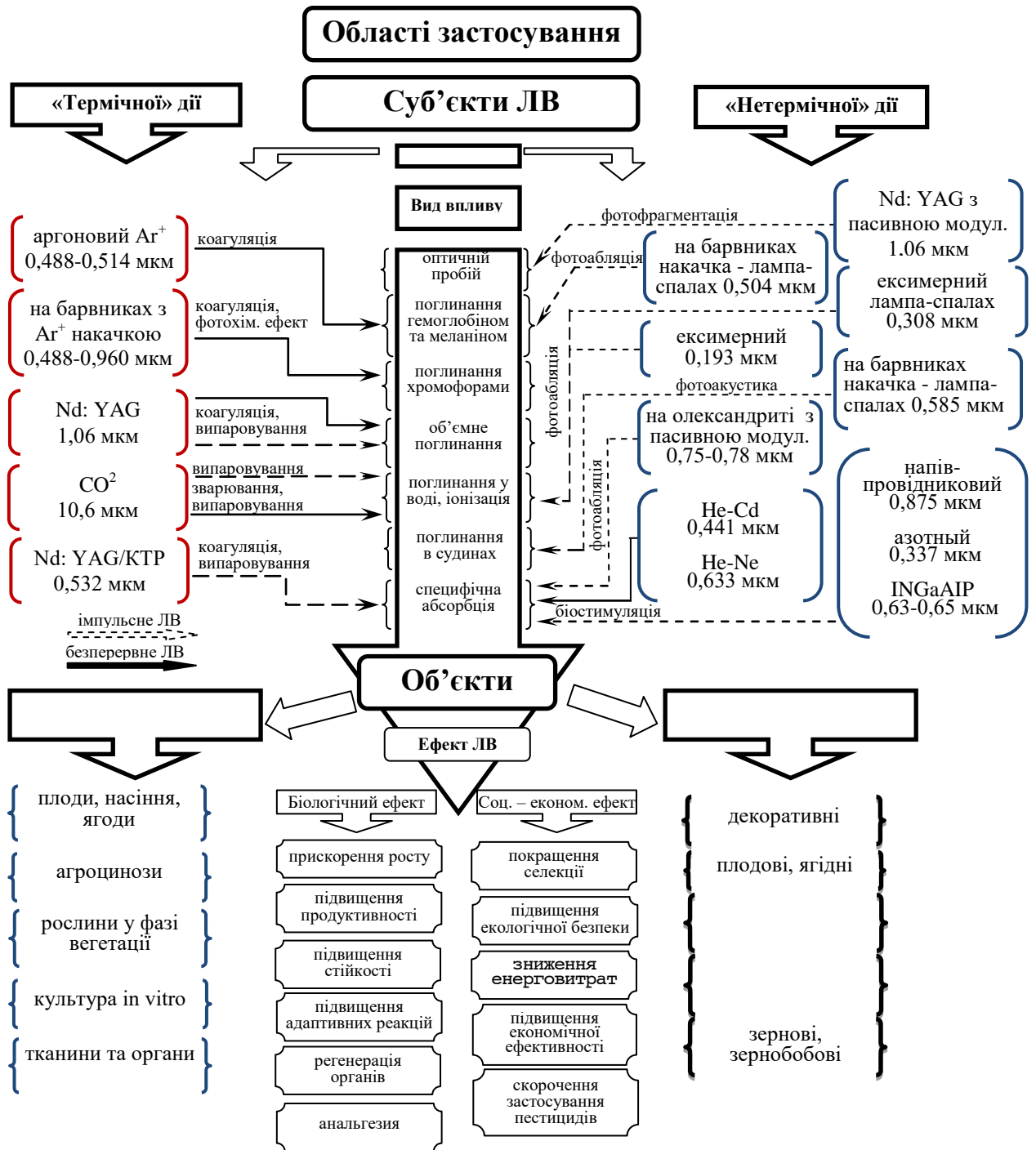


Рисунок 1.1 – Застосування лазерного випромінювання в агротехнологіях і медицині

Для здійснення лазерної обробки БО почали широко використовуватися методи лазероіндукованої термотерапії [37-39], фотодинамічної терапії [40-42], низько інтенсивної лазерної терапії [43-44]. При проведенні лазерооптичної діагностики широкого розповсюдження отримали методи

неінвазивної оксигнометрії [45-46], доплерівської флоуметрії [47-49], флюоресценції [50-52], пульсоксиметрії [53], фотоплетізографії [54], біофотометрії [55], лазерної дифузної і когерентної томографії [56-60].

З огляду цих досліджень можна зробити висновок, що різноманітні біологічні тканини володіють різними спектральними оптичними властивостями. І основним факторами, які впливають на результат дослідження є не тільки довжина хвилі, когерентність та інші фізичні характеристики оптичного випромінювання, але й індивідуальні пігментні властивості тканин, наявність або відсутність в тканинах різноманітних патологічних процесів, рівню оксигнації крові, кислотно-лужного балансу і т.д., тобто – стану тканин, органів і систем організму. Це дало привід задуматись над проблемою створення удосконаленого і багатопрофільного діагностичного приладу на основі прижиттєвого (*in vivo*) аналізу оптичних властивостей біотканин в природних умовах (*in situ*).

На даний час розроблена велика кількість методів, які дозволили ґрунтовно дослідити оптичні властивості різноманітних біотканин в ультрафіолетовій, видимій і інфрачервоній областях спектра [61-64]. Більшість з цих досліджень проводилась при дослідженні зразків біотканин в умовах *in vitro* і при цьому різнилися у методиках проведення експериментів та їх підготовки, що призвело до значних відмінностей у отриманих значень оптичних параметрів біотканин. Актуальність дослідження оптичних характеристик біотканин *in vivo* та *in situ* також обумовлена тим, що вони можуть суттєво відрізнятись від досліджень проведених *in vitro* [65].

1.3 Застосування оптичних методів і технологій для діагностики біологічних об'єктів

Дослідження фізичних процесів взаємодії ОВ з біологічними об'єктами (БО) завжди були в полі зору вчених, завдяки їх широкій інформативності та відносно простого шляху отримання та аналізу інформаційного сигналу.

Останнім часом активно розвиваються ОТ, які забезпечують контроль та активізацію фізіологічних та біохімічних процесів, які протікають в БО.

Відомий німецький вчений Е. Неринг у своїй роботі «Photonik» (2006) свідчить про те, що ХХІ століття стане століттям фотонів, а використання ОТ є необхідним кроком для удосконалення технологічних процесів у всіх сферах діяльності сучасного суспільства [66]. З іншого боку ОБ, яке генерується відповідними джерелами, підсилюється, формується до відповідного виду (когерентне випромінювання – лазер) та доставляється до місця застосування може використовуватись в якості інструмента, як засіб виробництва, елемент контролю безпеки, засіб вимірювання (рис. 1.2) [67,68].

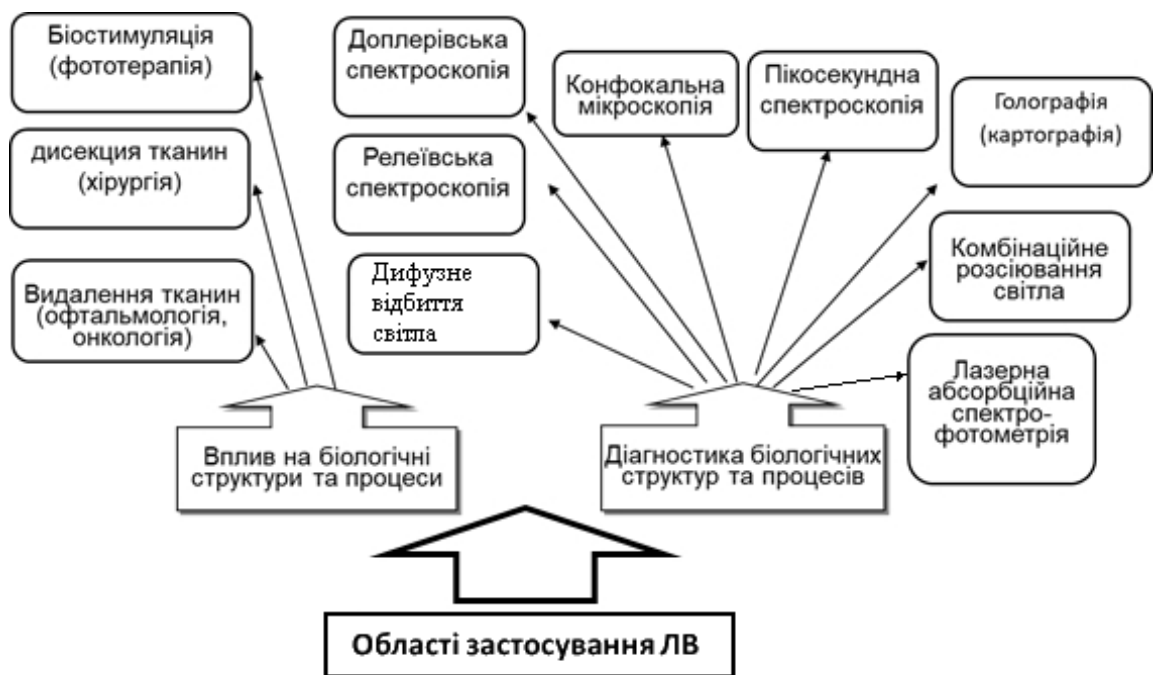


Рисунок 1.2 – Області застосування лазерного випромінювання в якості інструмента для оптичних технологій

При допомозі відповідних комбінацій фізичних ефектів дифракції, рефракції та відбиття можна інтегрувати оптичні компоненти в ефективні, компактні та надійні оптичні системи з метою розширення функціональних

параметрів дослідних установок, при малих економічних та технічних витратах. Цінність ОТ також обумовлюється можливістю їх використання у найважливіших галузях життєдіяльності людини, якими, безумовно, є медицина та сільське господарство [69].

Одною з перших і в будь який час актуальних областей застосування ОТ є оптика біотканин, як являє собою одну з областей знань, що найбільш інтенсивно розвиваються, і становлять інтерес для біологів, ветеринарів, селекціонерів та інженерів медиків, які працюють над створенням діагностичних ОТ. Визначення оптичних характеристик біотканин дає можливість отримувати об'єктивну інформацію про різні біологічні компоненти та фізичні якості і використовувати її для вивчення основних хромофорів біотканин, їх кількісного та якісного вмісту, діагностики впливу дії оточуючого середовища і т.д., як факторів, що детермінують подальший розвиток біологічного організму [70].

Досягнення в області комп'ютерних технологій, волоконній оптиці та лазерній фізики сприяли швидкому розвитку оптики біотканин в останній час. Можливість точної локальної доставки випромінювання до об'єкта дослідження і збору розсіяного об'єктом випромінювання в умовах *in vivo* та *in situ*, реалізовані за допомогою оптоволоконних приладів; наявність різноманіття вибору лазерів та систем на їх основі, які за своїми параметрам відповідають потребам лазерних технологій, включаючи біоінженерію та фотомедицину; розробка нових приладів реєстрації, які дозволяють отримувати високоточну інформацію у цифровому вигляді; досягнення в розвитку комп'ютерних технологій, які відкривають можливості не тільки проведення складного аналізу результатів експериментальних даних, але і здійснювати моделювання процесів взаємодії світла з біотканинами; врешті, неінвазивність оптичних методів діагностики, - далеко не повний перелік причин, які визначають інтерес і актуальність ОТ в сільському господарстві. Актуальність досліджень в цій площині підтверджується тим фактом, що в останні два десятиліття чітко проявляється тенденція виділення наукових

досліджень направлених на вивчення оптичних властивостей біотканин і практичних методів застосування лазерів в окремі наукові напрямки - біомедичну оптику, та підпорядковану їй оптичну неінвазивну діагностику, про що також свідчить проведення великих наукових форумів, наприклад, таких як міжнародні симпозиуми в СНГ (Molecular Photonics), Європі (Biomedical Optics Europe) та США (Photonics West) [71-77].

Переваги використання ОТ в сільському господарстві і ветеринарії безсумнівні: відсутність шкідливих іонізуючих випромінювань, оперативного втручання і медикаментозного впливу на організм тварини, майже повно відсутність протипоказань, асептичність та відносно невисока вартість, ін., що обумовлює доцільність використання ОТ для вирішення широкого кола проблем сільського господарства, таких як [76]:

- зниження продуктивності і уповільнений ріст тварин;
- низька рентабельність виробництва;
- запізниле діагностування захворювань;
- труднощі при проведенні селекції та формуванні продуктивного стада
- суб'єктивність контролю і оцінки продукції.

Для вирішення вказаних питань, в повній мірі, можуть відповідати нові медичні неінвазивні оптичні методи діагностики та терапії, які стали з'являтися за останні два десятиліття в багатьох ведучих країнах світу [72,77-79]. У центрі уваги таких методів знаходяться дослідження оптичних властивостей різноманітних біологічних тканин, як в УФ так і у видимій та ближній ІЧ області спектру ОВ [80-85]. Значна кількість нових методик та технічних засобів, які застосовувались в медицині та біоінженерії, знайшла широке застосування і в сільському господарстві [86-88].

В сучасній діагностиці біотканин широке розповсюдження отримують оптичні методи дослідження, які отримали назву “оптична біопсія”, серед яких найбільш частіше використовуються методи флуоресцентної і відбивної спектроскопії [89].

Метод флуоресцентної спектроскопії використовується в біомедицині досить давно і являється одним із самих перспективних методів діагностики біотканин. Відмітною особливістю цього методу, є те що автофлуоресценція біотканин дозволяє проводити ефективне діагностування функціонального стану всього організму, так і окремих гістологічних мікроелементів. Науковці передбачають повну реалізацію цього методу в розвитку кількісної оцінки характеристик середовища по спектрах її автофлуоресценції, яка б дала можливість не тільки визначати різноманітні патології біотканин, але й діагностувати причину їх виникнення. [56,71,72,77,90].

Однак, слід зауважити, що можливість приладної реалізації такого методу, в умовах сільського господарства є досить складною. Необхідність проведення вимірювань в ультрафіолетовій області спектру обумовлює збільшення кількості хромофорів об'єкта що вимірюється, більшість з яких не несуть корисної інформації. Крім того, інтенсивність автофлуоресценції біотканин потребує високочутливого обладнання для її реєстрації і подальшого аналізу.

Згадані вище особливості реалізації методу флуоресцентної спектроскопії в повній мірі можна віднести і до іншого добре відомого і найбільш розповсюдженого методу дослідження біотканин – методу відбивної спектроскопії [56,71,91]. Його відмінною особливістю являється те, що він дозволяє оперувати тільки одним вимірювальним параметром – коефіцієнтом дифузного відбиття біотканини. Основною задачею цього методу є виявлення взаємозв'язку між спектром дифузного відбиття, що вимірюється, і спектральними залежностями оптичних характеристик середовища, таких як коефіцієнт поглинання, показник заломлення і супутні коефіцієнти і параметри анізотропії біотканин [92].

Як у випадку з методом флуоресцентної спектроскопії, обмеженість параметрів, що вимірюються (спектр дифузного відбиття) потребує розробки адекватної фізичної моделі, для кількісного і якісного аналізу стану

біотканин. Так, відомі роботи, в яких пропонувались фізичні моделі, які дозволяли теоретично описати процес поглинання випромінювання шкірою тварин і людей [93]. Однак, досі немає моделі, яка дозволяє описати процес поглинання випромінювання шкіри з шерстним покривом, як фактору який характеризує не тільки екстер'єрні властивості тварини (наприклад відтінок смушки), але й дозволяє оцінювати продуктивність і майбутній розвиток організму [94,95].

В процесах формування спектру дифузного відбиття зовнішнього покриву тварин, приймають участь не лише хромофори шкіри, але й шерстний покрив, як фактор, врахування якого потребує розробки нового методу визначення зовнішніх характеристик тварин [96].

Як правило, метод відбивної спектроскопії застосовується для біотканин, які доступні візуальному дослідженню безпосередньо оком людини. Не дивлячись на очевидну суб'єктивність, візуальний огляд зовнішнього покриву людей і тварин застосовується досить широко і успішно використовується для діагностування хвороб і загального стану [97,98]. При цьому в центрі таких досліджень знаходиться аналіз зміни відтінку кольору шерсті і шкіри [99].

Метод цифрової візуалізації, хоча і обмежений аналізом гістограм трьох кольорів, знайшов успішне місце застосування в дерматології [100,101] і передує такому альтернативному методу дослідження біотканин, як метод спектральної візуалізації біотканин шляхом формування комп'ютерного зображення об'єкта за рахунок відмінностей, які стають видимими в різних спектральних діапазонах [102].

З метою виключення суб'єктивної оцінки сприйняття кольору біотканин у дерматології успішно застосовуються діагностичні прилади, робота яких базується на колориметричних методах вимірювання кольору шкіряного покриву, при цьому особливу увагу привертають колориметри, які дозволяють отримати приблизну інформацію про кількісний вміст основних хромофорів [103,104].

В останні роки значно збільшився інтерес до можливості отримання інформації про середовище шляхом аналізу поляризаційних характеристик розсіяного середовищем випромінювання. Так, аналіз поляризації розсіяного випромінювання в діагностиці характеристик крові дозволив збільшити точність відновлення макрофізичних параметрів еритроцитів [105].

Безпосереднє використання вищевказаних методів діагностики в в тваринництві, було вельми рідким і носило характер наукових досліджень значно дистанційовуваних від реальних умов виробництва. Залишаються недостатньо вивченими закономірності зміни оптичних властивостей зовнішнього покриву тварин диференційованих за ступенем пігментації шерсті і ступенем вираження еритеми. Практично не розроблені методи аналізу і обробки результатів діагностики зовнішнього покриву тварин, які надають необхідну фізико-біологічну інформацію. Діагностичні прилади в ОНД, частіше за все, уявляють собою не спеціалізоване обладнання, а звичайне фізичне лабораторне обладнання (мікроскопи, фотометри, ін.) (рис.1.3), яке не завжди має бажану ефективність на практиці [106].

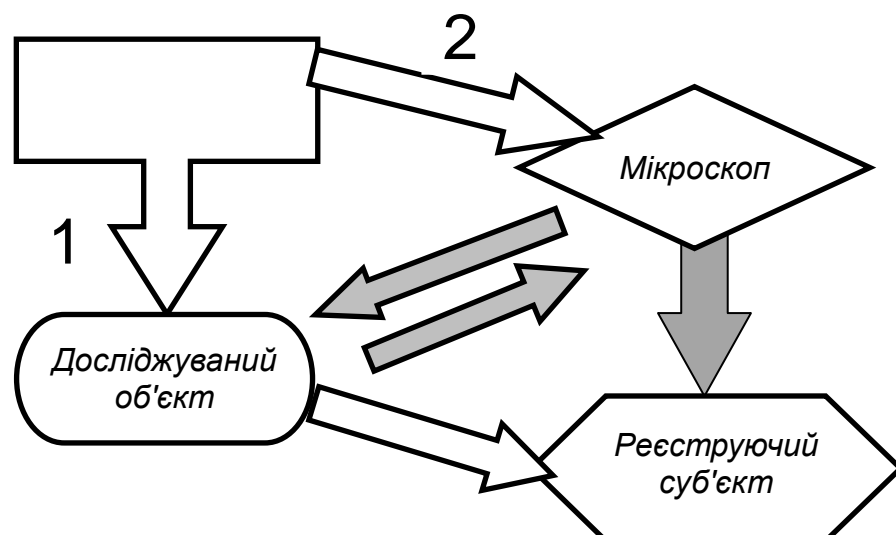


Рисунок 1.3 – Актуальні методи діагностики зовнішньо покриву:

1 – візуально оператором; 2 – з використанням мікроскопа, по фоні коркового шару шерстини

Недостатній розвиток простежується в області суто теоретичних досліджень по вивченню закономірностей розповсюдження низькоінтенсивного квазімонохроматичного і лазерного випромінювання в шерстному покриві тварин [86]. Не вирішеними є питання, які із оптичних параметрів найбільш інформативні з точки зору прикладного застосування в тваринництві. Не дивлячись на значний розвиток у області фотометричних уявлень у вигляді теорії переносу випромінювання і розсіяння у випадково-неоднорідних середовищах, однак, багато теоретичних питань по розрахунку поля випромінювання в біологічних тканих і середовищах залишаються поки без відповідей. [107-109]. Тому, наступний етап досліджень в цій області має бути пов'язаний з вирішенням теоретичних і практичних задач, а також адаптацією застосування оптично неінвазивної діагностики (ОНД) в тваринництві. Як з точки зору розвитку теоретичного обґрунтування, так і з точки зору експериментального вивчення можливостей усіх згаданих вище методів в різних областях сільського господарства і медицини та створення спеціалізованого діагностичного обладнання більш високого рівня.

Важливим елементом такого підходу повинно стати дослідження і створення нових, оптимізацію вже існуючих фізико-математичних теоретичних моделей, які дозволять отримати рішення в явному, аналітичному вигляді, враховуючи специфіку польових умов тваринництва. Це дозволило б більш детально дослідити і обґрунтувати методи і принципи практичного використання оптичного випромінювання в якості діагностичного. Дослідити інформативність різних методів реєстрації і аналізу діагностичної інформації і розробити алгоритми обробки діагностичних даних, які будуть давати вагому і необхідну для ветеринарів і селекціонерів фізико-біологічну інформацію.

Для розробки нового діагностичного приладу, на основі аналітичного обґрунтування, з вирішенням вказаних задач, можна було б перейти к етапу створення і впровадження в практичну площину багатопрофільного методу і приладу ОНД, науково-обґрунтованого не тільки по своєму функціональному

і цільовому призначенню, але й по складу всіх основних вузлів та блоків, їх конкретним технічним параметрам, програмному забезпеченню і ергономічності.

1.4 Аналіз лазерних методів і засобів визначення оптичних властивостей біотканини

Як показує аналіз сучасних тенденцій розвитку найновіших методів оптичної діагностики, терапії і впливу в сільському господарстві та медицині, в переважній більшості випадків на перше місце виходять прецензійні, складні та наукоємні технології, які мінімізують інвазивне втручання, променеві, хімічні та інші фізіологічно та психологічно небажані методи впливу на біологічні об'єкти [86-89,96,110]. Детермінуючим фактором розробки і впровадження цих методів є максимально чітке знання оптичних властивостей об'єктів діагностики або впливу і особливостей поширення світла в них. Всупереч високому рівню технічної досконалості сучасних комплексів діагностики і терапії, не рідко їх функціонування базується на методах, які були описані ще на початку 20 століття. Ці методи включають вимірювання тих або інших властивостей біотканин, наприклад, коефіцієнтів пропускання, поглинання або дифузного відбиття, з подальшим прямим або інверсним аналізом отриманих результатів дослідження (рис.1.4).

Складність БО, значна різноманітність в характері їх взаємодії з когерентним випромінюванням значною мірою обумовлює збільшення методів діагностування, що були розвинуті на протязі останніх 70 років.

Відомо, що найбільш перспективним напрямком є застосування когерентного оптичного випромінювання (лазерів) успішно застосовуються для визначення розмірів, концентрації, а також форми оптично-неоднорідних розсіювачів у середовищі біологічних рідин, тканин і розвивається у таких напрямках: - лазерна поляризаційна нефелометрія, що базується на аналізі повної матриці розсіяння для вивчення макроструктури БО: – голографія та

інтерферометрія для отримання тривимірних зображень БО; – лазерна поляриметрия, для поляризаційної селекції інформації про структурну будову біотканин або отримання зображень оптично-анізотропних самоподібних макронеоднорідностей біотканин [74,75, 230].



Рисунок 1.4 – Існуючі методи діагностики БО і процесів

В медицині набули розвитку фізичні методи дослідження біотканин з використанням методик кореляційної оптики, які дозволяють отримувати об'єктивні дані динаміки посмертних змін досліджуваних тканин організму та більш точно визначати часовий проміжок, що пройшов із моменту настання смерті людини [76]. Так, використання методу лазерної дифрактометрії дозволило визначити ранні прояви ендогенної інтоксикації хворих з деструктивним панкреатитом. Поява токсинопродукції у штамів *S.diphtheriae* після впливу низько інтенсивного лазерного випромінювання є перспективним для покращення діагностики та лікуванні дифтерійної інфекції [77].

Крім того, певні продукти метаболізму можуть бути вирізненні за допомогою флуоресцентної лазерної діагностики не тільки кількісно але й за

своєю функцією.

Тобто, можливо розпізнавати дефекти в мітохондріальному дихальному ланцюзі керуючись зміною флуоресцентного сигналу пов'язаного із зміною редоксального стану [78].

Впровадження лазерних технологій сприяло розробці нових методів стоматологічної діагностики. Наприклад, можна відзначити наукову роботу німецьких вчених по розробці оптичного детектора для вияву у зубній емалі хворобливих бактерій ще до початку розвитку карієсу [73]. Конфокальна лазерна скануюча мікроскопія набула значення сполучної ланки між дерматоскопією та гістологією, що дозволяє отримувати горизонтальні розрізи *in vivo* крізь шари епідермісу з високою квазі-гістологічною роздільною здатністю і добрим контрастом [79].

Ефекти когерентної доплерівської флоуметрії успішно використовуються при визначенні швидкості потоку крові в судинах ясен в залежності від різних факторів впливу, таких як жувальний тиск, холод чи тепло [86]. Методи лазерної спектроінтерферометрії для вимірювання зміщень, деформацій, вібрацій, визначення форми та якості дифузних об'єктів використовуються для вирішення задач медичної діагностики стану організму по біоспектрам шкіри [81].

Вказані методи (рис.1.4) можна умовно поділити за місцем (умовами) проведення (*in vitro*, *in vivo*, *in situ*), а також по способу, яким визначаються оптичні властивості об'єкта (прямі або не прямі) [77,93].

Вивчаючи ці методи можна помітити чітку кореляцію між застосуванням прямих методів діагностики, в яких лежать ґрунтовні поняття і закони (наприклад закон Ламберта – Бургера-Бера) і місцем проведення цих досліджень – *in vitro*. Недоліком таких методів є складнощі пов'язані з екстраполяцією результатів досліджень у відсутності інформації про біохімічні процеси, які проходять в біологічній тканині [58,65], а також неможливість їх застосування в польових умовах *in situ* [96].

Крім того, при дослідженні біотканин *in vitro* важливу роль можуть

відігравати ускладнення пов'язані з приготуванням дослідного зразка.

Також, слід пам'ятати про незворотні зміни які відбуваються з тканиною після її сепарації, так наприклад, втрачається можливість вимірювання степені оксигенації об'єкта [111].

Непрямі методи насамперед обумовлюють вирішення зворотної задачі розсіювання в умовах *in vivo* або *in situ*. При цьому використовуються теоретична модель (наприклад дифузне наближення розповсюдження світла в середовищі з визначенням властивостей розсіювання [112], поглинання світла або авто-, флуоресценції середовища, що базується на вимірюванні спектрів дифузно-відбитого світла або світла, яке пройшло крізь середовище, з подальшим математичним розрахунком результатів вимірювання [93,112].

Вказані методи займають особливе місце серед сучасних оптичних методів вимірювання властивостей БО завдяки можливості реєстрації інформації про квалітативний і кількісний склад хромофорів, їх просторовий розподіл, що дозволяє оцінювати фенотип, структуру біотканини, кількість і стан кров'яних судів [96].

Переваги методів діагностики біотканин *in vivo* та *in situ* проявили себе з перших спроб вимірювання спектрального складу зворотного дифузно розсіяного тканиною випромінювання і флуоресценції [113,114] і, завдяки розвитку комп'ютерних і нанотехнологій, увійшли в XXI сторіччя, як найпопулярніші та найпоширеніші способи дослідження біотканин. Безперечним доказом цього, є широке застосування цих методів в дерматології, які дають можливість вивчення біофізики шкіри, степні почервоніння еритеми та степені пігментації шкіри, моніторингу змін шкіри підчас лікування дерматологічних захворювань, ін. [89,112-127], а також надають перспективи застосування в селекції у тваринництві і ветеринарії [94]. В цих дослідженнях практично відсутні роботи, в яких враховуються степінь пігментації волосяного (шерстного) покриву шкіри, як фактору який би міг значно вплинути на результати діагностики або фототерапії [96].

З точки зору загального огляду сучасних методів і підходів оптичної

біомедичної діагностики біологічних тканин можна чітко окреслити методи які набули значення традиційних і загально вживаних, до таких можна віднести: спектроскопію розсіяння, флуоресцентну спектроскопію і спектрофотометрію [89,93], але подальший розвиток цих методів потребує більш адаптованих до практичних умов моделей біотканин, які б, зокрема, враховували сукупність факторів природного перебування БО [118].

1.5 Зовнішній покрив тварин, як об'єкт оптичної діагностики

Зовнішній покрив тварин (шерсть і шкіра) представляє собою важливу в функціональному сенсі систему, яка захищає організм тварини від зовнішніх механічних і хімічних впливів, висушування, проникнення патогенних мікроорганізмів, і є одним із основних факторів які визначають фенотипічну дисперсію організму [119,120]. Забарвлення, колір і відтінок, контрастність і степінь посвітління волосу належать до одних із найважливіших показників якості зовнішнього покриву тварин, якими оперують не тільки при оцінювання якості с/г продукції і при веденні селекції тварин але й при діагностиці стану організму тварини, її майбутньої продуктивності і життєздатності [121]. Усі вказані показники, в першу чергу, залежать від степені пігментації шерсті і шкіри, а саме від кількісних та якісних показників вмісту пігменту (меланіну), його просторового розподілу.

Не дивлячись на значну кількість наукових робіт присвячених фенотипічним ознакам зовнішнього покриву тварин задачу об'єктивної і оперативної діагностики показників степені пігментації шерсті і шкіри ще далеко не можна рахувати вирішеною [86,122-127].

Особливі труднощі виникають при бонітуванні у вівчарстві при вирощуванні, утримуванні і селекції каракульових порід овець. Варіативність комбінацій червоного, жовтого і коричневого відтінків, на фоні різноманітних тонів глибоких слоїв шерсті, а також відтінку шкіри, обумовлюють суттєві складнощі при оцінці типу окрасу овець. Відомо, що чорний окрас шерсті

обумовлений пігментом еумеланіном, яскраво рудий – феомеланіном, а переважна більшість інших (проміжних) відтінків окрасу формується поєднанням еу- та феумеланіна з урахуванням степені пігментації шкіри і степені почервоніння еритеми.

Існує багато окрас, відтінків, забарвлень і степені вираження окрасу, наприклад – «темно-золотистий інтенсивний бухарський сур» (згідно В.С. Жилияковой) або «афганська біла» з позначенням аллелотипу окрасу – $(D)(D)(O)(O)KK(B)(B)(G)(G)(We)(We)Ph(Ph)$ (згідно Б.Н. Васину), що вказує на невирішеність проблем об'єктивного оцінювання показників зовнішнього покриття тварин у вівчарстві.

Для аналізу кольору, окрім традиційних хімічних методів існують і інші [128]. В наукових роботах згадується про застосування електронного мікроскопу для розрізнення феомеланіну і еумеланіну по виду гранул пігмента [95,129], приведені фізичні данні найменшої видимої одиниці меланіну – центру полімеризації на білкових волокнах меланосоми, які об'єднуються у групи, діаметром 30-50 нм [130].

В 70-х роках минулого століття з'явилися дані дослідників про можливість об'єктивної оцінки типу меланіну, з допомогою використання спектрометрії електронного парамагнітного резонансу (ЕПР) [131-133]. Однак, ці методики ні в якому разі не забезпечують високої продуктивності праці, необхідної для проведення масових досліджень.

Пігментація шерсті та шкіри – результат складних процесів, які протікають не тільки на біохімічному і цитофізіологічному рівні, але й на рівні міжтканинних взаємодій. Пігмент утворюється в спеціалізованих клітинах меланоцитах, які мігрують у різні ділянки шкіри. Меланоцити у волосяному фолікулі розташовуються навколо верхньої частини сосочка луковиці по епітельну сторону базальної мембрани і контактують один з одним і з камбіальними клітинами [134]. Зерно меланіна – продукт розвитку спеціалізованої клітинної органели меланосоми, в склад якої входять молекула ферменту тирозинеза і білкова основа з ниток або пластин,

розташованих концентрично або спірально [135]. За даними досліджень зовнішнього покриву мишей – феомеланін має максимум поглинання в більш довгохвильовій області (1308 *нм*), ніж єумеланін (376 *нм*), крім того феумеланін має меншу електронно-оптичну проникність, а також приведені випадки коли колір гранул меланіну в серцевині шерстини відрізняється від такого в корі [136]. Шляхом спектрофотометрії лужних розчинів меланіну, з шерсті коричневих ягнят, окрасу «Камбар», каракульової породи встановили, що цей пігмент відноситься до феомеланінів [137]. За свідченнями інших досліджень феомеланін має різко виражену вибірковість у поглинанні довгохвильового відрізка спектра, тобто червоно-жовті промені феомеланіном поглинаються в суттєво меншій степені, ніж єумеланіном, тоді як сині промені поглинаються цими пігментами майже в однаковій степені [128].

Наукові роботи направлені на вивчення просторової організації пігменту в шерсті вказують на залежність інтенсивності окрасу від концентрації та рівномірності його розподілу в об'ємі зовнішнього покриву. Так, наприклад, світлий колір шерсті багатий меланіном, який зібраний у поодинокі крупні глибки, пов'язують з тим, що між скупченнями меланіну присутні більш світлі прозорі ділянки, крізь які проходить багато світла [138].

З метою вивчення вмісту меланіну в процентах від ваги шерсті каракульових ягнят застосовували його виділення з шерсті шляхом її кип'ятіння на протязі трьох годин в гарячій хлороводневій кислоті . При цьому шерсть руйнувалась, а більш стійкий до кислоти меланін зберігався у вигляді суспензії, яку легко сублімувати за допомогою методу вакуумного фільтрування через фільтр Шотта і зважити. Недоліком такого методу, окрім руйнування шерсті є те, що не тільки меланін, але й сама шерсть, яка гідролізується не повністю, вносить свій вклад у вагу осадку у фільтрі [128,136]. Над вирішенням цих труднощів проводили дослідження автори наукових робіт вивчаючи паралельно вміст меланіну в шерсті, оцінюючи у овець і свиней з різною окрасою процент клітин з різною кількістю

меланінових зерен і різну величину ЕПР - сигналу шерсті. Чим темніша окрашена шерсть, тим загалом вище відсоток клітин волосу з більшим числом зерен меланіну і тим сильніший ЕПР – сигнал шерсті [138]. В цих роботах висунуто ідею про принципову можливість використання оцінки вмісту меланіну в шерсті за допомогою ЕПР- спектроскопії. Подальший розвиток застосування цього методу можна побачити в науковій роботі К. Д. Очилова (1985), коло задач якої включало з'ясування можливостей ЕПР- спектроскопії, не тільки в кількісному, але й в якісному аналізі меланінів шерсті каракульових ягнят, а також дослідженні меланосом в коріннях ягнят різного окрасу та забарвлення і виявлення стійких відмінностей меланосом із зразків шерсті, віднесених до феомеланінових зразків, від таких, віднесених до еумеланінових [129].

З розвитком нових технологій і розгляду питань пов'язаних з застосуванням лазерного випромінювання в сільському господарстві виникла необхідність враховувати оптичні характеристики зовнішнього покриву тварин та розробити на його основі технічні пристрої для застосування в умовах сільськогосподарського виробництва [139].

1.6 Аналіз методів математичного моделювання розповсюдження оптичного випромінювання в шерстному покриві тварин

Важливим фактором для побудови сучасних діагностичних електротехнічних комплексів, розробки методів визначення необхідних технічних параметрів складових частин пристроїв та ефективних практичних методик діагностики, є загальні теоретичні моделі розповсюдження оптичного випромінювання в біологічних тканинах і середовищах.

Для створення кваліфікованого методу обробки діагностичних даних, прогнозування результатів експерименту, визначення різноманіття параметрів розповсюдження випромінювання в середовищі, та особливостей його спектрального і просторового розподілення по інтенсивності, необхідно

проводити теоретичний аналіз, моделювання – шляхом застосування математичного апарату фізичної фотометрії і світлотехніки. Такі теоретичні методи дослідження лежать в основі кожного сучасного розділу оптичної неінвазивної діагностики [71,72] і є одним з необхідних кроків на шляху створення діагностичних електротехнічних комплексів для вивчення оптичних властивостей біотканин [77,78, 140-145].

Зовнішній покрив тварин, які і інші подібні йому біологічні об'єкти, характеризується складною клітинною макроструктурою [120,146], що обумовлює міждисциплінарний підхід і широке коло методів математичного моделювання процесів і явищ, які проходять в таких середовищах під дією оптичного випромінювання [112,145]. Відбиття, заломлення, розсіяння і поглинання є основними ефектами, які виникають при взаємодії електромагнітного випромінювання з БО і якими оперують в теоретичних апаратах діагностичної оптики.

Відношення між процесами відбиття і заломлення виражаються загально відомими формулами Френеля, які були сформульовані ще у ХІХ столітті, та після математичного узагальнювання відношень амплітуд електричних полів падаючого, відбитого і заломленого світла, записуються наступним чином [143]:

$$\frac{E_p''}{E_p} = \frac{2\sin\theta''\cos\theta}{\sin(\theta+\theta'')\cos(\theta-\theta'')} \quad (1.1)$$

де E_p та E_p'' – амплітуди векторів електричних полів, паралельних площі падіння.

У випадку нормального падіння випромінювання з повітря на поверхню біотканини показник заломлення на границі середовища повітря – біотканина визначається за формулою [147]:

$$r = 1 + \frac{4N_{re}}{(N_{re}+1)^2 + N_{im}^2} \quad (1.2)$$

де N_{im} та N_{re} – уявна та дійсна частини показника заломлення середовища.

Вимушене коливання, як результат не співпадіння частоти хвилі оптичного випромінювання і частоти коливання частинок речовини характеризує розсіяння і розглядається як основне джерело дисперсії. [112,143].

Розсіяння поділяють на гнучке і жорстке. Негнучке розсіяння, при якому змінюється енергія фотону під час процесу розсіювання, доцільно враховувати при використанні інтенсивного оптичного випромінювання. Тут, при взаємодії електромагнітної хвилі з біотканинами потрібно брати до уваги розсіяння Бріллюєна, яке може бути апраскимовано розглянуто як оптичний ефект Доплера [112]. Необхідність застосування високотехнологічного, складного обладнання для забезпечення реєстрації таких видів розсіяння, виключає його застосування в польових умовах сільського господарства, і тому не розглядається в даній дисертаційній роботі.

Гнучке розсіяння, в першу чергу характеризується так званим релеївським розсіюванням [74]. Відповідно висновку з закону Релея розсіювання зворотно пропорційне четвертій степені довжини хвилі і характеризується відношенням між розсіяною інтенсивністю і показником заломлення [112]:

$$I_s(\theta) \sim \frac{1 + \cos^2 \theta}{\lambda^4}, \quad (1.3)$$

де θ – кут розсіювання вперед.

Беручи до уваги те, що у даній роботі не розглядається повністю прозорі, або близькі до них, середовища (наприклад роговиця, кришталік ока [72]), поглинання – є основним ефектом, який характеризує перешкоджання вільному розповсюдженню світла. Серед біологічних тканин макроструктурні елементи зовнішнього покриву тварин можна віднести до

непрозорих середовищ, в яких падаюче випромінювання сильно, або практично повністю поглинається [86].

Селективне поглинання, є одним із найвагоміших факторів, який характеризує колір для спостерігача, і обумовлює відтінок зовнішнього покриву тварини [95,148].

За відправну точку при моделюванні процесу поглинання речовиною електромагнітного випромінювання традиційно беруть закон Ламберта-Бера, який описує послаблення паралельного монохроматичного пучка світла, при його розповсюдженні в поглинаючому середовищі [149]:

$$I(l) = I_0 e^{-k_\lambda l} \quad (1.4)$$

де I_0 – інтенсивність вхідного пучка, l – товщина слою речовини, через яку проходить світло;

k_λ – показник поглинання, який характеризує особливості речовини і залежить від довжини хвилі λ світла, яке поглинається.

Усі вище перераховані явища описують тільки окремі випадки і є певною ідеалізацією процесів, які відбуваються при взаємодії світла з середовищем. Так, вважається що у більшості біологічних тканин явища розсіяння і поглинання проявляються одночасно і тоді такі середовища називають непрозорими (мутними) середовищами, що у свою чергу описується сумою коефіцієнтів поглинання μ_a і розсіювання μ_s [28,112].

Розглянувши взаємодію світла з зовнішнім покривом тварини у вигляді спрощеної моделі (рис.1.5) можна зробити висновок, що для математичного моделювання сукупності таких явищ потрібно вирішувати більш складну комплексну задачу з приведенням різних наближень.

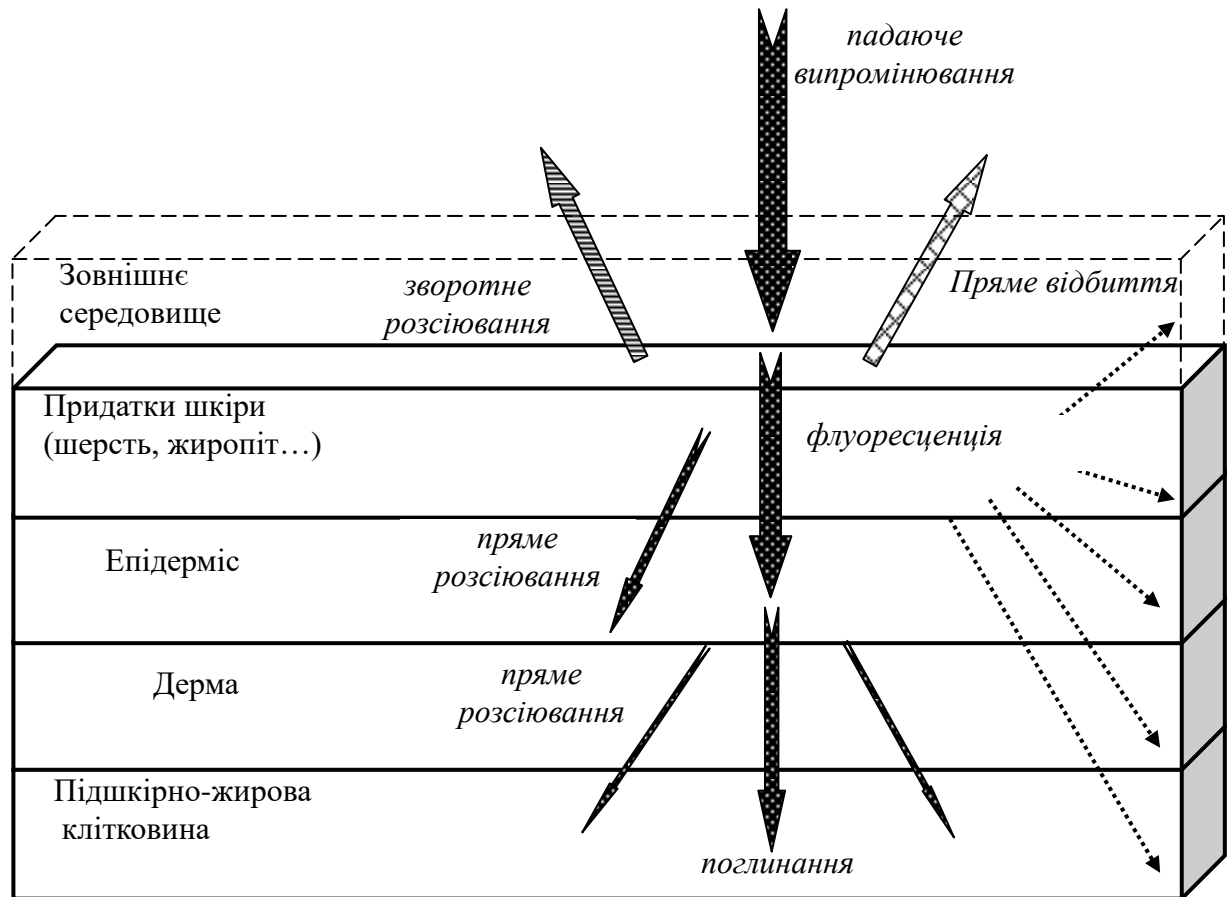


Рисунок 1.5 – Спрощена модель взаємодії оптичного випромінювання з зовнішнім покривом тварини

В загальному випадку відомі декілька підходів до рішення таких задач, вони відрізняються ступенем врахування типів оптичних ефектів при взаємодії оптичного випромінювання з біологічною тканиною, яка моделюється випадково-розсіюючим, неоднорідним, суцільним або дискретно-випадковим середовищем [108]. В цих моделях, з допомогою рівняння дифузії, в кожній просторовій точці визначається інтенсивність світла, усереднена по всім напрямкам переносу.

Одним із підходів, в задачах побудови коректного чисельного алгоритму рішення стаціонарного рівняння переносу (рішення прямої задачі) є метод статичного моделювання (Монте-Карло), який опирається на послідовний розрахунок траєкторій фотонів випущених з джерела випромінювання [72, 61,64,112,145,150,151]. Основою методу Монте-Карло є чисельне

моделювання транспортування фотонів в розсіюючому середовищі, при цьому випадкове блукання фотонів всередині біологічної тканини простежується від точки входу в об'єкт дослідження до повного поглинання або виходу з нього.

Загальна схема цього методу базується на Центральній граничній теоремі теорії ймовірності, яка стверджує, що випадкова величина $S_n = \sum_{i=1}^N X_i$ рівна сумі більшої кількості N незалежних випадкових величин X_i з однаковим математичними сподіваннями μ і дисперсіями σ^2 , завжди розподілена по нормальному закону з математичним сподіванням $N \cdot \mu$ і дисперсією $N \cdot \sigma^2$. Комп'ютерне моделювання здійснюється поетапно від генерації джерела фотона та його траєкторії, поглинання (або ліквідації, у випадку присвоєння кожному фотону ваги) до реєстрації фотонів, які вийшли з середовища (рис.1.6) [152].

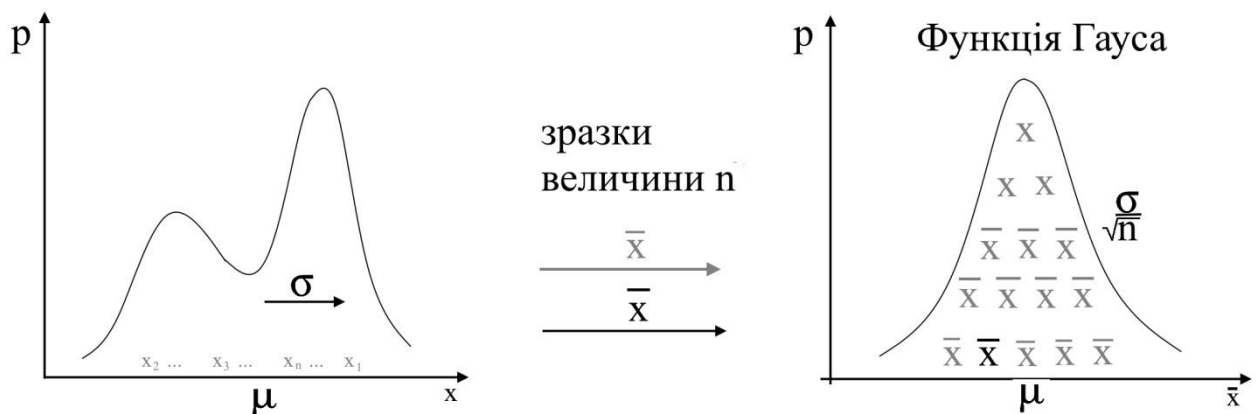


Рисунок 1.6 – Умова реалізації методу Монте-Карло

З наукової літератури відомі роботи де застосовувався цей метод:

- для моделювання розповсюдження оптичного випромінювання в фантомі біологічної тканини, з сітковим рішенням стаціонарного рівняння переносу випромінювання [145];

- для моделювання детермінації оптичних властивостей тканин в області 330-1100 нм довжин хвиль [64];

- для розрахунку показників повного поглинання і розсіяння в тканинах на довжині хвилі 633 нм [151];
- для аналізу просторового розподілу чутливості детектора в багат шаровому випадковому - неоднорідному сильно розсіюючому і поглинаючому світло середовищі [150];
- для спектроскопічного дослідження біотканин та суспензій клітин в задачах лазерної діагностики і терапії та ін. [153].

Не зважаючи на відносно високу точність і універсальність методу Монте-Карло, виникає необхідність аналізу статистичних властивостей усіх випадкових складових і введення багаточисельних параметрів розрахунку, що суттєво погіршує ефективність такого методу, крім того значна тривалість розрахунків ускладнює застосування цього методу в діагностичних системах реального часу, хоча принципова можливість отримання результату з будь-якою ступеню точності і для якого завгодно середовища роблять такий метод дуже привабливим в якості еталонного методу при перевірці точності і достовірності інших розрахункових моделей.

Найбільш фундаментальним і водночас простим підходом для описання розповсюдження світла в різного роду середовищах вважається евристичний метод запису рівнянь Максвела [4,112,154], коли параметри середовища задані у вигляді випадкових змінних від просторових координат. Цей метод обумовлює логічні прийоми і методологічні правила наукового дослідження і винахідницької творчості, які можуть привести до мети в умовах неповноти вихідної інформації і відсутності чіткої програми керування процесом вирішення задачі. Відомі приклади вирішення таких задач в наближенні однократного розсіювання для випадку сильно розріджених середовищ, наприклад біологічних часток і розчинів [155]. Недоліком цього методу є складнощі пов'язані з врахуванням усіх типів дифракційних та інтерференційних ефектів у середовищах з високим ступенем неоднорідності і великою кількістю шарів біологічної тканини.

Наступним, за кількістю згадувань у фаховій літературі, можна назвати підхід який базується на рішенні відносно простіших рівнянь теорії Кубелки-Мунка. За цією теорією, дифузний потік всередині біологічної тканини представляється у вигляді моделі ряду дискретних потоків, які розповсюджуються у різних напрямках всередині середовища [62,89,112,156,157]. Так, наприклад, чотирьох потокова модель представляє собою два дифузних потоки, які розповсюджуються назустріч один-одному, і два колімованих когерентних пучка – один падаючий Φ_0 , а інший відбитий від задньої границі зразка Φ_1 [72]. Для поглинання і розсіювання дифузного випромінювання вводяться коефіцієнти Кубелки-Мунка, відповідно A_{KM} і S_{KM} , які у загально прийнятих величинах μ_a і μ_s (теорія переносу) записуються наступним чином [143]: $A_{KM}=2 \mu_a$ і $S_{KM}=\mu_s$. З використання зазначених величин можна записати два лінійних диференціальних рівняння першого порядку:

$$\frac{d\Phi_0}{dz} = -A_{KM}\Phi_0 - S_{KM}\Phi_0 + S_{KM}\Phi_1, \quad (1.5)$$

$$\frac{d\Phi_1}{dz} = -A_{KM}\Phi_1 - S_{KM}\Phi_1 + S_{KM}\Phi_0, \quad (1.6)$$

де z - визначає середній напрямок падаючого випромінювання.

Можливість проведення відносно швидких обчислень, за рахунок простоти такого підходу, даються ціною зменшення точності розрахунків. Крім того, такий підхід обмежений випадками коли розсіювання у багато разів перевищує поглинання [112], а також обмежений в урахуванні кількості заломлюючих границь середовищ. [72,28].

На рівні з методом Кубелки-Мунка не менш часто згадується метод теорії переносу випромінювання (ТП), який широко застосовується в оптиці біотканин і в основному розглядає перенос фотонів через розсіюючі і поглинаючі середовища [72,107,108,112,153,158-160]. В теорії переносу випромінювання і її різноманітних наближеннях описуються частинки, які

володіють енергією νh і швидкістю c . Ці частинки розсіюються і поглинаються біотканиною і відбиваються на границі, підкоряючись закону Френеля. Інтегрально-диференціальні рівняння ТП враховують параметри середовища використовуючи погонні, детерміновані коефіцієнти. Зазвичай при складанні рівняння переносу випромінювання керуються рівнянням макроскопічного балансу енергії, припускаючи що, фотони не взаємодіють один з одним. при цьому вони розглядаються в якості точкових одиниць, нехтуючи інтерференційними ефектами [112]:

$$\frac{dL(\vec{r}, \hat{s})}{ds} = -\mu_t(\hat{r}) \cdot L(\vec{r}, \hat{s}) + \mu_s \int_{4\pi} p(\hat{s}, \hat{s}') L(\vec{r}, \hat{s}') d\omega' + S(\vec{r}, \hat{s}), \quad (1.7)$$

де $L(\vec{r}, \hat{s})$ – інтенсивність випромінювання, ($Bm/m^2 \cdot cr \cdot Gy$), в точці випромінювання з радіус-вектором \hat{r} , яке поширюється в напрямку одиничного вектора \hat{s} ;

$S(\vec{r}, \hat{s})$ – функція джерел ($Bm \cdot cr/m^3$);

μ_t – коефіцієнт послаблення, рівний $\mu_a + \mu_s$;

$d\omega'$ – елемент тілесного кута, який має одиничний вектор \hat{s}' в якості зовнішньої нормалі.

Фазова функція розсіювання $p(\hat{s}, \hat{s}')$ визначає вірогідність того, що фотон, який летить у напрямку \hat{s} , після розсіяння буде мати напрямок \hat{s}' . Найбільш часто вживаними фазовими функціями, які описують важливі макроструктурні параметри, є апроксимації за допомогою емпіричної функції Хені-Грінштейна:

$$p_{HG}(\theta) = \frac{1}{4\pi} \cdot \frac{1-g^2}{(1+g^2-2g\cos\theta)^{3/2}}, \quad (1.8)$$

і фазової функції Еддінгтона:

$$p_E(\theta) = \frac{1}{4\pi} \cdot (1 + 3g\cos\theta), \quad (1.9)$$

де θ – кут між напрямками розповсюдження падаючого і розсіяного фотонів

З метою спрощення аналізу інтегрально-диференціальних рівнянь, які вирішуються у теорії переносу випромінювання, застосовують їх спрощення шляхом апроксимації функції багаточленам, тобто лінеаризації рівнянь розкладанням у ряд Тейлора. Такий метод широко застосовується у оптиці біотканин і здобув назву – дифузне наближення [28,63]. Таке наближення припускає, що дифузна інтенсивність зустрічає багато частинок і розсіююється на них майже ізотропно [108]. За відомостями деяких авторів, можна відмітити, що результати отримані за допомогою дифузного наближення, методу Монте-Карло і аналітичним рішенням рівняння переносу, при значеннях оптичного альбедо, які відповідають біологічним мутним середовищам, майже співпадають [112].

Серед усього різноманіття вказаних підходів, методів, їх наближень і апроксимацій важливо відмітити зростаючу тенденцію до використання комп'ютерної техніки і відповідного програмного забезпечення, як елементу необхідного для більш успішного математичного моделювання результатів експерименту. Наприклад, для реалізації версії методу Монте-Карло в математичному моделюванні дифузного відбиття світла шкірою [89] або для багатосіткового методу кінцевих елементів в моделюванні лазерної абляції біотканин [161-163].

1.7 Формування спектру дифузного відбиття шерстного покриву тварини та способи реєстрації

Дифузно-відбите біотканиною випромінювання несе інформацію про поглинаючі та випромінюючі властивості середовища, особливості структури біотканин [71,72,86,164]. Спектр дифузного відбиття біотканини дозволяє визначати спектральний склад ефективної оптичної щільності досліджуваного об'єкта – параметра, який є джерелом отримання кількісної інформації про поглинаючі властивості біотканин.

Розсіювання світла в біотканині приводить до того, що характер спектра ефективної оптичної щільності часто відрізняється від спектра поглинання компонентів біотканин, що приводить до помилки оцінки вмісту в ній хромофорів [162]. Крім того, зовнішній покрив тварин, серед різноманіття біотканин, відрізняється складним характером взаємодії з світлом, який починає проявлятися, не тільки на границі розділу шкіра-повітря [71,72,75,77,164], а вже з'являється при проходженні границі шерстній (волосяний) покрив - повітря [86,163]. Ця границя не є гладкою, а представляє собою шар жиропоту і шерсті різної щільності [86]. Вказані фактори обумовлюють необхідність детального вивчення усіх обставин формування спектру дифузного відбиття.

За відсутності у науковій літературі детальних даних (коефіцієнтів поглинання, розсіяння і заломлення, параметрів анізотропії розсіяння) про оптичні властивості шерстного покриву овець подальший аналіз цього питання можливий через апроксимацію зовнішнього покриву тварин до зовнішнього покриву людини, для вивчення експериментальним шляхом основних оптичних властивостей біотканин зовнішнього покриву овець [165]:

Відомо, що падаючий промінь світла частково відбивається (френелівське відбиття, яке складає приблизно 5 % [72]) і, через мікроскопічну неоднорідність границь розділу, відбите світло набуває дзеркально дифузного характеру. При потраплянні променю світла на окрему волосину, яка з огляду на її структуру нагадує світловод (рис.1.7), відбувається часткове відбиття на поверхні волосини, з подальшим проходженням променю в середину, де відбувається часткове поглинання, а також відбиття на внутрішніх стінках, далі промінь виходить на зворотній стороні волосини – трансмісія (рис.1.8).

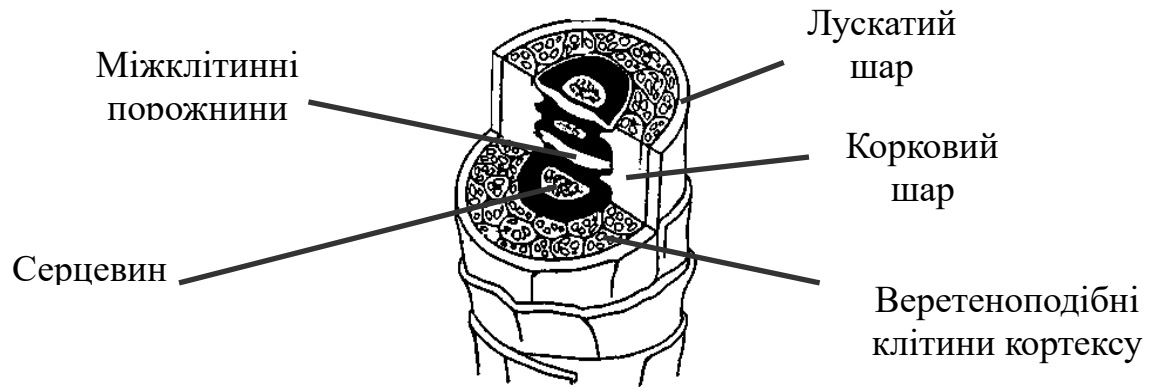


Рисунок 1.7 – Типова будова окремої шерстини

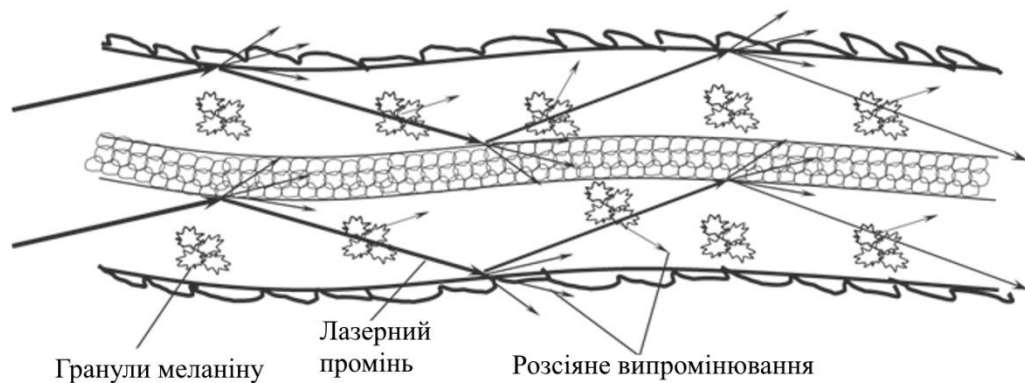


Рисунок 1.8 – Схематичне зображення поширення оптичного випромінювання всередині шерстини

Кут падіння та кут виходу променя, як правило не співпадають. Визначення відношення відбиття можна провести за допомогою застосування методу гоніофотометрії. При цьому, інтенсивність відбитого світла визначається функцією кута. Максимумом цієї функції є спекулярна частина кута відбиття. Певна частина світла розсіюються і обумовлює дифузну частину відбиття спричинену неоднорідністю поверхні волосини, а також матрицею волосини. Гоніофотометричні дослідження [105,109,166] на окремих волокнах волосся показали, що максимум дзеркального відбиття знаходиться на 24° , коли волосина опромінюється в аксіальному напрямку

(основа волосини-вершина) під кутом 30° відповідно проти вертикалі (рис.1.9). Виходячи з цього можна зробити висновок, що "луска" знаходиться під кутом приблизно 3° від поверхні. Кут, як правило, незначно зменшується зі збільшенням відстані від кореня волосини. Наступний локальний максимум інтенсивності, значення якого залежить від кольору волосини, обумовлюється кутом приблизно в 40° . При опроміненні волосини у протилежному напрямку (вершина – основа волосини) під кутом 36° з'являється максимум перебігу інтенсивності світла, нахил кривої приблизно дзеркальний, при чому інтенсивності незначно відхилюються одна від одної (рис.1.9).

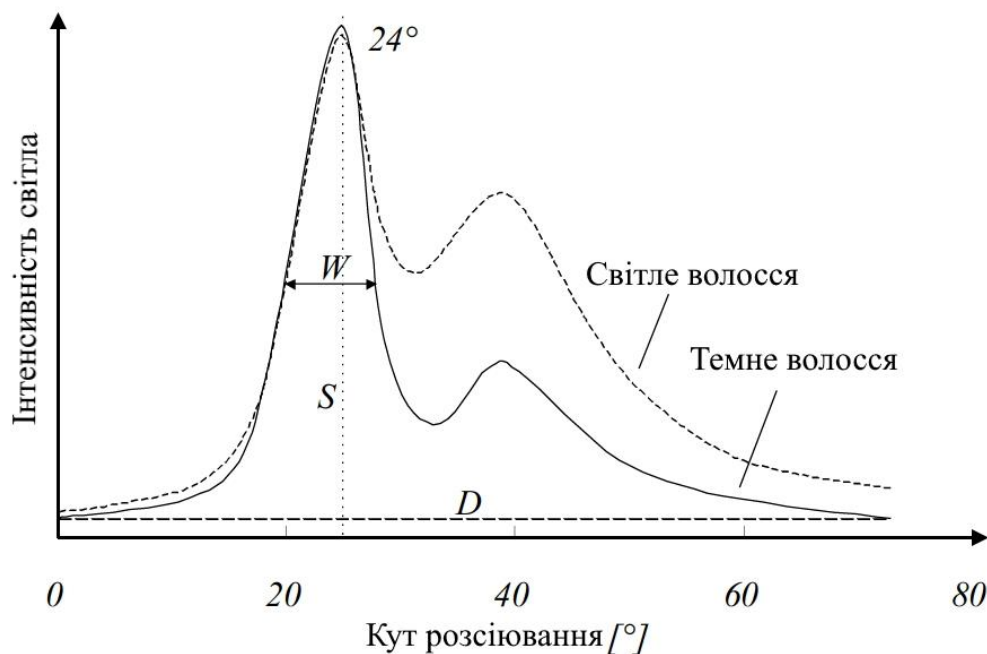


Рисунок 1.9 – Інтенсивність світла в залежності від кута:

D – показник дифузного відбиття, який отримують виокремленням базового відбиття з гоніофотометричної кривої вимірювання;

S – інтеграл дзеркального відбиття без дифузної частини;

W – ширина максимального піку при половинній інтенсивності

Колір дзеркальної частини є білим, що відповідає дифузному максимуму обумовлюючи колір волосини. Спектральне відбиття є поверхневим феноменом, тоді як дифузна частина відбиття залежить від внутрішньої структури, або кольору волосини. За умови суворо-паралельного розміщення волосин дифузна частина відбиття буде мінімальною. Проходження променя світла можна описати спрощеною моделлю (рис.1.10) [168].

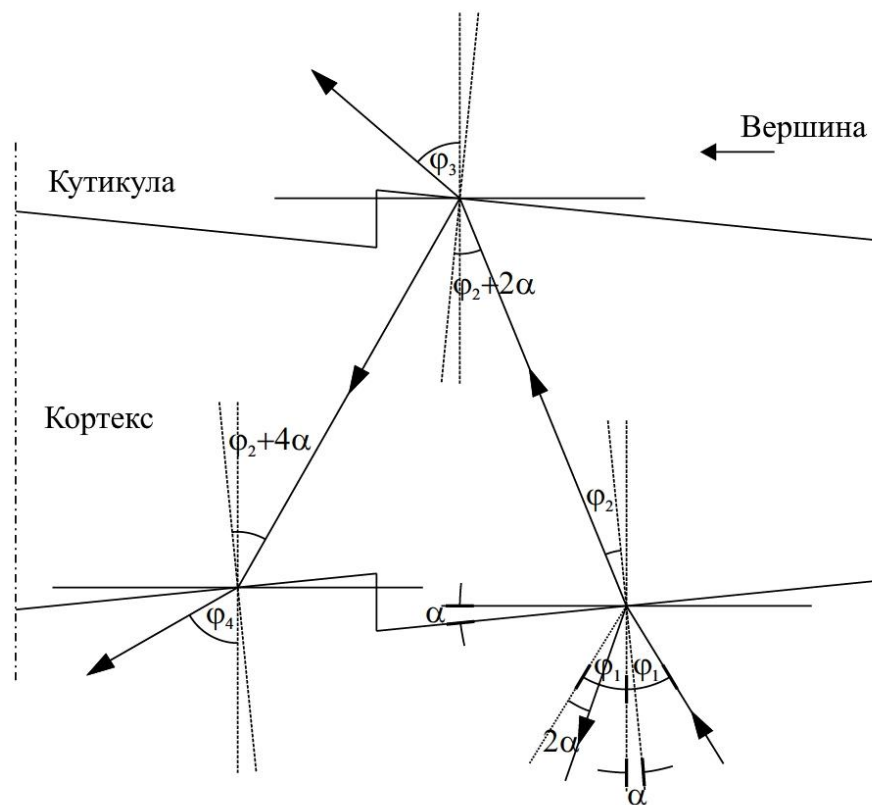


Рисунок 1.10 – Модель відбиття і заломлення світла у волосині

Кути, які передбачаються на основі цієї моделі, дещо відрізняються від емпірично отриманих результатів. Кут заломлення можна визначити за законом Снеллиуса:

$$\frac{\sin \varphi_1}{\sin \varphi_2} = \frac{n_2}{n_1} = \text{const.} \quad (1.10)$$

Згідно F. Robert показник заломлення для кутикули (для кутикули і кортексу приймається однаковим) $n_2=1.548$, показник заломлення для повітря $n_1 \approx 1.0$, тоді можна прийняти $n_2/n_1=n=1,584$. Таким чином:

$$\sin \varphi_2 = \frac{1}{n} \sin (\varphi_1 - \alpha), \quad (1.11)$$

$$\sin(\varphi_3 + \alpha) = n \sin (\varphi_2 - 2\alpha) \quad (1.12)$$

$$\sin(\varphi_4 + \alpha) = n \sin (\varphi_2 - 4\alpha) \quad (1.13)$$

де φ_1 – є кутом падіння променя проти вертикалі до осі волосини, а кут α є кутом положення луски (приблизно 3^0).

Наступним шаром, який взаємодіє з опроміненням, є шкіряний покрив, де відбуваються різні процеси, як на границі розділу волосяний покрив-шкіра, так і в середині. На границі розділу повітря – шкіра світло може бути дифузно відбитим, ремітувати відповідно інтерференції в середині (розсіяння, поглинання) або проходить через середовище. Під ремісією розуміють дифузне випромінювання світла з випромінюючого середовища, яке опромінюється. Поглинання відбувається за рахунок перетворення, наприклад, у тепло. Розсіяння спричинене різницею показників заломлення на границі між різними середовищами. Світло послаблюється у напрямку проходження та віддається в інші просторові напрямки. Розсіяння може бути еластичним (без поглинання) або не еластичним (з поглинанням). В біологічних тканинах не еластичне розсіяння зустрічається дуже рідко (наприклад – око) [62]. Характеристика розсіяння залежить від величини та форми частинок. Математичний опис поширення світла в розсіюючому і поглинаючому середовищі шкіри можна здійснити або хвильовою теорією, або статично за теорією елементарних частинок.

У хвильовій теорії Lord Rayleigh описує розсіяння на частинках, які помітно менші ніж довжина хвилі. Інтенсивність розсіяної хвилі відноситься обернено пропорційно до четвертої степені довжини хвилі. Далі частина пучка світла входить в шкіру, де світло знову розсіюється і частково поглинається її пігментами, кровоносними судинами тощо. Наслідком внутрішнього повторного відбиття від границі розділу зворотно розсіяного випромінювання є збільшення щільності світлового потоку у перед поверхових шарах шкіри у порівнянні з падаючим випромінюванням і інтенсивність світла в цих шарах може значно перевищувати інтенсивність падаючого на зовнішній покрив випромінювання [62].

У видимій, а також у ближній ультрафіолетовій області спектра поглинання світла біотканинами відповідає певному електронному переходу у хромофорній групі [164]. Керуючись теорією молекулярних орбіталей максимумам на кривих поглинання речовиною світла відповідають електронним переходам з певною енергією збудження, яку умовно можна поділити на високу, середню і низьку [169].

Висновки по розділу 1 і задачі дослідження:

1. Аналіз розвитку галузі вівчарства України, так і причини її занепаду, показав, що покращення показників результативності та ефективності галузі можливо за рахунок впровадження нових технологій виробництва продукції вівчарства в тому числі із застосуванням сучасних досягнень щодо формування стада тварин за ознаками кольору шерсті з метою підвищення чистоти шерсті вже на стадії вирощування тварин.

2. Існують методів, які дозволили ґрунтовно дослідити оптичні властивості різноманітних біотканин в ультрафіолетовій, видимій і інфрачервоній областях спектра, однак, більшість з цих проводилась при дослідженні зразків біотканин в умовах *in vitro* і при цьому різнились у

методиках проведення експериментів та їх підготовки, що призвело до значних відмінностей у отриманих значень оптичних параметрів біотканин.

3. З розвитком нових технологій і розгляду питань пов'язаних з застосуванням лазерного випромінювання в сільському господарстві виникла необхідність враховувати оптичні характеристики зовнішнього покриву тварин та розробити на його основі лазерні технології для визначення кольору шерсті.

4. Метою досліджень дисертаційної роботи є підвищити ефективність виробництва вовни завдяки попереднього формування стада овець перед вирощуванням по кольору шерстного покриву шляхом створення лазерної технології визначення кольору шерсті на основі використання напівпровідникових джерел монохроматичного когерентного оптичного випромінювання (лазерів).

Для досягнення сформульованої мети необхідно вирішити наступні завдання:

– провести аналіз стану застосування оптичних електротехнологій для діагностики біологічних об'єктів в сільському господарстві, та електротехнічних приладів і систем для їх реалізації;

– провести теоретичні дослідження щодо умов дистанційного визначення кольору вовни та обґрунтувати доцільність застосування спектрофотометричного методу;

– провести моделювання процесу збору світла на поверхні приймача для визначення складових відбитого випромінювання від поверхні шерсті тварин та визначити джерело і величину похибки при вимірюванні;

– розробити метод і технічні засоби для дистанційного вимірювання кольору шерсті овець побудованих основі застосування напівпровідникових лазерів;

– провести техніко-економічне обґрунтування впровадження пристрою для сортування овець за кольором шерсті при формуванні стада.

РОЗДІЛ 2

ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ДИСТАНЦІЙНОГО ВИЗНАЧЕННЯ КОЛЬОРУ ШЕРСТНОГО ПОКРИВУ ОВЕЦЬ

2.1 Загальні положення теоретичних досліджень

Якість шерстного покриву тварин характеризується набором фізичних і технологічних показників, так, до фізичних властивостей шерсті, що мають істотне значення при її переробці в пряжу і тканини, відносяться: тонина, довжина, фортеця, розтяжність, пружність і звивистість. При стрижці та сортуванні овець бажано мати портативні методи дистанційної оцінки якості шерсті. Одним з методів експрес-контролю якості шерсті може бути оцінка її кольору. Проблема дистанційного визначення якості шерсті овець може бути вирішена при наявності інструментальних засобів дистанційного контролю кольору. Разом з тим колір, як оптичне явище, формується оком і мозком людини і не є фізичною змінною та не має фізичних одиниць виміру. Самі по собі предмети не є кольоровими, а відчуття кольоровості виникає в свідомості людини як результат впливу світлових випромінювань на рецептор зору. Тому, існує декілька методів визначення кольору поверхні: візуальна колориметрія; вимірювання кольору за допомогою атласів кольору; спектрофотометричний метод; пряме визначення колірних координат (в телебаченні), ін. [170]. Повна характеристика кольору являє собою відомості про яскравість, тон і насиченість.

При визначенні кольору основну роль грає відчуття кольору людиною, що виникає при огляді предметів освітлених джерелом світла. Колір несамоосвітненого тіла залежить як від його оптичних характеристик, так і від того, яким світлом воно освітлюється.

Інструментальна оцінка кольору здійснюється приладами що дозволяють аналізувати відбите від поверхні світло. Прилади різних виробників можуть давати різні результати, що пов'язано використанням

різної оптики, різною геометрією розподілу світла та його відбиття від поверхні, що аналізується.

Найбільш складно визначати колір текстурованої (не гладкої) поверхні. Це пов'язано з тим, що відбиття світла від таких предметів відбувається в залежності точки відбиття. Дуже часто колір таких предметів оцінюють візуально. Сучасні прилади визначення кольору забезпечені функціями вимірювання SPIN і SPEX [171,172]. Технологія SPIN дозволяє аналізувати відбите від предмета все світло відбите в різних напрямках. При технології SPEX аналізується відбите світло яке потрапляє на фотоприймач.

Традиційно колір відображають в системі координат кольоровості: L^* , a^* , b^* . Координата L^* є мірою яскравості, від «0» до «100». Інші дві координати лежать перпендикулярно один одному в одній площині, перпендикулярній осі яскравості L^* . Координата a^* - відображає міру червоного і зеленого кольорів, а b^* - міру від блакитного до жовтого.

Для опису кольору предмета і порівнювання його з стандартом розраховують квадратний корінь з суми квадратів значень dL , da і db . Отриманий коефіцієнт dE порівнюють стандартним кольором. Вважається, що різниця dE для кольору що досліджується і стандарту повинна бути мінімальною. Проте, за результатами тестування виявилось, що при співпадання dE близько 50% людей все-таки можуть помітити різницю. Таким чином, око людини залишається більш надійним інструментом для опису кольору.

До теперішнього часу інструментально можна вимірювати колір тільки гладких покриттів, які рівномірно відбивають світло в будь-якій своїй точці. Текстуровані покриття (наприклад шерсть) не підлягали інструментальній оцінці кольору. Пов'язано це з тим, що віддзеркалення світла від таких покриттів в різних точках буде відбуватися по-різному, в залежності від того, чи потрапляє падаюче світло в «поглиблення», «виступ» або «схил» структури.

Важливою умовою ефективності методу вимірювання кольору є сталість використовуваного джерела освітлення, фону, на якому знаходиться досліджуваний об'єкт і відстані до нього. На практиці, найбільшого поширення набули два інструментальні методи визначення кольору: спектрофотометричний і колориметричний [173]. Для їх реалізації використовують як портативні пристрої, так і складні оптичні системи.

Розглянемо сутність спектрофотометричного методу. Шляхом реєстрації розподілу енергії відбитого, (поглиненого) випромінювання по всьому спектру визначають значення координат кольору XYZ і колориметричні індекси. Поверхню, яка досліджується, освітлюють джерелом світла з широким спектром випромінювання, а відбите світло реєструють трьома приймачами з кольоровими фільтрами, що забезпечують прийом в трьох діапазонах оптичного спектру. Фільтри забезпечують спектральну чутливість, яка відповідає стандартним спектральним діапазнам, що відповідають спектральній чутливості ока людини. Це дозволяє отримувати цифрові значення колірних координат XYZ , для червоного, зеленого і синього кольорів.

В випадку визначення кольору шерсті, на наш погляд, більші перспективи має спектрофотометричний метод. Це пов'язано з тим, що для реалізації колориметричного методу необхідно використовувати джерело дуже інтенсивного світла. В якості такого джерела для колориметрії використовують лампи розжарювання великої потужності. Це невиправдано, як з економічних, так і технологічних міркувань. Джерело світла великої потужності, одночасно є джерелом тепла, тому вівці можуть вести себе неадекватно, що ускладнить процес їх сортування. Крім того процедура вимірювання займає певний час, за рахунок часу підбору фільтрів.

Проаналізуємо далі можливості спектрофотометричного методу для визначення кольору шерсті, як головного показника якості шерсті, при автоматизації процесу сортування овець.

2.2 Теоретичне обґрунтування спектрофотометричного методу визначення якості шерсті

Оптичні методи являють собою найбільшу групу методів дослідження властивостей матеріалів. Реєстрація ефектів взаємодії світла з речовиною дозволяє отримувати об'єктивні інформаційні показники матерії. На практиці розрізняють наступні оптичні методи аналізу матеріалів:

- абсорбційний - аналіз характеристик речовини по поглинанню оптичного випромінювання в різних областях спектру;
- нефелометричний, турбідиметричний – аналіз речовини по показникам розсіювання світла;
- люмінесцентний – аналіз речовини по характеристикам вторинного випромінювання.

Детально розглянемо фізичні явища, які відбуваються при відбиванні оптичного променя від поверхні шерсті. Поверхню шерсті можна розглядати як середовище, яке розсіює з великою концентрацією центрів розсіювання. Шершаву поверхню можна характеризувати в залежності від співвідношення кількості світла, що відбивається та поглинається. Ефекти люмінесценції, в нашому випадку, будемо вважати відсутніми.

Технічно якість шерсті можливо оцінити тільки по відбитому випромінюванню. Для оцінки можливості ідентифікації якості шерсті по параметрам розсіяного світла розглянемо особливості цього процесу. Головна проблема є в тому, що відсутній простий зв'язок між характеристиками поверхні, що досліджується та параметрами випромінювання у разі довільного його поглинання. Узагальнена модель відбиття оптичного випромінювання показана на рис. 2.1.

Адекватна модель дозволить сформулювати вимоги до технічних засобів, перш за все до фотодатчиків, які для забезпечення ефективного збору відбитого випромінювання.

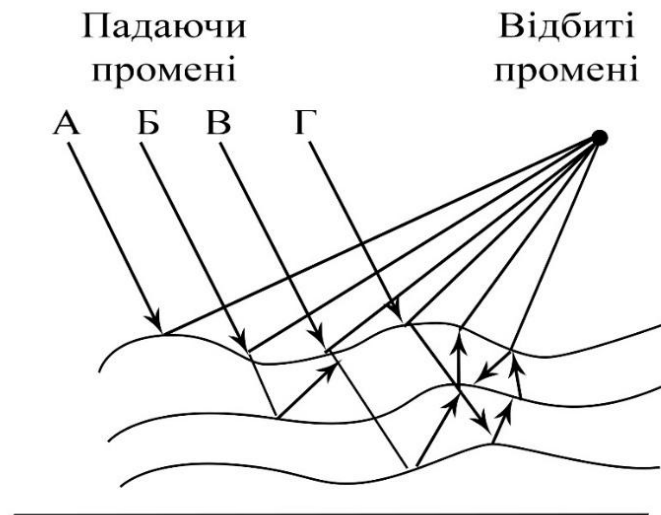


Рисунок 2.1 – Модель взаємодії оптичного випромінювання з поверхнею шерсті

Пучок падаючих паралельних променів світла (А, Б, В, Г), при відбиванні від поверхні шерсті формується двома складовими:

- дзеркально відбитими променями від поверхні шерсті;
- променями, що формуються в результаті розсіяння та відбиття від внутрішніх структур шерсті.

Більша частина енергії падаючого світлового потоку поглинається та поширюється в глибокі шари шерсті. Дзеркально відбиті від поверхні промені розповсюджуються від поверхні шерсті під кутом, рівним куту падіння. Дифузна складова відбитого променя має майже кругову діаграму спрямованості.

Для реалізації дистанційної технології вирішення задачі визначення якості шерсті оптичним методом необхідно мати відомості про спектральні або колориметричні характеристики відбитого від поверхні шерсті світлового потоку. В разі наявності зв'язку спектральних характеристик відбитого випромінювання з якістю (кольором) шерсті задача може бути вирішена.

Освітлення поверхні шерсті передбачається здійснюватися джерелами монохроматичного випромінювання. Знаючи геометрію поширення

світлових променів, відбитих від поверхні шерсті та індикатриси розсіяння, можна отримати достовірну інформацію про характер поверхні.

Задачу визначення відбитого від поверхні випромінювання можна розглядати як задачу отримання характеристик розсіюючих шарів по дифузному відображенню при умові, що внутрішні неоднорідності набагато більші довжини хвилі падаючого випромінювання [174].

Розглянемо більш детально процес формування індикатриси розсіяння світла. Процес відбиття будемо розглядати на мікро та макро рівнях (рис 2.2).

На рис 2.2 прийняті наступні позначення: φ_0 – кут падіння; φ_1 – кут відбита; φ_i – кут реєстрації складова відбиття; β_i, β_r – кути падіння і відбиття для мікромоделі; $Z = A \sin(2\pi x / \ell) = A \sin(gx)$ – крива профілю поверхні відбиття; ℓ – довжина хвилі нерівності поверхні, A – амплітуда нерівності поверхні.

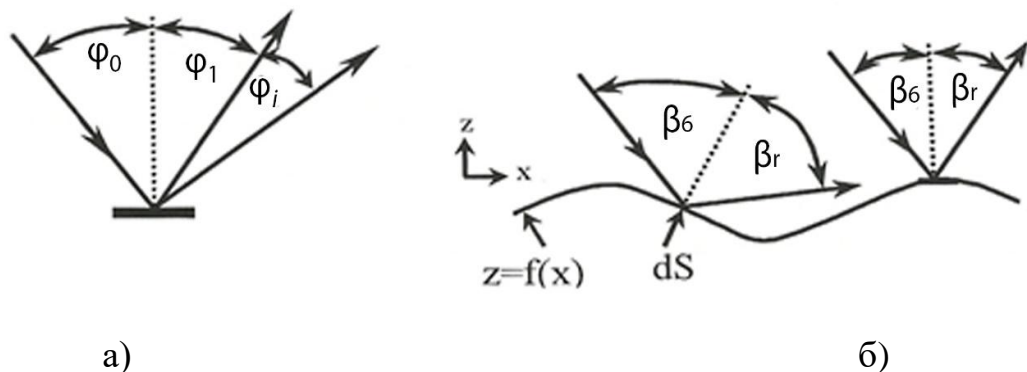


Рисунок 2.2 – Моделі відбиття світла:

а) кути падіння та відбиття макроскопічному рівні; б) відбиття світла на мікроскопічному рівні

Як зазначено вище відбитий потік світла складається з двох складових. Проаналізуємо вклад кожної з них. Потужність відбитого від поверхні світлового потоку дорівнює [175]:

$$F(\varphi_i) = \int_S \int_{\beta} I_0 \bar{k}(\lambda \varphi_0) r(\beta_{np}) ds d\lambda_r, \quad (2.1)$$

де: I_0 – інтенсивність світлового променя, що падає під кутом φ_0 ;

$\bar{k}(\varphi_0)$ – одиничний вектор у напрямку падаючого променя;

$r(\beta_0)$ – френелівський коефіцієнт відбиття поверхні;

dS – елемент поверхні відбиття;

S, γ – області інтегрування по поверхні і по кутах.

При заміні змінних в (2.1):

$$\beta_i = \phi_i + \phi_r/2, \quad K(\phi_i) = z \cos \phi_i - x \sin \phi_i.$$

Інтеграл по поверхні можна замінити на лінійний по x і помножений на L_y (профіль поверхні не залежить від y), функцію $r(\gamma_0)$ можна вважати постійною і рівною $r(\phi_0)$, що справедливо для малих кутів збору $\phi_{відб}$, тоді можна записати:

$$F(\phi_i) = I_0 L_y N_r(\phi_i) \int_{x_1}^{x_2} [\cos \phi_i + Ag \sin \phi_i \cos(gx)] dx, \quad (2.2)$$

де $N=2L_x g/2\pi$ – число відбиваючих областей на довжині L_x .

Межі інтегрування x_1, x_2 визначаються умовами при яких відбиті промені будуть потрапляти у приймач за період осциляцій поверхні:

$$Tg \left(\frac{\phi_t}{2} \right) = Ag \cos(gx) \quad (2.3)$$

При малих значеннях $\Delta\phi_t$:

$$x_1 = \pi(2g \pm \Delta x), \quad x_2 = \pi(3/2g \pm \Delta x),$$

де $\Delta x = \Delta \phi_t / (2Ag^2)$.

Межі інтегрування для гладкої поверхні ($Ag \ll 1$) будуть від 0 до π/g а зареєстрована приймачем потужність відповідає співвідношенню для гладкої поверхні:

$$F(\phi_i) = L_0 L_x L_y r(\phi_i) \cos \phi_i = P_0 r(\phi_i), \quad (2.4)$$

Шерсть має край не гладку поверхню ($Ag \gg 1$). В такому випадку рівняння (2.2) можна представити в вигляді:

$$F(\varphi_i) = L_0 L_y N_r(\varphi_i) 2\Delta x \cos \varphi_i = L_0 L_y N_r(\varphi_i) \frac{\Delta \phi_r}{\pi A_g} = P_0 r(\varphi_i) \frac{\Delta \phi_{omp}}{2\pi A_g}, \quad (2.5)$$

де $P_0 = I_0 L_y N \cos \varphi_i$.

Таким чином, сигнал, що реєструється фотоприймачем за рахунок відбиття від поверхні шерсті, залежить від амплітуди просторової частоти осциляцій поверхні, тобто від шершавості поверхні. Крім того, ці параметри можуть залежати також від відстані і часу вимірювання, що може приводити до додаткових апаратних похибок вимірювання якості поверхні шерсті.

Розглянемо вклад другої складової відбитого світлового потоку, яка формується за рахунок дифузійного розсіяння в внутрішніх шарах шерсті (рис 2.1). Моделі можливих варіантів центрів відбиття представлені на рис. 2.3.

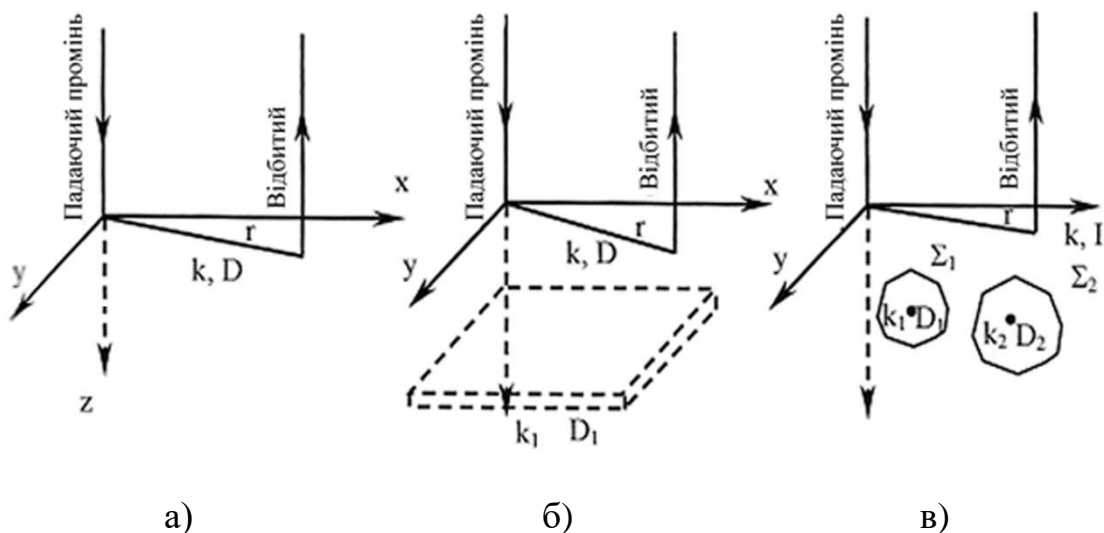


Рисунок 2.3 – Варіанти центрів відбиття внутрішніх шарів шерсті:

а) – рівномірне розсіюючі середовище; б) – неоднорідність у вигляді тонкого нескінченного шару; в) – внутрішня просторово обмежена неоднорідність

Напівбезмежний шар середовища характеризують коефіцієнтами поглинання k і дифузії D . Пучок світла падає на поверхню середовища в точці $r=0$ по осі z , а дифузно відбите випромінювання приймається в зворотному напрямку осі z в точці r .

Розсіююче середовище характеризується коефіцієнтом поглинання [176]:

$$k = \sqrt{\frac{3}{\ell_{tr}\ell_a}}, \quad (2.6)$$

де ℓ_{tr} – середня довжина шляху, яка визначається середніми вільними довжинами розсіяння ℓ_{sc} та поглинання ℓ_a , а також косинусом μ , що характеризує анізотропію розсіювачів, а саме:

$$\ell_{tr} = \frac{(1 - \mu)}{\ell_{sc}} + \frac{1}{\ell_a}.$$

В роботі [177] для відстаней що істотно перевершують середню транспортну довжину $r \gg \ell_{tr}$, за умови $k\ell_{tr} \ll 1$ або $\ell_{tr} \ll \ell_a$, запропонована емпірична формула для потужності розсіяного назад випромінювання на межі середовища:

$$F(r) = F_0 \frac{1-R}{1+R} \left(\frac{\ell_{ext}h}{2\pi\ell_{sc}} \right) (1 + kr)r^{-3} \exp(-kr), \quad (2.7)$$

де ℓ_{ext} – середня довжина згасання (екстинкції) випромінювання,

$$\frac{1}{\ell_{ext}} = \frac{1}{\ell_{sc}} + \frac{1}{\ell_a}; \quad h \cong 2,5\ell_{tr};$$

R – коефіцієнт дифузного віддзеркалення в середовище на межі.

Вираз (2.7) можна записати в вигляді:

$$F(r) = F_0 \cdot A(1 + kr)(kr)^{-3} \exp(-kr),$$

де

$$A = \frac{1-R}{1+R} \left(\frac{\ell_{ext} k^3 h}{2\pi \ell_{sc}} \right). \quad (2.8)$$

Коефіцієнт поглинання на довжині r :

$$K(r) = \ln \frac{F_0}{F(r)} = \ln A + kr + 3 \ln kr - \ln(1 - kr), \quad (2.9)$$

Вираз (2.9) можна представити у вигляді:

$$K(r) = \ln A + K'(kr), \quad (2.10)$$

де $K'(kr) = kr + 3 \ln(kr) - \ln(1 - kr)$.

Вигляд функції $K'(kr)$ представлено на рис. 2.4. При $kr > 20$ функція стає практично лінійною від kr .

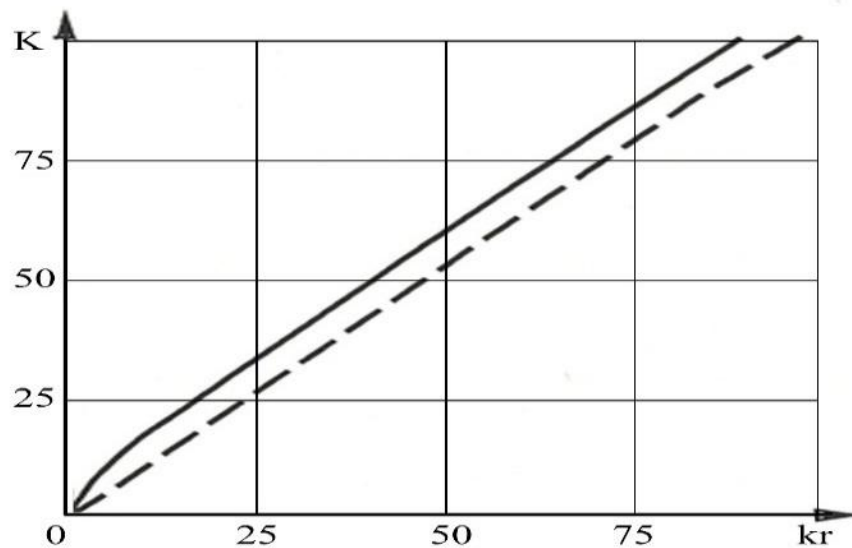


Рисунок 2.4 – Теоретичний вигляд функція для визначення відбитого променя внаслідок дифузійного внутрішнього розсіяння

Для визначення коефіцієнта k необхідно провести два виміри $F(r)$ при різних відстанях r_1 і r_2 більших, ніж $(10 - 20)(\sqrt{\ell_{tr} \cdot \ell_a})$ і потім визначити відповідні коефіцієнти ослаблення $K(r_1)$, $K(r_2)$.

З рівнянь:

$$K(r_1) = \ln A + kr_1 + 3 \ln kr_1 - \ln(1 + kr_1)$$

$$K(r_2) = \ln A + kr_2 + 3 \ln kr_2 - \ln(1 + kr_2)$$

визначимо:

$$\Delta K_{21} = K(r_2) - K(r_1) = k(r_2 - r_1) + 3 \ln \frac{r_2}{r_1} - \ln \frac{1+kr_2}{1+kr_1}, \quad (2.11)$$

З цього рівняння можна знайти чисельними методами K . При $kr > 20$ можна визначити K з допомогою співвідношення:

$$k = \frac{\Delta K_{21}}{r_2 - r_1} - \frac{2 \ln \frac{r_2}{r_1}}{r_2 - r_1}, \quad (2.12)$$

Визначивши k , розрахунок спектральних характеристик відбитого за рахунок дифузії світлового потоку можна провести використовуючи (2.9).

Розглянемо модель представлену на рис. 2.5. Центр неоднорідності знаходиться на відстані від точки прийому ($-\rho$), і точки опромінення (ρ'). Координати центру неоднорідності x_n і y_n представимо в нормованому значенні по r , тобто $x'_n = x_n/r$; $y'_n = y_n/r$.

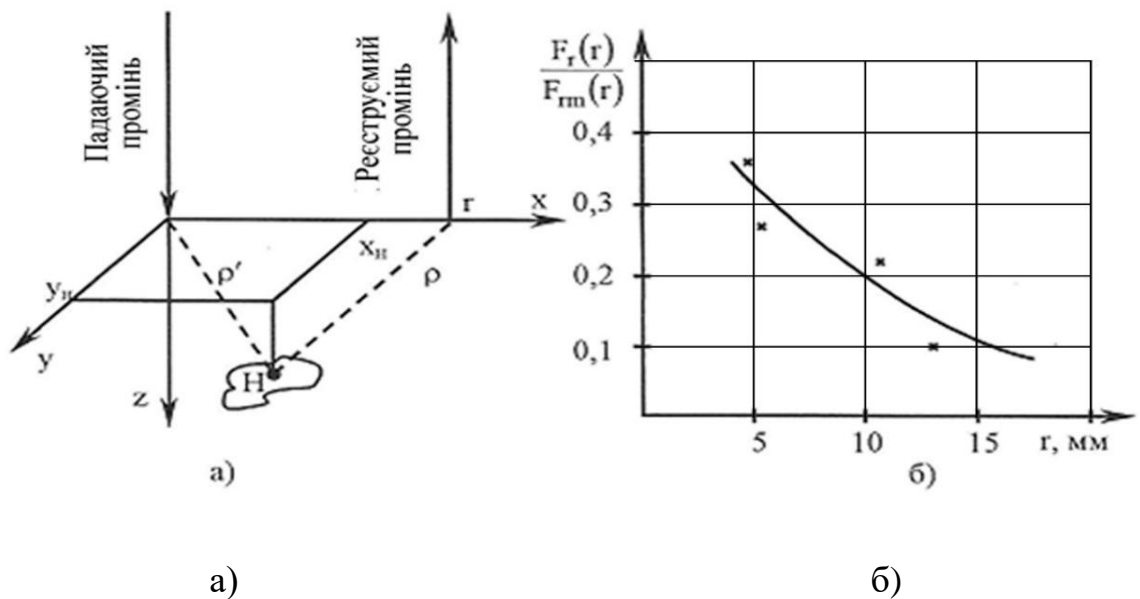


Рисунок 2.5 – Модель відбиття світла від локальних внутрішніх неоднорідностей:

а) модель; б) розрахунок та експериментальні дані

Щільність умовної ймовірності світлових променів, які виходять на поверхню середовища від неоднорідностей занурених на занурена на глибину $Z'_n = Z_n/r$ на відстані r від точки входу, визначимо згідно [178]:

$$W(z'|r) = \frac{2}{5\pi} \frac{4kz'}{1+(z')^2} \left(1 + \frac{1}{kr\sqrt{1+(z')^2}}\right) \exp[kr - \sqrt{1+(2z')^2}] \quad (2.13)$$

Тоді, інтенсивність розсіяного у зворотному напрямку світлового потоку визначається виразом:

$$F_r(r) = \frac{2}{5\pi} F(r) f_{ob} W(z'_1|r_1) W(z'_2|r_2) (1+kr)^{-1} [(x'_H)^2 + (y'_H)^2]^{-1} \times \\ [(1-x'_H)^2 + (y'_H)^2]^{-1} \times \exp \left[-kr \left(\frac{\sqrt{[(1-x'_H)^2 + (y'_H)^2] + 1}}{\sqrt{(x'_H)^2 + (y'_H)^2} - 1} \right) \right]. \quad (2.14)$$

Функція f_{ob} в (2.14) враховує коефіцієнт дифузного відбиття об'єкту в середовище R_1 і величину поверхні об'єкта S_{ob} :

$$f_{ob} = \frac{3 S_{ob} 1 - R_1}{2 \ell_{tr} 1 + R_1}$$

При реалізації приладів дослідження розсіюючих середовищ джерело і приймач розміщують таким чином, що центр внутрішньої неоднорідності повинен знаходитися посередині відстані r і в площині xz , Тоді $x'=0,5$, $y'=0$ і добуток $W(Z'_1/r_1)$ і $W(Z'_2/r_2)$ може бути замінено на $W_2(2Z'/(r/2))$, а щільність назад розсіяного потоку прагне до величини:

$$F_r(r) = 2F(r) f_{ob} W^2((z'_1)|(r/2)) (1+kr)^{-1}. \quad (2.15)$$

Перевірка отриманого результату [179] показала якісну відповідність теоретичних і експериментальних даних.

Проведений аналіз дозволяє сформулювати вимоги конфігурації і розташування джерел та фотоприймачів при визначенні якості шерсті фотоелектричним методом.

В результаті аналізу процесу розсіяння можна зробити наступні висновки:

- падаючий оптичний потік від поверхні шерсті є результат процесів дзеркального та дифузійного віддзеркалення світла;
- потужність відбитого потоку залежить від фізичних показників поверхні шерсті (тони́на, звивистість, коефіцієнта відбиття, тощо) та довжини хвилі падаючого випромінювання.
- велике значення на потужність віддзеркаленого випромінювання має відстань від поверхні відбиття до приймача;
- реєстрація віддзеркаленого від шерсті випромінювання дозволяє визначати його колір (якість).

2.3 Обґрунтування вимог до реєстратора якості шерсті оптичним методом

Технічна реалізація методу спектрофотометрії в значній мірі залежить від конструкції фотоприймача, оскільки в якості джерела світла планується використати лазер, каналізація випромінювання якого не викликає проблем. Показником ефективності оптичного вузла є здатність максимального збору потоку світла, тобто, відношення зареєстрованого випромінювання до загального потоку, що відбивається від поверхні об'єкту. Розглянемо залежність ефективності збору світла фотоприймачем його від конструктивних параметрів. Кожну точку поверхні шерсті, яка відбиває світло будемо вважати за елементарне точкове джерело. Будемо також вважати, що за час вимірювання потік світла залишається постійним по інтенсивності. Тоді повний потік світла визначається за формулою [180]:

$$\Phi_0 = 2\pi I_0 \int_{\alpha_1=0}^{\alpha_1=\frac{\pi}{2}} \sin\alpha_1 \cos\alpha_1 d\alpha_1, \quad (2.16)$$

де I_0 – інтенсивність падаючого потоку, α_1 - кут між нормаллю поверхні що освітлюється і напрямком поширення ПС (рис. 2.6).

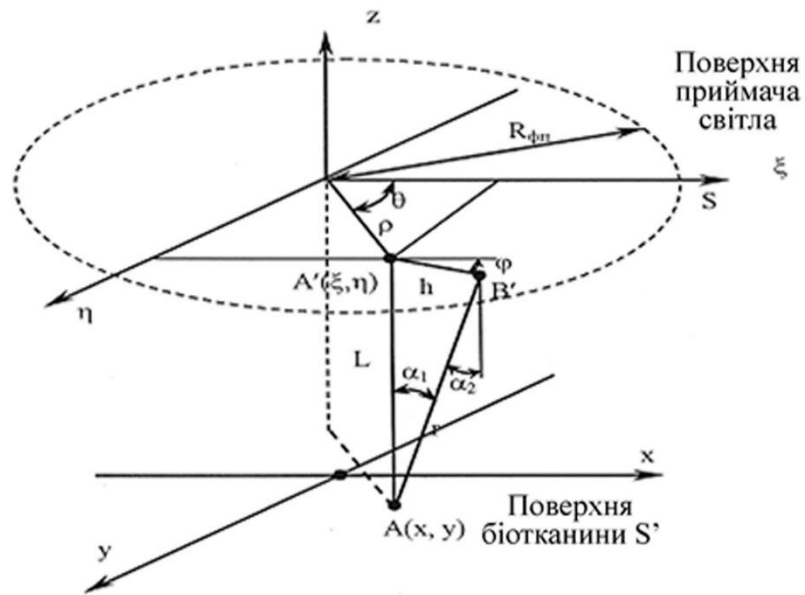


Рисунок 2.6 – Пояснення позначень при моделюванні збору потоку світла на фотоприймач

Оскільки реальний фотоприймач має кінцеві розміри та збирає обмежену частину відбитого випромінювання ефективність збору потоку залежить від його конструктивних особливостей. Розглянемо зв'язок між оптичними та геометричними характеристиками, що визначають величину відбитого потоку світла у вигляді:

$$\Phi_{\phi n} = A \Phi_0 \quad (2.17)$$

де A – коефіцієнт ефективності збору енергії світла, відбитого від поверхні.

Освітленість E , яка створюється дифузною плямою, що випромінює визначається за формулою [181]:

$$E = B \int_{S_1} \frac{\cos \alpha_1 \cos \alpha_2}{r^2} ds, \quad (2.18)$$

де α_1, α_2 – кути між напрямками падаючого і відбитого потоків світла та відповідних нормалей до поверхні що досліджуються;

B – яскравість поверхні випромінювання.

Будемо вважати, що площини в яких лежать поверхня що досліджується ($S(x, y)$) та площина, в якій лежить фотоприймач ($S'(\eta, \xi)$) паралельні між собою. Знайдемо відстань між точкою $A(x, y)$ в площині поверхні і точкою $B'(\eta, \xi)$ у площині фотоприймача з трикутника $AA'B'$:

$$r = \sqrt{L^2 + (x - \xi)^2 + (y - \eta)^2}, \quad (2.19)$$

де L – відстань між площиною фотоприймача і поверхнею, що відбиває світло.

Площини S' і S паралельні, тоді можна записати:

$$\cos \alpha_1 = \cos \alpha_2 = \frac{L}{r} = \frac{L}{\sqrt{L^2 + (x - \xi)^2 + (y - \eta)^2}}. \quad (2.20)$$

Тоді вираз (1.18) з урахуванням (1.19), (1.20) можна записати у вигляді:

$$E = BL^2 \iint_{S_i} \frac{dxdy}{(\sqrt{L^2 + (x - \xi)^2 + (y - \eta)^2})^2}. \quad (2.21)$$

Для спрощення обчислення інтегралу перейдемо до полярних координат:

$$\begin{cases} x = h \cos \varphi; \\ y = h \sin \varphi; \end{cases} \begin{cases} \xi = \rho \cos \theta; \\ \eta = \rho \sin \theta. \end{cases} \quad (2.22)$$

В результаті перетворень і використання табличного інтеграла отримаємо:

$$I = \frac{\pi}{4} \int_0^R \frac{\tau}{[\tau^2 + 4\rho^2\tau + 4\rho^2(L^2 + \rho^2)]^{\frac{3}{2}}} d\tau, \quad (2.23)$$

де $\tau = L + h + \rho$, h – поточна координата в площині S' .

Після інтегрування:

$$I = \frac{\pi}{2L^2} \left[1 - \frac{L^2 + h^2 - R^2}{\sqrt{h^2 + 2h^2(L^2 - R^2) + (L^2 - R^2)^2}} \right]. \quad (2.24)$$

де R – радіус площадки на фотоприймача:

$$R = \rho + L \operatorname{tg} \alpha_1 \quad (2.25)$$

де ρ – поточна координата точки поверхні що світиться.

Тоді вираз (2.21) для значення освітленості має вигляд:

$$E = \frac{\pi B}{2L^2} \left[1 - \frac{L^2 + h^2 - R^2}{\sqrt{h^2 + 2h^2(L^2 - R^2) + (L^2 + R^2)^2}} \right]. \quad (2.26)$$

Потік світла, що безпосередньо потрапляє на фотоприймач визначається як:

$$\Phi_{\text{фп}} = 2\pi \int_0^{R_{\text{фп}}} E(h) dh, \quad (2.27)$$

де $R_{\text{фп}}$ – радіус фотоприймача.

З урахуванням (2.26) можна записати:

$$\Phi_{\text{фп}} = \frac{\pi^2 B}{2} \left[1 - \frac{R^2 + R_{\text{фп}}^2 + L^2}{\sqrt{L^4 + (R_{\text{фп}}^2 - R^2)^2 + 2L^2(R_{\text{фп}}^2 - R^2)}} \right]. \quad (2.28)$$

Загальний потік світла, що відбивається від поверхні дорівнює:

$$\Phi_0 = \pi^2 B R^2. \quad (2.29)$$

Визначаючи A із (2.17) з урахуванням (2.28) і (2.29), отримаємо:

$$A = \frac{\Phi_{\text{фп}}}{\Phi_0} = \frac{1}{2R^2} \left[1 - \frac{R^2 + R_{\text{фп}}^2 + L^2}{\sqrt{L^4 + (R_{\text{фп}}^2 - R^2)^2 + 2L^2(R_{\text{фп}}^2 - R^2)}} \right]. \quad (2.30)$$

З метою оптимізації розмірів та конструктивних особливостей фотоприймача проаналізуємо вплив означених вище факторів на величину вихідного сигналу. Скориставшись виразом (2.30) розрахуємо коефіцієнт A залежно від зміни параметрів для L_0 від 1 мм до 2 мм з кроком 0,2 мм. На рис. 2.7-2.9 приведено графіки залежності A від відстані між віссю фотоприймача, від радіуса плями, яка формується в площині фотоприймача в результаті відбиття потоку світла від поверхні, а також від кута розширення пучка.

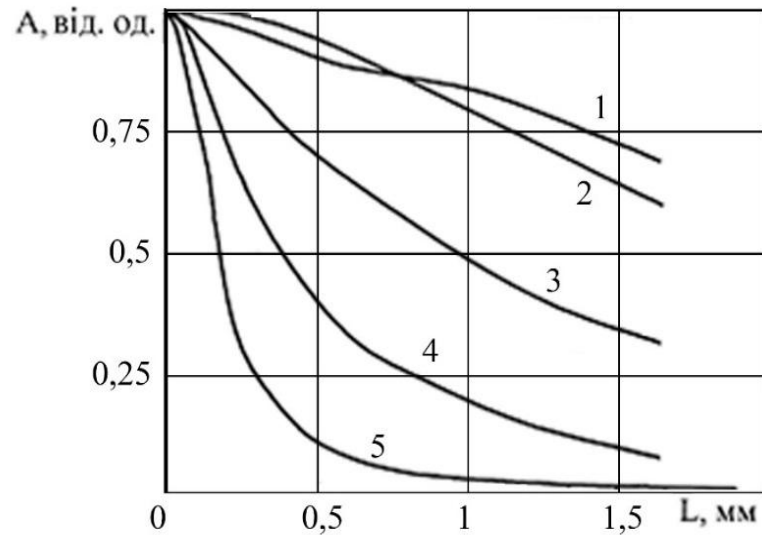


Рисунок 2.7 – Залежність коефіцієнта ефективності збору потоку світла A від відстані L між об'єктом і площиною фотоприймача

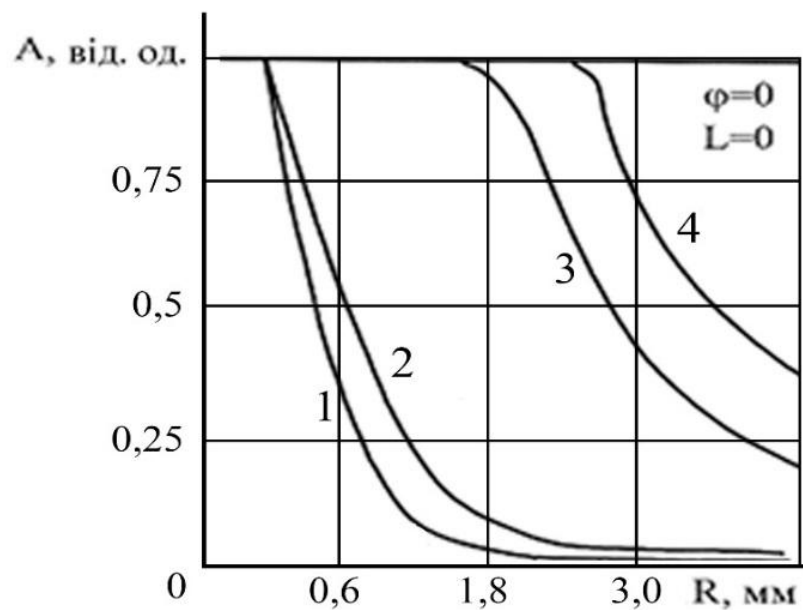


Рисунок 2.8 – Залежність коефіцієнта ефективності збору потоку світла від розміру світлової плями в площині фотоприймача

Як видно з рис. 2.9 при будь-якому співвідношенні $R/R_{\phi n}$ максимальна ефективність збору інформації буде при $L = 0$. При $R/R_{\phi n} > 1$ коефіцієнт ефективності A швидко зменшується (наприклад, при $R/R_{\phi n} = 0,5$ при $L = 0,6$ мм A становить близько 0.09 від максимального значення $A = 1$ при $L = 0$).



Рисунок 2.9 – Залежність коефіцієнта ефективності збору потоку світла від кута φ розширення пучка випромінювання

Залежність $A = f(R)$ при різних значеннях $R_{\varphi n}$ і постійному значенні $L = 0$ представлена на рис.2.10. Коефіцієнт ефективності збору інформації A збільшується з збільшенням $R_{\varphi n}$. При розширенні кута пучка величина A істотно не змінюється. Отримані результати можуть бути використані для оптимізації конструкції оптичного вузла при визначенні якості шерсті.

2.4 Аналіз джерел похибок при фотометричному визначенні кольору шерсті овець

Головними показником будь-якого приладу є достовірність і точність вимірювання. В нашому випадку головним завданням є забезпечення процесу визначення кольору шерсті з похибкою не більше ніж при суб'єктивному визначенні, що застосовується на теперішній час. При цьому автоматичний вимір забезпечить відсутність втоми на інших суб'єктивних факторів, що притаманно людині-експерту. Разом з тим, реалізація автоматичного визначення кольору має ряд об'єктивних чинників, що впливають на можливі похибки в результатах вимірювань.

Об'єктивними чинниками похибок є наступні:

- варіації напруги живлення - призводить до варіаціям довжини хвилі лазерних випромінювачів;
- широкий діапазон варіацій кольору шерсті – що утруднює чітке поділення на три градації кольору;
- великий рівень оптичних, електричних та механічних факторів (головним чином за рахунок зміни відстані від об'єкту вимірювання до фотоприймача та артефактів).

Вплив цих чинників полягає в наступному: варіації напруги призводять до варіацій довжини хвилі випромінювачів, це може приводити до похибок, оскільки при формуванні алгоритму обробки сигналів вважається стабільною довжина хвилі випромінювання.

При зміні частоти випромінювання змінюється інтенсивність відбитого випромінювання. Особливо це може бути критичним при вимірюванні кольору, що знаходиться на межі стандартних кольорів (світло-сірий; середньо-сірий; темно-сірий).

На практиці спектр кольорів шерсті дуже широкий. Тому, можливі похибки за рахунок наявності кольорів, що знаходяться на межі двох з трьох базових. Їх часткове зменшення може бути досягнуто за рахунок збільшення кількості вимірів кольору однієї тварини.

Традиційні причини похибок – артефакти найбільш складна складова похибок вимірювання. Перш за все це оптичні зовнішні і паразитні внутрішні засвічення приймача, електричні шуми і наведення, механічні рухові ефекти. Врахування артефактів неможливе в принципі. Тому, значні відхилення показників вимірювання потрібно відкидати і не враховувати при обробці сигналів фотоприймачів. Крім вище зазначених слід враховувати похибки аналого-цифрового перетворення сигналу та шуми аналогової електричної частини. Методика розрахунку результатів вимірювання також може мати похибки методичного характеру. Розглянемо детально причини похибок.

На рис.2.10 показана схема перетворення сигналів в приладі визначення кольору шерсті. Шляхи здійснення калібрування та зворотного

зв'язку показані пунктирними лініями. Стрілками позначено вплив дестабілізуючих факторів, джерел похибок, перешкод і шумів, у відповідних блоках. Варіації напруги джерел живлення впливають на роботу джерел світла та на роботу усіх вузлів приладу. Причинами нестабільності напруги можуть бути нестабільності напруги в мережі, температурний дрейф елементів та використання старих компоненти в електронній схемі, особливо це стосується накопичувальних конденсаторів.

Для підвищення потужності випромінювання випромінювачі можна здійснювати модуляцію світлового потоку випромінювача. Зазвичай, частота модуляції лежить в діапазоні 1-20 кГц.



Рисунок 2.10 – Структурна схема перетворення сигналів та джерела похибок приладу вимірювання кольору

В прийнятному тракті, в такому випадку, виконується демодуляція. Тому, необхідно забезпечувати високу стабільність генератора що задає модуляцію. У цілому нестабільність напруги живлення ΔU_n і частоти модуляції Δf_m в межах $\pm 0,1 \%$ [183]. При цьому може бути зміна спектрального складу випромінювання.

Оптична частина фотоприймача повинна бути побудована таким чином, щоб виключити попадання зовнішнього світла на реєстратор випромінювання. У випадку дослідження шерсті реалізувати це достатньо складно. Причини виникнення похибок вимірювання приведені в табл. 2.1.

Вирішенням проблеми може бути забезпечення мінімальної відстані від фотоприймача до шерсті. Модуляції світлового потоку також знижує вплив зовнішнього засвічення але це має місце при лінійної світловий характеристикі фото реєстратора.

Об'єктом вимірювання є поверхня спини вівці, тому відбиття R і величина світлового сигналу змінюється. При цьому, може змінюватися не тільки інтегральний коефіцієнт відбиття, а форма спектральної характеристики. Покажемо це таким чином: відхилення коефіцієнта відбиття ΔR можна вважати пропорційним відхиленню довжині шляху проходження світла Δl :

$$\Delta R = \rho \Delta l, \quad (2.31)$$

де ρ – питомий коефіцієнт втрат.

Дане співвідношення можна використовувати при розрахунку мінімальної похибки, що вноситься конструкцією датчика.

Поверхню шерсті можна вважати джерелом випромінювання, яке повинно бути зареєстровано фотоприймачем. Визначимо очікувану похибку вимірювання за рахунок розкиду шляхів прямого проходження світла в проміжку джерело - фотоприймач (рис. 2.11).

Таблиця 2.1 – Причини виникнення похибок

Джерела похибок	Похибки		
	Систематичні		Випадкові
	Методичні	Інструментальні	
1	2	3	4
Джерело живлення	Втрати на з'єднання	Нестабільність ємності конденсаторів	Зовнішній електромагнітні завади
Випромінювач	Вплив напруги живлення	Інерційність, старіння	Шум джерела
Оптичні елементи	Внутрішні засвічення	Зовнішнє світло	Похибки установки
Поверхня, що досліджується	Нестабільність відстані від давача до поверхні	Вплив сторонніх фракцій в шерсть	Стан поверхні шерсті
Приймач випромінювання	Температура, напруга живлення	Інерційність	Шум приймача
Підсилювач	Не лінійність посилення	Старіння компонентів	Шум підсилювача,
Фільтр		Динамічні і фазові характеристики	Нестабільність АЧХ
АЦП	Квантування за рівнем	Дискретизація за часом	Нестабільність квантування
Обчислювач	Похибки калібрування	Похибки обчислення	

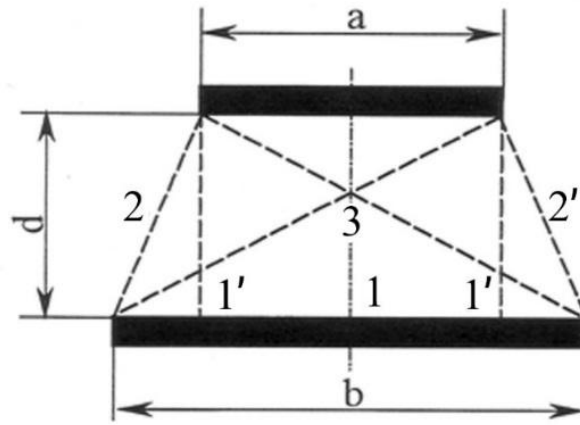


Рисунок 2.11 – Мінімальні шляхи дифузійного пропускання світла в датчику приладу визначення кольору

Вважаючи, що джерело і приймач кругової форми і виконується вертикальне співпадіння центрів приймача і джерела. В цьому випадку можна визначити максимальний шлях фотонів, що відповідає протилежним крайнім точкам джерела і приймача:

$$l_m = d \sqrt{1 + \left(\frac{a+b}{2d}\right)^2}, \quad (2.32)$$

де d – відстань між поверхнею шерсті і приймачем;

a – розмір плями на поверхні шерсті;

b – розміри ефективною поверхні приймача.

Розкид довжин шляхів фотонів при їх прямолінійному розповсюдженні лежить в межах:

$$d \leq l \leq l_m. \quad (2.31)$$

Внаслідок дифузійного віддзеркалення нерівність праворуч розширюється. Розглянемо мінімальний граничний випадок до яких призводять похибки в роботі приладу.

Позначимо $\Delta l_m = l_m - d$. Тоді, відносне максимальне відхилення довжин шляхів:

$$\frac{\Delta l_m}{d} = \sqrt{1 + \left(\frac{a+b}{2d}\right)^2} - 1. \quad (2.34)$$

Ймовірний розподіл довжин шляхів фотонів може бути розраховано, якщо врахувати діаграму спрямованості джерела. Приймаючи її у вигляді кулі, чисельними методами [176] була отримана функція щільності ймовірності $W(L)$, яка показана на 2.12 а, крива 1 (для випадку $A=B=3$ мм, $D=8$ мм). Спрощуючи рішення задачі, використовуємо лінійну апроксимацію, отримаємо:

$$W(l) = \begin{cases} 0 & \text{при } l < d \\ 2(kl_m - l)/(l_m - d)^2 & \text{при } d \leq l \leq l_m \\ 0 & \text{при } l > d \end{cases} \quad (2.35)$$

де $k = 1-1,2$ – коефіцієнт ефективного розширення функції $W(L)$.

Надалі прийmemo $k = 1$.

Середнє ефективне значення шляху фотонів між джерелом і приймачем:

$$l_{cp} = \int_d^{l_m} W(l) l dl = \frac{1}{3}(2d + l_m) \quad (2.36)$$

Середньо квадратичне відхилення від середнього становить:

$$\Delta d = 0,78(l_m - d).$$

Отримане співвідношення можна використовувати для визначення інструментальних похибок спектральних характеристик пропускання.

Вихідна інформація для визначення кольору призводить до визначення співвідношення:

$$R = \frac{AC_1}{DC_1} : \frac{AC_2}{DC_2}, \quad (2.37)$$

де AC – змінні, а DC – постійні складові електричних сигналів приймача протягом декількох циклів вимірювання, індекси 1 і 2 відповідають сигналам, отриманих в двох різних спектральних областях [181] (рис. 2.13).

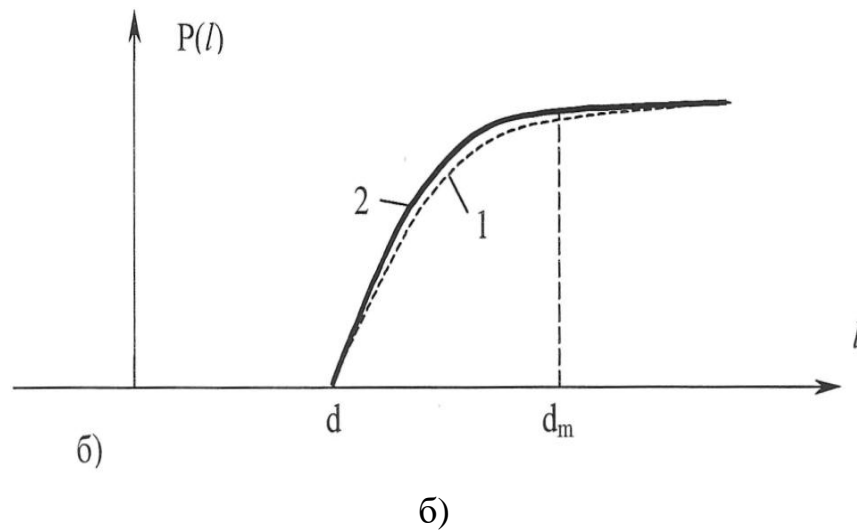
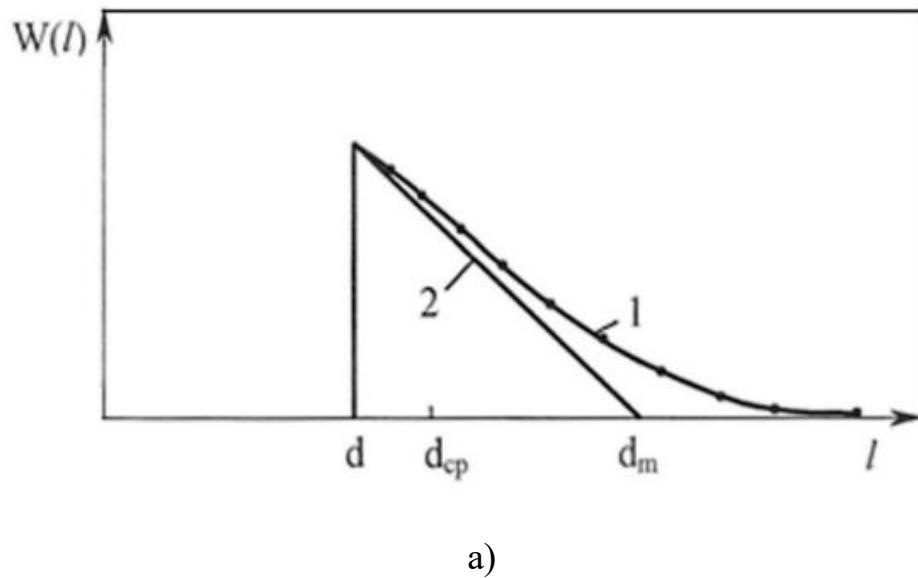


Рисунок 2.12 – Оцінка похибок спектральних характеристик пропускання:

а – функція щільності ймовірності; б – функція ймовірності для оптичних шляхів датчика ПНК

Тоді, співвідношення для визначення R може бути представлено у вигляді:

$$R = k \frac{(T_{11}-T_{12})(T_{21}+T_{22})}{(T_{11}+T_{12})(T_{21}-T_{22})}, \quad (2.38)$$

де T_{11} , T_{12} , T_{21} , T_{22} – спектральні характеристики $T_1(\lambda_1)$, $T_2(\lambda_2)$, перші індекси позначають номери довжин хвиль (λ_1 , λ_2), другі – номери станів вимірювання;

k – коефіцієнт пропорційності, що залежить від способу визначення змінних складових (середньоквадратичне, амплітуда першої гармоніки та ін.).

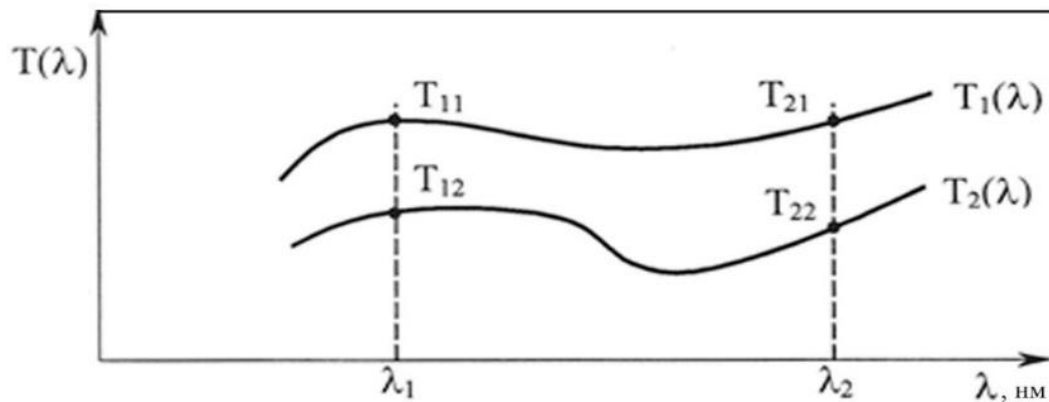


Рисунок 2.13 – Визначення інструментальної похибки

Величина T_{ij} залежить від ефектів віддзеркалення в конкретній точці шерсті, при двох вимірах, тобто при двох значеннях l_1 і l_2 .

Крім цього, на величину сигналу впливають розмір ворсинок, їх орієнтування μ_k , l_k , та відмінність довжин оптичних шляхів при кожному вимірі враховуючи геометрію датчика Δl_1 .

Визначимо значення параметра R в вигляді:

$$R = \frac{k\{[eks(-\mu_1 l_1) - eks(-\mu_1 l_2)] \cdot [eks(-\mu_2 l_1) + eks(-\mu_2 l_2) + 2eks(-\mu_k l_k)]\}}{\{[eks(-\mu_1 l_1) + eks(-\mu_1 l_2) + 2eks(-\mu_k l_k)] \cdot [eks(-\mu_2 l_1) - eks(-\mu_2 l_2)]\}} \quad (2.39)$$

Для обчислення середнього значення R_{cp} необхідно підставити $l_1 = k_1 l_{cp}$, $l_2 = k_2 l_{cp}$, де k_1 і k_2 – коефіцієнти, що характеризують показники шерсті, ($k_1, k_2 < 1$). Похибка обчислення R можна знайти шляхом обчислення $R(d)$ $R(l_m)$ або $R(d)$ при заміні у співвідношеннях для l_1 , l_2 , величини l_{cp} на d і l_m відповідно. Тоді відносна похибка визначається:

$$\delta R = [R(d) - R(l_m)]/R_{cp} \quad (2.40)$$

Отримані співвідношення показують досить складні залежності R від різних факторів, більшість яких майже неможливо оцінити реально.

Ці співвідношення показують взаємозв'язок результуючої похибки з параметрами поверхні шерсті та з розмірами плями світла на поверхні шерсті і приймача.

Похибки електронних блоків приладу включають похибки підсилювача, детектора, фільтра, також похибки аналого-цифрового перетворювача. Це класичні похибки, достатньо проаналізовані в літературі. Головним чином вони характеризуються температурними коефіцієнтами, варіаціями напруги живлення, власними шумами, похибками квантування і дискретизації сигналів. Зменшення похибок може бути досягнуто періодичним калібруванням приладу та проведенням декількох вимірювань одного об'єкту.

Слід також враховувати динамічні похибки, що виникають за рахунок переміщення тварини та можливі його рухи в момент вимірювання.

Загальна похибка приладу може бути визначена за допомогою наступного співвідношення:

$$\Delta Y_{\Sigma} = \sum_{i=1}^{n_c} A_{q_i} \Delta q_i + \sum_{j=1}^{n_m} A_{q_j} C(q_j) \delta q_j \pm \sqrt{\sum_{l=1}^{n_{cl}} A_{q_l}^2 K_{q_l}^2 \delta q_l^2} \quad (2.41)$$

де Δq_i , δq_j , δq_l – абсолютні та відносні первинні похибки;

A_{q_i} , A_{q_j} , – коефіцієнти впливу;

$C(q)$ – функція перетворення інструментальної похибки;

K_{q_l} – коефіцієнти враховують вид закону розсіювання випадкової первинної похибки.

2.5 Визначення статистичних оцінок при одновимірній задачі спектрального визначення кольору шерсті

У приладах визначення кольору здійснюється перетворення істинних спектрів випромінювання що реєструються приладом у вихідні фізичні величини.

Зв'язок між спектром що досліджується $y(\lambda)$ і експериментальними даними $u(s)$, де s – частота, довжина хвилі, енергії або інша величина, визначається у вигляді:

$$\int_a^b K(s, \lambda) y(\lambda) d\lambda + \xi(s) = u(s), \quad (2.42)$$

де $\xi(s)$ – шум помилок вимірів;

$K(s, \lambda)$ – «апаратна функція», яка вважається відомою, якщо на вхід надходить монохроматичне випромінювання $y(\lambda)$ одиничної інтенсивності зі спектральної функцією, близькою до δ – функції $u(s)$. являє собою вимірний спектр.

На практиці ситуації зазвичай помилки вимірювань представляють у вигляді адитивних випадкових складових. При імовірнісному характеру всіх складових виразу (2.42) рішення зворотної задачі з метою знаходження істинної функції $y(\lambda)$ не реально. Розглянемо мінімізовану постановку задачі і її представлення у матричній формі:

$$K\bar{y} + \bar{\xi} = \bar{u}, \quad (2.43)$$

де \bar{y} – вектор розмірності $(m \times 1)$ на сукупність m - точок, що шукаємо;

\bar{u} – вектор $(n \times 1)$ даних, що отримують в результаті вимірювань;

$\bar{\xi}$ – вектор помилок вимірювань з нульовим математичним очікуванням що задано коваріаційною матрицею V , K – матриця $(n \times m)$, що відповідає логічному оператору задачі.

Вектори вимірювань \bar{u} і спектру \bar{y} мають імовірнісний характер. Функція $y(\lambda)$ повинна задовольняти умові гладкості, що еквівалентно стабілізуючому функціоналу Тихонова [184] і в загальному вигляді можна записати:

$$\int_{-\infty}^{\infty} \sum_{t=0}^p q_t(\lambda) \left[\frac{q^t}{d\lambda^t} \right]^2 d\lambda = h, \quad (2.44)$$

де $q_i(\lambda)$ – задана невід’ємна негативна функція (частоти).

У кінцево-різнісній формі (2.44) може бути представлено у вигляді:

$$\sum_{i=0}^p (\bar{y}^t \Omega_i \bar{y}) = b, \quad (2.45)$$

де

$$\Omega_i = (D_i^t z_i^t z_i D_i), \quad (2.46)$$

де b – позитивне число;

h – позитивне число;

D_i – матриця чисельного диференціювання порядку i ;

z_i – діагональна матриця:

$$z_i = \begin{pmatrix} \sqrt{q_i(\lambda_1)} & & \\ & \dots & \\ & & \sqrt{q_i(\lambda_m)} \end{pmatrix} \quad (2.47)$$

Розглянемо рішення (2.43) в рамках методу статистичної регуляризації на основі підходу Байєса [184]. Вважаємо, що для відомого перетворення $K(s, \lambda)$ відповідно визначена умовна щільність ймовірності:

$$p(\bar{u} | \bar{y}) = p_\xi(\bar{u} - K\bar{y}). \quad (2.48)$$

Тоді апостеріорна щільність вірогідності визначається за формулою Байєса:

$$p(\bar{u} | \bar{y}) = \frac{p(\bar{y})p(\bar{u} | \bar{y})}{\sum_{i=1}^m p(y_i)p(\bar{u} | \bar{y}_i)}. \quad (2.49)$$

Оскільки вектор помилок вимірювань передбачається нормально розподілений з нульовим математичним очікуванням, то вираз (2.49) можна записати у вигляді:

$$p(\bar{u} | \bar{y}) = \left(\sum_{i=1}^m p(y) p(\bar{u} | \bar{y}) \right)^{-1} \exp \left\{ -\frac{\alpha}{2} (\bar{y}^{-T} \Omega_p \bar{y}) \right\} \exp \left\{ -\frac{1}{2} (K\bar{y} - u)^T v (K\bar{y} - u) \right\} \quad (2.50)$$

Перетворимо (2.50), виділяючи повний квадрат:

$$p(\bar{u} | \bar{y}) = c \exp \left\{ -\frac{1}{2} (\bar{y} - \bar{b})^T L (\bar{y} - \bar{b}) \right\}, \quad (2.51)$$

$$\text{де} \quad L = K^T V K + \alpha \Omega_p \quad (2.52)$$

$$\bar{b} = L^{-1} K^T V \bar{u} \quad (2.53)$$

Константа нормування:

$$c = 2\pi^{m/2} \det(K^T V K + \alpha \Omega_p)^{1/2} \quad (2.54)$$

відповідно (2.46) Ω_p дорівнює:

$$\Omega_p = \sum_{i=1}^p (D_i^t z_i^t z_i D_i) \quad (2.55)$$

Параметр регуляризації α у виразі (2.52) визначимо на основі принципу максимуму ентропійного інтегралу, записаного для ймовірності:

$$I = - \int p(\bar{y}) \ln p(\bar{y}) d\bar{y} \quad (2.56)$$

Рішення даної варіаційної задачі виконаємо методом невизначених множників Лагранжа. Для цього утворимо допоміжну функцію:

$$\hat{O}[p(\bar{y})] = p(\bar{y}) \ln[p(\bar{y})] + \frac{\alpha}{2} (\bar{y}^t \Omega_i \bar{y}) p(\bar{y}) \quad (2.57)$$

Для отримання екстремуму (2.57) необхідно:

$$\frac{\delta \bar{O} [p(\bar{y})]}{\delta p} = 0$$

що дає загальне рішення:

$$\ln p(\bar{y}) + (\bar{y}^t \Omega_i \bar{y}) \frac{\lambda}{2} + c_1 = 0. \quad (2.58)$$

Звідки:

$$p(\bar{y}) = c_1 \exp \left\{ -\frac{\alpha}{2} (\bar{y}^t \Omega_i \bar{y}) \right\}, \quad (2.59)$$

де c_1 можна визначити з умови нормування:

$$\int p(\bar{y}) d\bar{y} = 1. \quad (2.60)$$

Використовуючи (2.59), зводимо умови (2.60) до обчислення стандартних інтегралів ймовірності:

$$\begin{aligned} \int c_1 \exp \left\{ -\frac{a}{2} (\bar{y}^t \Omega_i \bar{y}) \right\} d\bar{y} &= c_1 c_1 (\det \sqrt{a} D_i)^{-1} \int \exp \left\{ -\frac{1}{2} \bar{y}^T \bar{y} \right\} d\bar{y} = \\ &= c_1 (\det \sqrt{a} D_i)^{-1} \left(\int_{-\infty}^{\infty} e^{-\frac{x^2}{2}} dx \right)^m = c_1 (\det \sqrt{a} D_i)^{-1} (\sqrt{2\pi})^m. \end{aligned} \quad (2.61)$$

Використовуючи (2.60) отримаємо:

$$c_1 = \left(\frac{a}{2\pi} \right)^{\frac{m}{2}} \det D_i \left(\frac{a}{2\pi} \right)^{\frac{m}{2}} \det \Omega_k^{-\frac{1}{2}}.$$

Для того, щоб визначити зв'язок між c_1 та α скористаємося інтегральним поданням для виразу (2.45):

$$\int_m (\bar{y}^{-T} D_i^T D_i \bar{y}) p(\bar{y}) d\bar{y} = h. \quad (2.62)$$

При нескінченній області інтегрування по m з використанням аналогічної заміни змінних отримаємо:

$$a = \frac{m}{h}. \quad (2.63)$$

Таким чином, для оптимального оцінювання по Байєсу \bar{y} по $p(\bar{y}|\bar{u})$ необхідно визначити його математичне сподівання $M[\bar{y}]$:

$$M[\bar{y}] = \int \bar{y} p(\bar{y}|\bar{u}) d\bar{y}. \quad (2.64)$$

З урахуванням симетрії розподілу Гауса, безпосередньо отримаємо:

$$\bar{y}_a = M[\bar{y}] = \bar{b} = L^{-1}K^T\sqrt{u} = (K^TVK + a\Omega_p)^{-1}K^T\sqrt{u}. \quad (2.65)$$

Знайдемо коваріаційну матрицю оцінки $\bar{y}_a - \bar{y}$:

$$V_a = M[(\bar{y}_a - \bar{y})(\bar{y}_a - \bar{y})] = (K^TVK + a\Omega_p)^{-1} \quad (2.66)$$

Діагональні елементи цієї матриці можуть служити оцінкою похибки визначення компонент з урахуванням апріорної та експериментальної інформації.

В отриманому виразі (2.65) для оцінки \bar{y} коефіцієнт a задається не точно в силу достатньо вільного вибору згідно (2.63).

Розглянемо можливість визначення a непрямым шляхом за допомогою зіставлення \bar{y}_a (2.65) з найкращою лінійною оцінкою \bar{y} по \bar{u} [186].

Позначимо лінійну оцінку в загальному вигляді:

$$\bar{y}_t = a\bar{u} + \bar{b} \quad (2.67)$$

Завдання полягає у виборі таких a і b , при яких мінімізується середня квадратична помилка відновлення:

$$\Delta\tilde{y} = M\{(\bar{y} - \bar{y}_e)^T(\bar{y} - \bar{y}_e)\} = s_p[M\{(\bar{y} - \bar{y}_e)(\bar{y} - \bar{y}_e)^T\}] \quad (2.68)$$

Для цього достатньо прирівняти нулю результат диференціювання форми (1.68) за вектором. Як показано в [186], згідно з принципом ортогональності, що необхідних з достатньою умовою оптимальності оцінки y_e є виконання умови:

$$M\{(\bar{y} - \bar{y}_e) (\bar{u} - M\{\bar{u}\})^T\} = 0 \quad (2.69)$$

Зазвичай виконується також умова незсуненості:

$$M\{\bar{y}_e\} = M\{\bar{y}\}. \quad (2.70)$$

Підставляючи (2.67) в (2.70), отримаємо:

$$\bar{b} = M\{\bar{y}_e\} - aM\{\bar{u}\} = 0. \quad (2.71)$$

Підставляючи (2.67), (2.71) в (2.69), отримаємо:

$$\begin{aligned} M\{(a\bar{u} + M\{\bar{y}\} - aM\{\bar{u}\} - \bar{y})(\bar{u} + M\{\bar{T}\})^T\} &= \\ &= M\{(a(\bar{u} - M\{\bar{u}\}) - (\bar{y} - M\{\bar{y}\}))(\bar{u} - M\{\bar{u}\})^T\} = \\ &= a[M\{(\bar{u} - M\{\bar{u}\})(\bar{u} - M\{\bar{u}\})^T\} - M\{(\bar{y} - M\{\bar{y}\})(\bar{y} - M\{\bar{y}\})^T\}] = \\ &= aR_{uy} - R_{yu} = 0. \end{aligned}$$

Звідки для не вироджених R_{uu} :

$$a = R_{yu}(R_{yu})^{-1}. \quad (2.72)$$

В результаті отримуємо найкращу лінійну оцінку:

$$\bar{y}_e = R_{yu}(R_{yu})^{-1}\bar{u} + M\{\bar{y}\} + R_{yu}(R_{yu})^{-1}M\{\bar{u}\}. \quad (2.73)$$

Стосовно до розв'язуваної задачі (2.43) зазвичай передбачається, що відомі кореляційна матриця шуму $R_{\xi\xi}$ і випадкового вектору $\bar{y} - R_{yy}$, не кореляційність векторів \bar{y} і $\bar{\xi}$ та $M\{\bar{\xi}\} = 0$ тоді:

$$R_{yu} = M\{\bar{y}(K\bar{y} + \bar{\xi})^T\} = M\{\bar{y}\bar{y}^T\}K^T = R_{yy}K^T$$

і кінцева найкраща оцінка приймає вигляд:

$$\bar{y}_i = R_{yy}K^T(KR_{yy}K^T + R_{\xi\xi})^{-1}\bar{u}. \quad (2.74)$$

З використанням матричної тотожності:

$$(E + FB)^{-1} = E - (E + BA)^{-1}B.$$

Враз (4.46) можна привести до вигляду:

$$\bar{y}_l = (K^T R_{\xi\xi} K + R_{yy}^{-1})K^T R_{\xi\xi}^{-1}\bar{u}. \quad (2.75)$$

Порівнюючи отриманий вираз з (2.65), можна затверджувати їх еквівалентність за умови:

$$\bar{R}_{yy}^{-1} = a\Omega_p.$$

Тоді:

$$\bar{y}_a = \frac{1}{a}\Omega_p^{-1}K^T\left(\frac{1}{a}K\Omega_p^{-1}K^T + V^{-1}\right)^{-1}\bar{u}. \quad (2.76)$$

Так само, як елементи вектору u , параметр статистичної регуляризації α повинен розглядатися у вигляді деякого випадкового параметра із заданою апіорною щільністю ймовірності $p(\alpha)$.

Тоді спільний апіорний розподіл вектору має вигляд:

$$p(\bar{y}_s) = p(\bar{y} | a)p(a) = c \exp \left\{ -\frac{a}{2} (\bar{y}^T \Omega \bar{y}) \right\} p(a). \quad (2.77)$$

Оскільки умовна щільність ймовірності $p(\bar{u} | \bar{y}_s)$ збігається з $p(\bar{u} | \bar{y})$, апостеріорна щільність ймовірності вектору має вигляд:

$$p(\bar{y}_s | \bar{u}) = c p(a) \left(\frac{1}{2\pi} \right)^{m/2} (\det a \Omega)^{1/2} \exp \left\{ -\frac{a}{2} (\bar{y}^T \Omega \bar{y}) \right\} \times \\ \times \exp -\frac{1}{2} (K\bar{y} - \bar{u})^T V (K\bar{y} - \bar{u}). \quad (2.80)$$

Максимум апостеріорної ймовірності знайдемо, диференціюючи $\ln[p(\bar{y}_s | \bar{u})]$ за a і прирівнюючи результат нулю:

$$\frac{m}{2} \frac{1}{a} - \frac{1}{2} (\bar{y}^T \Omega \bar{y}) + \frac{p'_a(a)}{p_a(a)} = 0,$$

звідки:

$$a = \frac{m}{(\bar{y}^T \Omega_p \bar{y}) - 2p'_a(a)p^{-1}(a)}. \quad (2.81)$$

Зокрема, при $p(a) = \text{const}$ отримуємо оцінку:

$$a = \frac{m}{(\bar{y}^T \Omega_p \bar{y})}. \quad (2.82)$$

Розглядаючи оцінку a з точки зору найкращого середньоквадратичного приближення, побудуємо маргінальну щільність ймовірності:

$$p(a | \bar{u}) = \int p(\bar{p}_s | \bar{u}) dy.$$

На основі (2.77) і (2.61) отримаємо:

$$p(a | \bar{u}) = G(\det a \Omega_p)^{1/2} (\det L)^{-1/2} \exp \left\{ \frac{1}{2} (\bar{b}^T L \bar{b}) \right\} p(a). \quad (2.83)$$

де, $L = (K^T V K + a \Omega_p)$, $\bar{b} = L^{-1} K^t \sqrt{\bar{u}}$.

Диференціюючи $\ln[p(a | \bar{u})]$ по a , отримуємо оцінку a з умови максимуму апостеріорної ймовірності:

$$\frac{m}{a} = s_p(L^{-1}\Omega_p) + \bar{u}^t V K L^{-1} K^t \sqrt{u} - 2p'_a(a)p^{-1}(a). \quad (2.84)$$

При $p(a) = \text{const}$ рішення зводиться до приватного рішенням:

$$\frac{m}{a} = T_r(L^{-1}) + (\bar{y}_a^T \Omega_p \bar{y}_a), \quad (2.85)$$

де T_r – слід матриці.

Використовуючи співвідношення (2.73) і (2.76) обчислювальними засобами можна визначити справжнє значення спектральних складових за результатами вимірювання при низькому співвідношенні сигнал/шум, що має значення при вимірюванні кольору в умовах забруднення шерсті або індивідуальних особливостей вівці, при яких зменшується корисний сигнал.

Висновки по розділу 2:

1. Автоматизація процесу дистанційного визначення кольору шерсті можлива при реалізації спектрографічного методу з використанням лазерного джерела світла.

2. В результаті проведеного моделювання складових потоку світла, відбитого від поверхні шерсті, показано, що ефекти дифузійного розсіяння від поверхні шерсті можуть бути покладені в основу методу визначення її якості.

3. Показано, що для аналізу якості шерсті по відбиттю світла від її поверхні, необхідно реєструвати зміну складову сигналу, яка корелює з якістю шерсті.

4. Проаналізовано ефективність збору світла відбитого від поверхні та показана залежність параметрів та конструкції фотоприймача на результат вимірювання:

5. Визначені головні джерела похибок на окремих етапах перетворення отриманої інформації та дана оцінка загальної похибки вимірювання кольору.

6. Отримано співвідношення для оцінки похибок вимірювання, особливо в умовах малого співвідношення сигнал/шум.

РОЗДІЛ 3

РОЗРОБКА ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ ДІАГНОСТИКИ ОПТИЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ШЕРСТНОГО ПОКРИВУ І ШКІРИ ОВЕЦЬ

3.1 Розробка способу визначення фізико-біологічних характеристик шерстного покриву та шкіри тварин

Одною із важливих фізико-біологічних характеристик шерстного покриву та шкіри тварин є вміст в них пігменту меланіну, а також вміст крові у шкірі, що визначаються відповідно по степені меланінової пігментації шерстного покриву і шкіри та по степені вираження еритеми шкіри [187].

Типовий спосіб для визначення степені вираження еритеми шкіри і степені меланінової пігментації, базується на вимірюванні спектральних залежностей коефіцієнтів дифузного відбиття шкіри в діапазоні довжин хвиль 450-760 *нм*, і визначенні оптичної густини в даному діапазоні та розрахунок степені вираження еритеми по формулі [188, 214]:

$$E = 100[D_{560} + 1,5(D_{560} + D_{575}) - 2,0(D_{510} + D_{610})], \quad (3.1)$$

де нижні індекси позначають довжини хвиль в нанометрах, на яких визначаються оптична густина шкіри після ультрафіолетового опромінення.

Недоліком даного способу, не дивлячись на його високу точність, є необхідність використання складного лабораторного обладнання, а також наявність спеціально підготовленого та кваліфікованого персоналу.

Відомий спосіб для вимірювання фізико-біологічних характеристик шкіри і слизової оболонки, який базується на розрахунку коефіцієнтів зворотного розсіяння світла біотканиною, який розраховується за формулою [189]:

$$D(i) = \left(\frac{U_p(i)}{U_{эт}(i)} \right) D_{эт}(i), \quad (3.2)$$

де $D_{эт}(i)$ – заздалегідь відомий коефіцієнт зворотного розсіяння світла еталоном у i -тому спектральному діапазоні;

$U_p(i)$, $U_{эт}(i)$ – відповідно робочі та еталонні покази вимірювального приладу (напруги з фотоприймача).

Далі, для кожного спектрального діапазону вираховується ефективне оптичне поглинання тканиною:

$$K(i) = \beta(i) \cdot \frac{(1-D(i))^2}{D(i)}, \quad (3.3)$$

де $\beta(i)$ – коефіцієнти для i -го спектрального діапазону, які визначаються під час калібрування вимірювального пристрою на різних зразках біотканин.

Найбільш близьким за технічною сутністю є спосіб визначення індексів пігментації та вираження еритеми шкіри, який базується на вимірюванні коефіцієнтів дифузного відбиття шкіри на трьох довжинах хвиль, одну з яких λ_1 , вибирають в жовто-зеленій області спектру, а дві інші, λ_2 та λ_3 , – в червоній області спектру, розрахунок значень ефективної оптичної густини шкіри OD_1 , OD_2 і OD_3 для кожної довжини хвилі та визначення характеристик шкіри із співвідношень, при чому індекс еритеми визначають по формулі [190]:

$$E = 100 \left[OD_1 - OD_2 - \frac{M}{k} \Delta\lambda_{12} \right] \quad (3.4)$$

де: $\Delta\lambda_{12} = \lambda_1 - \lambda_2$, $\lambda_1 = 560$ нм, $\lambda_2 = 650$ нм, k – калібрувальний коефіцієнт, а M – степінь меланінової пігментації, яка визначається за формулою:

$$M = k \left(\frac{OD_2 - OD_3}{\Delta\lambda_{23}} \right), \quad (3.5)$$

де: $\Delta\lambda_{34} = \lambda_3 - \lambda_4$, $\lambda_3 = 710$ нм.

Метою розробки є підвищення точності визначення степені меланінової пігментації шкіри тварин зі збереженням можливості визначення степені вираження еритеми шкіри та одночасним визначенням степені меланінової пігментації шерстного покриву.

Сформульована мета досягається тим, що в для визначення фізико-біологічних характеристик шерстного покриву та шкіри застосовується прилад (рис.3.1), який базується на вимірюванні степені меланінової пігментації та вираження еритеми, що зводиться до вимірювання коефіцієнтів дифузного відбиття шерстного покриву та шкіри на чотирьох довжинах хвиль, дві з яких знаходяться у синій λ_1 та жовто-зеленій λ_2 областях спектра, а дві інші, λ_3 і λ_4 , в червоній областях спектра, розрахунку значень оптичної густини шерстного покриву та шкіри D_1 , D_2 , D_3 та D_4 для кожної довжини хвилі і визначення характеристик шерстного покриву та шкіри із співвідношень, при цьому степінь пігментації шерстного покриву визначають по формулі:

$$M_w = k_k \left[\left(\frac{D_3 - D_4}{\Delta\lambda_{34}} \right) - \left(\frac{D_3^{hrts} - D_4^{hrts}}{\Delta\lambda_{34}} \right) \right], \quad (3.6)$$

де $\Delta\lambda_{34} = \lambda_3 - \lambda_4$, k_k – калібрувальний коефіцієнт.

Відповідно запропонованому рішення для визначення степені меланінової пігментації шерстного покриву додатково вимірюють коефіцієнти дифузного відбиття ділянки шкіри без волосяного покриву, на двох довжинах хвиль у червоному спектрі довжин хвиль, з наступним розрахунком оптичної густини D_3^{hrts} , D_4^{hrts} , та визначення степені меланінової пігментації на даній ділянці шкіри зі співвідношення:

$$M_s = k_t k_k \left(\frac{D_3 - D_4}{\Delta\lambda_{34}} \right), \quad (3.7)$$

де k_t – коефіцієнт, який враховує тип тварини.

Визначення степені вираження еритеми проводять із урахуванням усіх значень оптичної густини зі співвідношення:

$$E_s = 100 \left[D_1 - D_2 - (D_2 - D_3) \frac{\Delta\lambda_{12}}{\Delta\lambda_{23}} - (D_3 - D_4) \frac{\Delta\lambda_{12}}{\Delta\lambda_{34}} \right], \quad (3.8)$$

де $\Delta\lambda_{12} = \lambda_1 - \lambda_2$.



Рисунок 3.1 – Спосіб визначення фізико-біологічних характеристик шерстного покриву та шкіри тварин

Спосіб може бути реалізований за допомогою приладу, який складається з джерела живлення, джерел випромінювання розміщених в

оптичній головці разом з детектором, що вимірює розсіяне шерстним покривом та шкірою випромінювання, в якості джерела випромінювання оптичної головки застосовують напівпровідникові лазери з довжиною хвилі 405, 532, 650, 780 *нм* та широкосмуговим приймачем відбитого шкірою і шерстним покривом випромінювання. При цьому, приймач випромінювання складається з декількох приймачів оптичного випромінювання, налаштованих на відповідну довжину хвиль [118].

3.2 Прилад для вимірювання фізико-біологічних характеристик шерстного покриву та шкіри

Існують прилади для визначення степеня меланінової пігментації та вираження еритеми шкіри свиней включає спектрофотометр, з вихідного отвору якого, крізь волоконно-оптичну систему, спрямовується випромінювання у діапазоні довжин хвиль 400-700 *нм* на дослідну ділянку шкіри. Відбите світло потрапляє крізь вхідний отвір оптичної системи на катод фотоелектронного помножувача, який далі підсилює його та перетворює у сигнали, що обробляються в електронному блоці обробки сигналів. Зареєстровані сигнали відображаються на індикаторі визначення індексів меланінової пігментації та еритеми шкіри [191].

Відомий прилад для визначення степеня меланінової пігментації та вираження еритеми шкіри людини, що складається з джерела суцільного випромінювання в діапазоні довжин хвиль 450-760 *нм*, випромінювання якого підводиться до дослідної ділянки шкіри, відбите шкірою випромінювання спрямовується на вхідний отвір монохроматора, який з'єднаний з приймачем і далі з модулем обробки сигналів [188]. Принцип роботи приладу базується на реєстрації спектральної залежності коефіцієнта відбиття шкіри, виміряні величини в блоці обробки даних перетворюються у значення величини степені меланінової пігментації та вираження еритеми шкіри.

Недоліком зазначених приладів [188,191] є складність обладнання, що використовується для проведення лабораторного спектрального аналізу, яке обмежує можливості їх використання у польових умовах, а також обумовлює необхідність присутності спеціально підготовленого та кваліфікованого персоналу.

Інший прилад для визначення степені вираження еритеми шкіри містить світодіоди, які випромінюють у двох спектральних діапазонах (650-680 нм та 545-575 нм) [192]. Підведене та відбите шкірою випромінювання скеровується крізь волоконно-оптичні світловоди до приймача з'єднаного з блоком обробки даних, який перетворює виміряні коефіцієнти відбиття шкіри на двох довжинах хвиль у величину оптичної щільності шкіри на тих самих довжинах хвиль і розраховує величину степені вираження еритеми.

Недоліком такого приладу є неможливість визначення меланінової пігментації шкіри та відносно невисока точність визначення індексу еритеми, через неврахування вкладу пігментації в оптичну щільність шкіри в "зеленому" спектрі оптичного випромінювання.

Традиційним приладом для визначення степені вираження еритеми шкіри людини є прилад, що містить джерело ультрафіолетового випромінювання, яке підводиться до шкіри крізь оптичну систему. Процес вимірювання з використанням цього приладу відбувається наступним чином: відбите шкірою ультрафіолетове випромінювання збирається оптичною системою і направляється на вхідний отвір монохроматора, на вихідному отворі якого розташовується оптичний перетворювач, що реєструє спектральну залежність коефіцієнта відбиття шкіри в діапазоні довжин хвиль 360-400 нм [193]. Оптичний перетворювач з'єднаний з блоком обробки даних, в якому виміряні величини обробляються і перетворюються у величину степені меланінової пігментації.

Недоліками такого приладу є неможливість визначення степені меланінової пігментації шкіри та необхідність використання спектрального обладнання, що працює у спеціально пристосованих приміщеннях, а також

необхідність проведення вимірювання коефіцієнтів відбиття шкіри в ультрафіолетовій області спектра, в якій через сильні поглинаючі та розсіюючі властивості тканин шкіри точність вимірювання коефіцієнта відбиття невелика, що створює обмеження для широкого використання даного приладу.

Також, до недоліків приладів, які наводились раніше, можна віднести використання волоконно-оптичної системи транспортування випромінювання, що призводить до виникнення оптичних втрат і, як наслідок, збільшення похибки вимірювання.

Можна виділити також прилад для визначення степені вираження еритеми, що складається з волоконно-оптичної сенсорної голівки мікропроцесорних блоків обробки та контролю сигналів, самописця та двох світлодіодів, що випромінюють з довжиною хвилі 555 ± 20 нм та 660 ± 20 нм [194]. Випромінювання світлодіодів направляється за допомогою оптичної головки по черзі на досліджувану шкіру. Вимірні величини обробляються в блоці обробки сигналів, а значення визначених величин степені вираження еритеми та меланінової пігментації відображаються на індикаторі. Відсутність монохроматора, волоконно-оптичної системи та використання в якості джерел випромінювання світлодіодів робить прилад мобільним, що дозволяє використовувати його в якості приладу широкого діагностичного застосування.

Недоліком такого приладу є неможливість визначення степені меланінової пігментації шкіри.

В останній час широко застосовується прилад для визначення степені вираження еритеми та меланінової пігментації шкіри, що складається з джерела живлення, з'єданого через блок комутації з оптичною головкою, яка містить світлодіоди двох типів, що випромінюють у червоній області спектра в діапазоні вище 620 нм та ближній інфрачервоній області спектра у діапазоні нижче 900 нм. Також прилад обладнаний приймачем відбитого шкірою випромінювання, блоком обробки даних та індикатором величин, що

визначаються, додатково введені світлодіоди, виконані з можливістю випромінювання в спектральному діапазоні 545-575 нм [195]. Випромінювання світлодіодів направляєтся за допомогою оптичної головки по черзі на два об'єкта тестування. Вимірні величини запам'ятовуються і обробляються в блоці обробки даних, а значення визначених величин степені вираження еритеми та меланінової пігментації відображаються на індикаторі.

Найбільш близьким за технічною сутністю до корисної моделі, що заявляється, є вибраний в якості прототипу прилад для аналізу фізико-біологічних характеристик шкіри, який містить джерело живлення, що через комутаційний пристрій з'єднане зі світлодіодами розміщеними в оптичній головці разом із детектором, який вимірює розсіяне шкірою випромінювання. Вимірні величини перетворюються у величину степені меланінової пігментації та вираження еритеми і відображаються на індикаторі. Перевагою даного приладу є використання 16 світлодіодів, які забезпечують випромінювання у зеленому 568 ± 20 нм, червоному 660 ± 20 нм та інфрачервоному 870 ± 20 нм спектрах, що дозволяє запобігти впливу сторонніх факторів на результат вимірювання степені меланінової пігментації та вираження еритеми шкіри [196].

Недоліками такого приладу, а також усіх вище перерахованих, є неможливість вимірювання степені пігментації шерстного покриву (або його ігнорування) та використання некогерентних джерел світлового випромінювання, що впливає на точність величин, що вимірюються.

Метою розробки є розширення функціональних можливостей приладу і підвищення точності вимірювання фізико-біологічних характеристик шерстного покриву та шкіри: одночасне визначення степені меланінової пігментації шерсті і шкіри, а також степені вираження еритеми шкіри, зі збереженням його компактності і мобільності [215].

Поставлена мета досягається за рахунок того, що прилад для вимірювання фізико-біологічних характеристик шкіри та шерстного покриву (рис.3.2), який складається з джерела живлення, джерел випромінювання, які

розміщені в оптичній головці разом з детектором, що вимірює розсіяне шерстним покривом та шкірою випромінювання, відповідно корисної моделі, в якості джерела випромінювання оптичної головки застосовують напівпровідникові лазери з довжиною хвилі 405, 532, 650, 780 *нм* та широкосмуговим приймачем відбитого шкірою і шерстним покривом випромінювання. При цьому, приймач випромінювання складається з декількох приймачів оптичного випромінювання, налаштованих на відповідну довжину хвиль.

Прилад працює наступним чином. Імпульсна напруга з джерела живлення 1 поступає на комутаційний пристрій 2, який забезпечує послідовне імпульсне ввімкнення лазерних модулів 3 чотирьох типів, що працюють у чотирьох різних спектрах. При цьому, густина імпульсів дорівнює 2, а випромінювання лазерних модулів спрямовується за допомогою оптичної голівки 5 по черзі на досліджувану ділянку шерстного покриву і шкіри. Приймачі 4 забезпечують вимірювання інтенсивності відбитого об'єктами випромінювання на всіх довжинах хвиль. Вимірні величини запам'ятовуються і обробляються в блоці 7 обробки даних, а значення визначених величин степені меланінової пігментації волосяного покриву, шкіри та вираження еритеми відображаються на індикаторі 8.

Таким чином, запропонований прилад розширює функціональні можливості інструментальної та неінвазивної діагностики шерстного покриву та шкіри тварин, а його компактність і мобільність надають можливість широкого застосування приладу в діагностичних цілях під час проведення селекції тварин.

3.3 Розробка пристрою для подачі овець на стриження

При вирощуванні овець періодично, відповідно існуючих технологій утримання, проводять бонітування стада – оцінку племінних і продуктивних якостей тварин для визначення напрямків їх подальшого використання.

Відомі ряд установок для фіксації овець при бонітуванні та переміщення далі на санітарну обробку або стриження [197,198].

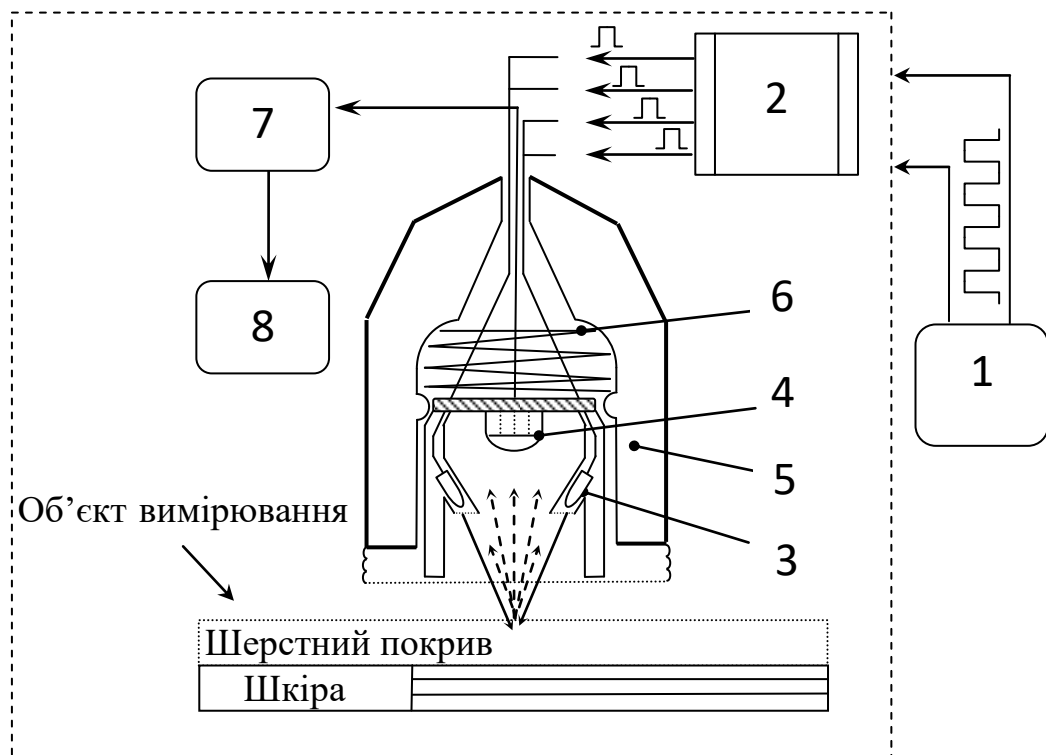


Рисунок 3.2 – Прилад для вимірювання фізико-біологічних характеристик шерстного покриву та шкіри:

1 – імпульсне джерело живлення; 2 – блок комутації живлення лазерних модулів; 3 – лазерні модулі; 4 – фотоприймачі відбитого шерстним покривом і шкірою випромінювання; 5 – оптична головка; 6 – притискуюча пружина; 7 – блок обробки даних; 8 – індикатор величин степені меланінової пігментації шерстного покриву

В основному їх недоліком є висока трудомісткість та неможливість сортування овець за кольором шерсті, тому метою розробки є проведення сортування овець перед стриженням або подальшим утриманням по кольору забарвлення смушка. Досягнення вказаної мети є підвищення вартості шерсті при реалізації після стриження або підвищення продуктивності при наступному нарощуванні шерсті попередньо проводять сортування овець по

кольору шерсті для чого додатково встановлюють пункт лазерної діагностики, рухому платформу з електроприводом і автоматичними воротами.

Так, при оцінці кольору шерсті визначають ступінь її мелані нової пігментації, виходячи з того, що від кількості меланіну змінюється її колір. Особливо даний показник важливий при оцінці кольору шерсті перед стриження овець, тому що якість, а у подальшому і її вартість при реалізації, залежить від наявності домішок (вміст шерсті іншого кольору) в партії продукції – наявність домішок – знижує її вартість. Тому, доцільно в процесі підготовки стада до стриження проводити групування тварин по кольору шерсті. Відомо, що визначення кольору шерсті здійснюється оператором на основі суб'єктивної візуальної оцінки. При цьому, імовірність похибки у визначенні кольору пов'язана з якістю зору оператора [199].

Спеціальний блок лазерної діагностики побудовано на основі напівпровідникових лазерів з випромінюванням в діапазоні 465-485 нм і 620-630 нм [200].

В основу його роботи використано спосіб спектроскопії відбитого випромінювання [201]. Диффузно-відбите шерстним покривом вівці випромінювання несе інформацію про поглинаючі властивості середовища та особливості структури шерстинок. Спектр дифузного відбиття шерсті дозволяє визначити її спектральний склад ефективної оптичної густини – параметра, який є джерелом кількісної інформації про поглинаючі властивості шерстини.

Відомо, що падаючий промінь світла частково відбивається, а частково поглинається, причому, відбите світло набуває дифузного характеру. Так, при потраплянні променя на окрему волосину, яка своєю структурою нагадує світловод, відбувається часткова рефлексія на поверхні волосини з подальшим проходженням променя всередину, де відбувається часткове поглинання, а також рефлексія на внутрішніх стінках, далі промінь виходить на зворотній стороні волосини – трансмісія.

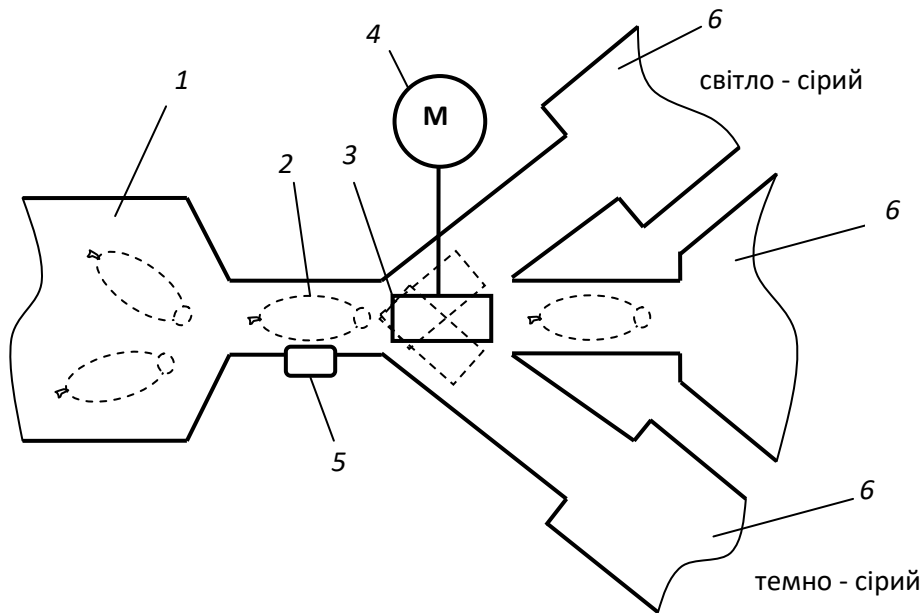


Рисунок 3.3 – Установа для подачі овець на стриження:

- 1 – накопичувач; 2 – пункт діагностики; 3 – рухома платформа;
 4 – електропривод платформи; 5 – блок лазерного опромінювання;
 6 – бокси для накопичення овець по кольору шерсті

Принцип роботи установки полягає в наступному: вівці стада потрапляють в накопичувач – 1, потім по обмеженому, на одну вівцю, проході потрапляють на пункт діагностики – 2, де за допомогою блоку лазерного опромінювання – 5 визначається колір шерсті і формується сигнал для керування електроприводом рухомої платформи – 4. Потім тварина переходить на рухому платформу – 3, яка в залежності від визначеного кольору шерсті тварини повертаються на платформі в напрямку відповідного проходу до боксу – 6.

Схема керування установкою (рис.3.4) працює наступним чином. Перед початком сортування овець по кольору шерсті для подальшого стриження або утримання, електротехнічне обладнання підключають до мережі через блок живлення – 7, який перетворює напругу – U_m в необхідне значення – $U_{\alpha 1-5}$.

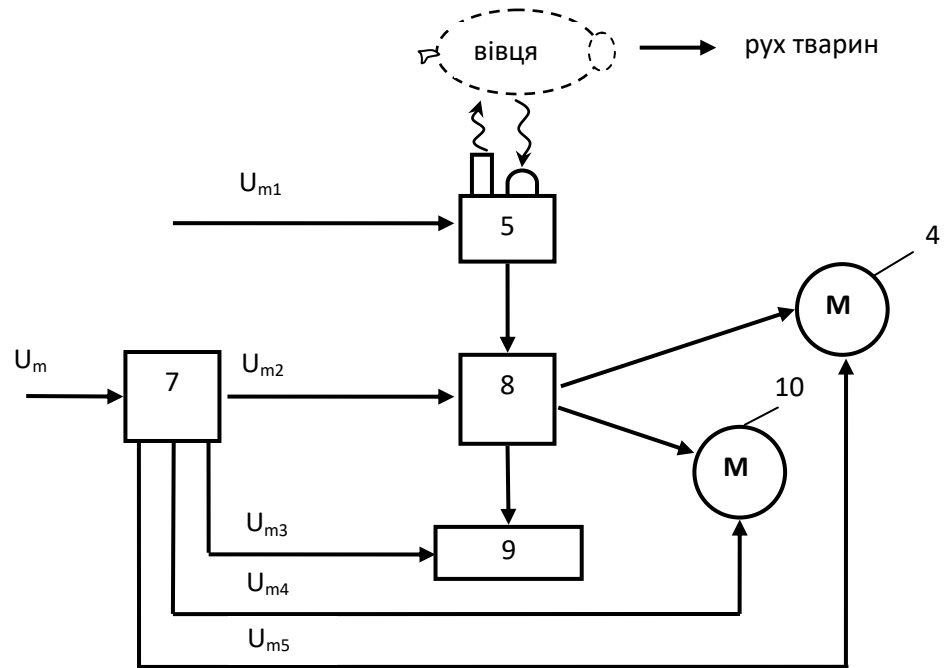


Рисунок 3.4 – Схема керування установкою для сортування овець:

1 – блок лазерної діагностики; 2 – електропривод рухомої платформи;
 3 – блок живлення; 4 – контролер; 5 – електропривод воріт рухомої платформи; 6 – блок візуалізації - екран оператора

При наявності тварини в пункті діагностики – 2, проводиться визначення кольору шерсті завдяки роботі блоку лазерної діагностики – 5. Потім контролер – 8 формує два керуючі сигнали: один на електропривод – 4 рухомої платформи – 3, яка повертається навпроти відповідного проходу до боксів – 6 в залежності від визначеного кольору; другий на електропривод – 10 воріт рухомої платформи – 3 і тварини потрапляють у відповідний бокс – 6. Інформація про процес сортування овець виводиться на блок візуалізації – 9, якою користується оператор при роботі.

Використання запропонованої установки подачі овець на стриження дозволить підвищити вартість шерсті при реалізації до 30 % за рахунок її

3.4 Визначення зусиль в електроприводі установки для сортування овець перед стриженням

Відомо, що вівці в межах, наприклад сірого забарвлення мають різноманітність за фенотипічною ознакою – відтінками смушка, який підрозділяється на світло-сірий, середньо-сірий і темно сірий. Виявивши зв'язки між відтінком і деякими ознаками продуктивності, що вказує на необхідність подальшого ведення селекційно племінної роботи у напрямі формування стада з тварина бажаного смушка [202].

Бонітування і насамперед стриження овець є важким завданням яке вимагає застосування роботозиваної техніки, що обумовлює необхідність застосування адаптивного керування, з використанням сенсорів надання інформації [203,204].

Досягнення сформульованої мети дозволяє підвищити вартість шерсті при її реалізації після стриження або підвищення продуктивності при наступному нарощуванні шерсті.

Технічна реалізація вказаної мети полягає в удосконалені установки для сортування овець за рахунок додаткового встановлення пристрою лазерної установки, рухомої платформи з електроприводом і автоматичних воріт для спрямування овець у відповідні бокси для формування стада.

Надійність роботи установки по сортуванню овець у значній мірі залежить від ефективності роботи рухомої платформи, вірніше від її електропривода тому, розглянемо силові фактори, під впливом яких знаходяться механічної частини електроприводу платформи.

Окрім електромагнітного моменту на механічну частину електроприводу діють статичні навантаження, які представлені силами та моментами механічних втрат і моментами корисних навантажень виконавчих механізмів (рис. 3.5).

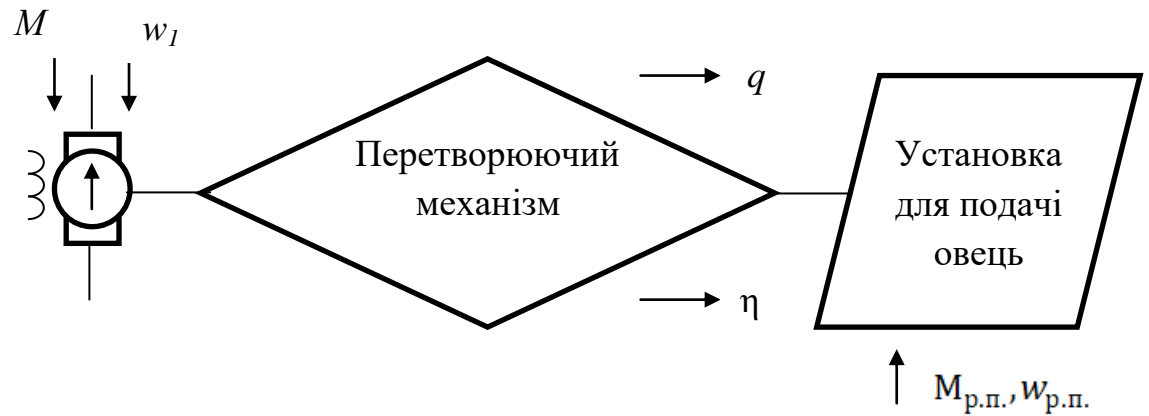


Рисунок 3.5 – Структурна схема системи:

M - електромагнітний момент електродвигуна; w - кутова швидкість електродвигуна; q – передаточне відношення перетворюючого механізму; $M_{р.п.}$ – моменти сил, які діють на рухому платформу; $w_{р.п.}$ – кутова швидкість рухомої платформи

Розрахункову схему механічної частини електроприводу можливо представити у вигляді трьох - масової структури (рис. 3.6):

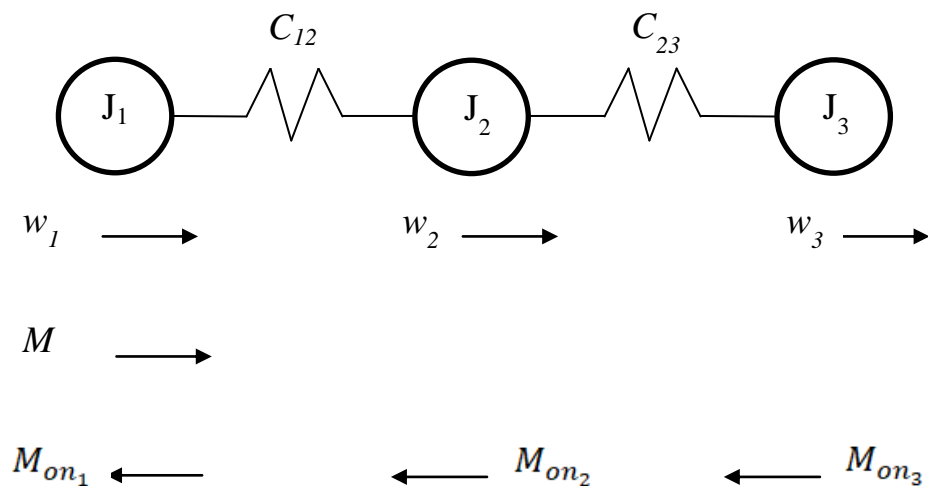


Рисунок 3.6 – Розрахункова схема механічної частини електроприводу:

M – електродвигун з моментом інерції J_1 ; перетворюючий механізм (редуктор) з моментом інерції J_2 ; установка для подачі овець на стриження з моментом інерції J_3 ; $M_{он1}$, $M_{он2}$, $M_{он3}$ – моменти опору;

C_{12} , C_{23} – жорсткість передаточних механізмів

Будемо вважати: – що механічні характеристики електродвигуна та робочого органу у вигляді установки для подачі овець на стриження лінійні, і жорсткість передаточних механізмів в цій області існування постійна; - момент опору рухомої платформи не залежить від швидкості, а її потужність зростає лінійно зі збільшенням швидкості [205].

Введемо вектор \bar{F} , як головний вектор сил, що діють в електроприводі, з нульовим моментом розподілу сил:

$$\bar{F} = \int d\bar{F} \quad (3.9)$$

Також для даного електропривода введемо вектор \bar{M} , як вектор головного моменту сил, представленого моментом 1-го порядку розподілу сил:

$$\bar{M} = \int \bar{r} d\bar{F} \quad (3.10)$$

Сили, які діють в електроприводі представлені у вигляді матриці H :

$$H = \begin{vmatrix} \int x dF_x & \int y dF_x & \int z dF_x & \int dF_x \\ \int x dF_y & \int y dF_y & \int z dF_y & \int dF_y \\ \int x dF_z & \int y dF_z & \int z dF_z & \int dF_z \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{vmatrix}, \quad (3.11)$$

де F_x, F_y, F_z – проекції сил на відповідні вісі.

Перерахунок матриці сил H , яка виражена в i -тій локальній системі, в матриці сил H_0 в абсолютній системі координат здійснимо за допомогою матриці перетворення T_i^T :

$$H_0 = HT_i^T \quad (3.12)$$

Матриці швидкостей елементарних обертів ланок електропривода навколо осей x, y, z представимо у вигляді:

$$\Pi_1 = \begin{vmatrix} 0 & 0 \\ 0 & -1 \\ 0 & 1 \\ 0 & 0 \end{vmatrix}; \Pi_2 = \begin{vmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{vmatrix}; \Pi_3 = \begin{vmatrix} 0 & -1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{vmatrix} \quad (3.13)$$

Відповідно матриці швидкостей зсувів ланок електропривода вздовж осей x, y, z будуть мати вигляд:

$$\Pi_4 = \begin{vmatrix} 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{vmatrix}; \Pi_5 = \begin{vmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{vmatrix}; \Pi_6 = \begin{vmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{vmatrix} \quad (3.14)$$

Проекції вектора головного моменту сил і вектора головного вектора сил на вісі абсолютної системи координат виразимо матрицями:

$$H, \Pi_1, \Pi_2, \Pi_3, \Pi_4, \Pi_5, \Pi_6 \quad (3.15)$$

$$\begin{aligned} M_x &= S_p(H, \Pi_1^T); & F_x &= S_p(H, \Pi_4^T); \\ M_y &= S_p(H, \Pi_2^T); & F_y &= S_p(H, \Pi_5^T); \\ M_z &= S_p(H, \Pi_3^T); & F_z &= S_p(H, \Pi_6^T) \end{aligned} \quad (3.16)$$

Силу F_z будемо розглядати як силу тяжіння, а Силу F_y , як силу опору середовища.

Представимо рухому платформу установки для сортування перед стриженням овець як ланку k , на яку діють сили \bar{F}_k^{k-1} з боку $k-1$ ланки – трансмісії електропривода.

Сили, які діють на k – ланку, можливо представити через \bar{F}_h^{y-1} – головний вектор сил та \bar{F}_k^{in} – головний вектор сил інерцій.

Із метода Германа-Ейлера залучимо головну аналітичну залежність, виразивши її у матричному вигляді:

$$H_k^{k1} = H_k^e + H_k^{in} = 0 \quad (3.17)$$

де H_k^{k-1} – матриця сил, які діють на k ланку з боку $k - 1$ ланки, виражена в абсолютній системі координат;

H_k^e – матриця зовнішніх сил, які діють на k ланку, виражена в абсолютній системі координат;

H_k^{in} – матриця сил інерції, які діють на k ланку, виражена в абсолютній системі координат.

Перетворимо вище викладений запис:

$$\begin{aligned} -H_k^{k-1} &= H_k^e + H_k^{in}; \\ H_{k-1}^k &= H_k^e + H_k^{in}; \end{aligned} \quad (3.18)$$

Відповідно $H_{k-2}^{k-1} = H_k^e + H_k^{in} + H_{k-1}^k$

Після визначення усіх матриць H , $k = 1, 2$ знаходимо проекції моментів \bar{M}_k і сил \bar{F}_k :

$$\begin{aligned} M_{kx} &= -S_p(H_{k-1}^k, \Pi_1^T); \\ M_{ky} &= -S_p(H_{k-1}^k, \Pi_2^T); \\ M_{kz} &= -S_p(H_{k-1}^k, \Pi_3^T); \\ F_{kx} &= -S_p(H_{k-1}^k, \Pi_4^T); \\ F_{ky} &= -S_p(H_{k-1}^k, \Pi_5^T); \\ F_{kz} &= -S_p(H_{k-1}^k, \Pi_6^T). \end{aligned} \quad (3.19)$$

Сили, які діють на k – ланці, будемо визначати в i -й локальній системі координат, в якій осі безпосередньо пов'язані з переміщенням.

При цьому вектори \bar{M}_k і \bar{F}_k переводимо з абсолютної системи в локальну i -ту систему координат:

$$\bar{M}_k^i = T_i^{-1} \bar{F}_k; \bar{F}_k^i = T_i^{-1} \bar{F}_k \quad (3.20)$$

Матрицю сил інерції H_k^{ih} для k – ланки, яка представлена в абсолютній системі координат, визначимо тензором інерції θ_k^i , вираженого в i -й локальній системі координат:

$$\theta_k^i = \begin{pmatrix} J_{xx}^{(i)} & J_{xy}^{(i)} & J_{xz}^{(i)} & m_k x_k^* \\ J_{yx}^{(i)} & J_{yy}^{(i)} & J_{yz}^{(i)} & m_k y_k^* \\ J_{zx}^{(i)} & J_{zy}^{(i)} & J_{zz}^{(i)} & m_k z_k^* \\ m_k x_k^* & m_k y_k^* & m_k z_k^* & m_k \end{pmatrix} \quad (3.20)$$

де m_k – маса k – ланки, x_k^* , y_k^* , z_k^* - координати центру мас k - ої ланки в особистій системі координат.

Враховуючи що: $H_k^{in} = -\ddot{T}_i \theta_k^i T_i^T$

Отримуємо: $M_x^{in} = -\ddot{T}_i \theta_k^i T_i^T \Pi_1^T$, $F_z^{in} = -\ddot{T}_i \theta_k^i T_i^T \Pi_6^T$

Таким чином, визначення, ще на стадії проектування, зовнішніх силових факторів, які впливають на роботу електроприводу установки для бонітування та стрижень овець дозволяє сформувати раціональну кінематичну структуру електроприводу з заданим рівнем надійності системи [206-208].

3.5 Розробка принципової електричної схеми приладу

Використання лазерних модулів у оптичних системах, для прецизійних вимірювань фізико-біологічних властивостей біологічних об'єктів, потребує застосування сучасних елементів реєстрації оптичного випромінювання і розробки нових ефективних схем, враховуючи вимоги до компактності і можливості експлуатації приладу в польових умовах сільського господарства.

Питання розробки схем підключення фотоприймачів і драйверів світлодіодів (у тому числі лазерних) присвячено ряд робіт, в яких, за останні десятиліття, спостерігається тенденція до використання операційних підсилювачів, як універсальних блоків з характеристиками, близькими до ідеальних [209,210]. Завдяки низькій ринковій вартості і порівняно малих розмірів, операційний підсилювач набув значення одного з найважливіших елементів аналогової електроніки [211].

Аналіз науково-технічної літератури в даному напрямку показав, що більшість електронних вузлів і блоків неінвазивних спектрофотометричних систем не вимагають створення принципово нових схемо-технічних рішень і методів проведення проектних розрахунків, які б суттєво відрізнялися від відомих у загальній теорії лазерної техніки і оптоелектронних пристроїв [87, 212].

Враховуючи методику проведення вимірювань [213], а саме дискретність оптичної інформації в часі і спектральній області, а також концепції розробленого приладу для визначення оптичних властивостей зовнішнього покриву і шкіри тварин [200] можна сформулювати основні вимоги до схеми підключення фотоприймача: – висока чутливість в заданому діапазоні довжин хвиль; – високий ККД енергетичного перетворення; – висока швидкодія; – низький рівень власних шумів.

Вказаним вимогам може відповідати схема, до функціональних вузлів і блоків якої, входять операційні підсилювачі з певними конструктивними відмінностями від стандартних рішень. Так, замість використання каскаду опорів, застосовується підстроювальний резистор $R1$ для встановлення оптимальної вихідної потужності лазерних модулів (рис.3.7).

В якості джерела випромінювання в оптичній головці застосовують напівпровідникові лазери з довжиною хвилі 405, 532, 650, 780 нм ($V1, V2, V3, V4$) та ширококутовим приймачем відбитого шкірою і шерстним покривом випромінювання. При цьому приймач випромінювання складається з двох приймачів оптичного випромінювання ($VD1, VD2$), налаштованих на відповідну довжину хвилі. Використання лазерних модулів, на відміну до традиційних світлодіодів, обґрунтовано появою на ринку відносно дешевих напівпровідникових елементів, які вигідно відрізняються у використанні в оптичних системах з високими вимогами до точності вимірювань [96].

Розроблену схему можна умовно поділити на дві функціональні частини, одна з яких виступає у якості драйвера живлення лазерних діодів, а друга відповідає за підсилення сигналів з фотодіодів.

З метою запобігання виникненню сторонніх сигналів в колі підсилювача фотодіода, які можуть вплинути на точність вимірювання, між двома функціональними блоками використовується механічний зв'язок для синхронізації ввімкнення лазерних модулів і фотодіодів, з максимумом чутливості у відповідній області спектра. Також, важливим моментом в оптичних системах з високою чутливістю фотоприймачів, є екранування фотодіодів від дій зовнішніх магнітних полів.

В питанні вирішення протиріччя між швидкодією, роздільною здатністю і шумом, надаємо перевагу, керуючись поставленою метою, точності перетворення і високій степені підсилення вихідних сигналів фотодіодів.

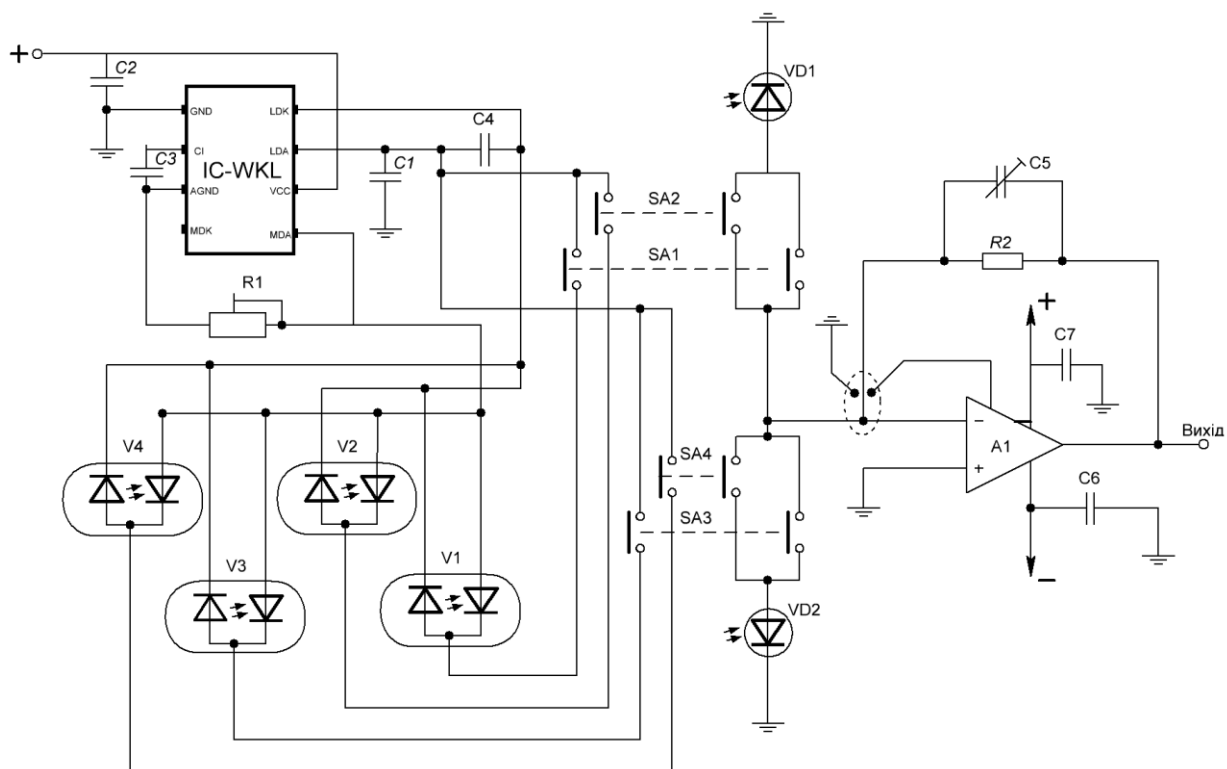


Рисунок 3.7 – Принципова електрична схема керування приладом для вимірювання спектру дифузного відбиття



Рисунок 3.8 – Зовнішній вигляд приладу для визначення

Тому, для забезпечення високого імпедансу схеми підсилення фотодіода, в колі зворотного зв'язку, використовується резистор $R2$ з великим значенням опору (до 10^{10} Ом), або, беручи до уваги обмежений доступ до елементів такого номіналу, каскад резисторів відповідного сумарного опору. Паралельно резистору ввімкнено підстроювальний конденсатор $C5$ з малою ємністю ($0,65-6$ нФ) для компенсації паразитної ємності резистора $R2$, а також як ефективний спосіб зменшення шумів підсилення.

Розроблена принципова електрична схема дозволяє забезпечити прецизійність і функціональні можливості приладу для вимірювання оптичних властивостей зовнішнього покриву тварин, що було підтверджено при експериментальних дослідженнях (рис.3.9, 3.10).

Для отримання кореляцій між ступенем пігментації (кольору) шерсті і спектром дифузного розсіювання, а також обґрунтування доцільності використання зазначених методу і пристрою, були проведені, експериментальні дослідження по вимірюванню спектральних залежностей коефіцієнтів дифузного відбиття з використанням спектрометра QE65000 (*Ocean Optics*), з ксеновою імпульсною лампою PX-2, в якості джерела збудження. Для цього досліджувані зразки (рис.3.9) розміщувалися в тримачі кювети, на яку по оптичним волокнам передається випромінювання, а зворотне випромінювання в двомірний детектор спектрометра.

З графіку (рис.3.10) видно кореляцію між ступенем пігментації ділянки шкіри з шерстю і інтенсивністю дифузно-відбитого оптичного випромінювання, отримані показники можуть бути використані для об'єктивного визначення фенотипу шкіри та шерсті тварин шляхом використання даних показників в стандартній моделі формування кольору.



Рисунок 3.9 – Досліджувані зразки шерсті:
1 – світла; 2 – середньо-сіра; 3 – темно-сіра

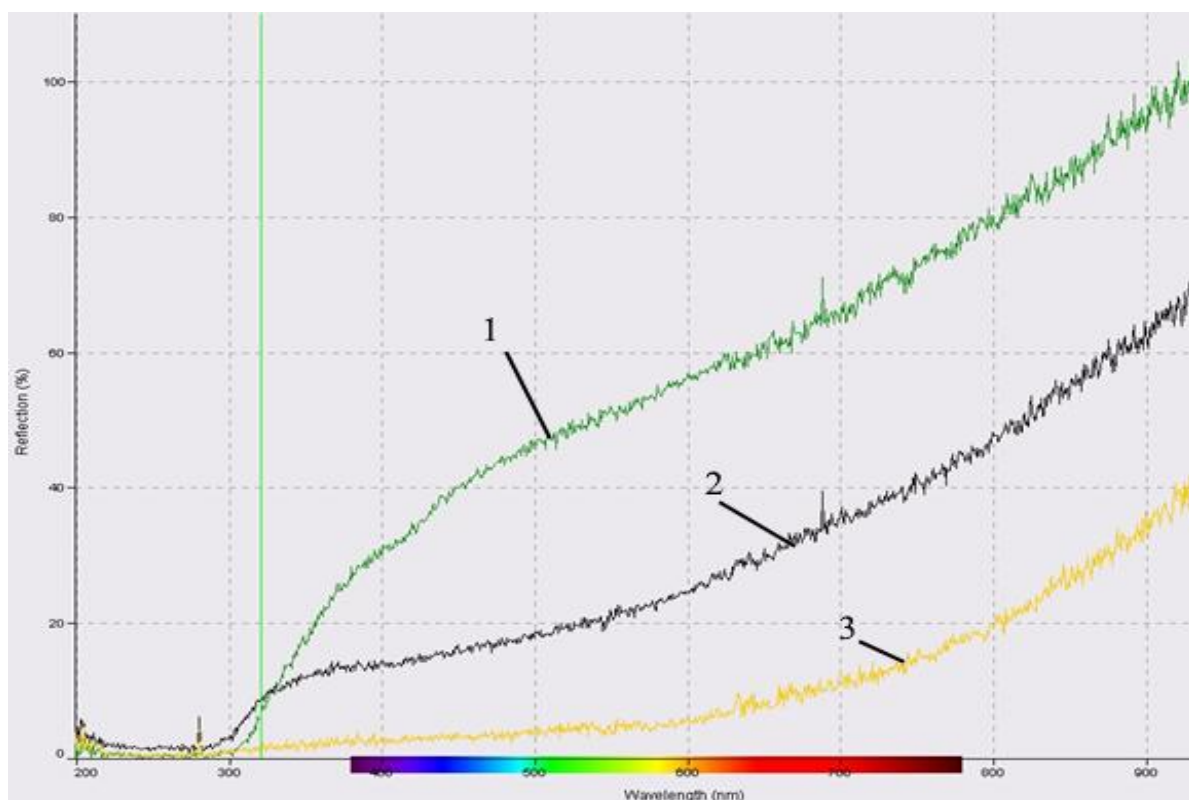


Рисунок 3.10 – Вимірювання спектральних залежностей коефіцієнтів дифузного відбиття шкіри зовнішнього покриву вівці за ступенем пігментації (кольору) шерсті

Висновки по розділу 3:

1. Розроблено спосіб дистанційного визначення фізико біологічних характеристик шерстного покриву тварин завдяки застосуванню випромінювання напівпровідникових лазерів з довжиною хвилі 405, 532, 650, 780 нм.

2. Розроблено діючий макетний зразок приладу для дистанційної оцінки кольору шерсті овець і діючий макетний зразок установки для сортування овець за кольором шерсті, а також варіант їх принципів електричних схем.

3. Проведена експериментальна перевірка у виробничих умовах показала ефективність розробленого методу і технічних засобів, що забезпечило збільшення рентабельності виробництва вовни на 7-11 %, а термін окупності додаткових капітальних вкладень складає менше 2 років (додаток А).

РОЗДІЛ 4

ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ВПРОВАДЖЕННЯ ПРИСТРОЮ ДЛЯ СОРТУВАННЯ ОВЕЦЬ

4.1 Аналіз умов проведення техніко-економічного обґрунтування в контексті розвитку галузі

Загальносвітовою проблемою галузі тваринництва залишається те, що більшість фермерів не можуть визначитись із доцільністю утримання овець. Оскільки недостатнім є обґрунтованість економічної ефективності виробництва та реалізації продукції галузі вівчарства. У зв'язку з цим актуальним є проведення аналізу сучасного стану галузі вівчарства, визначення причин її занепаду та удосконалення методики техніко-економічного обґрунтування впровадження інноваційного пристрою в господарську діяльність діючих сільськогосподарських підприємств на прикладі України. При цьому об'єктом дослідження виступає методологія техніко-економічного обґрунтування впровадження пристрою для сортування продукції вівчарства. Під продукцією вівчарства розуміється вовна овець, точність сортування якої впливає на формування ціни реалізації кінцевої продукції (вовни), в тому числі на розмір прибутку виробника, відповідно, і на результативність, і рівень економічної ефективності виробництва продукції.

Як зазначено раніше, одним з найбільш проблемних місць є суб'єктивна оцінка якості вовни на етапі формування цінової політики. Цей критерій визначається набором фізичних і технологічних показників, до яких належить забарвлення шерсті.

Для проведення техніко-економічного обґрунтування впровадження пристрою для сортування продукції вівчарства, який є необхідним для об'єктивної оцінки забарвлення вовни в процесі її сортування необхідно проаналізувати сучасний стан галузі вівчарства України та визначити

причини його занепаду, а також на основі статистичних методів визначити ключові показники ефективності інноваційного проєкту.

У світі проблемам ефективного розвитку галузі тваринництва, зокрема вівчарства, присвячено незначна кількість робіт, порівняно з дослідженням проблем розвитку інших галузей тваринництва. Так, у роботі [216] представлено короткий огляд світового вівчарства, також здійснено детальний аналіз виробництва та прибутковості утримання овець на прикладі Нової Зеландії. Доведено, що рентабельність капіталу в фермерському бізнесі Нової Зеландії становить близько 1 % річних. Але відсутній алгоритм збільшення рівня рентабельності капіталу.

Серед основних напрямків вирішення проблеми ефективності ведення галузі вівчарства заслуговує на увагу робота [217]. В цій роботі автори доводять, що аспекти нефінансової діяльності (ринковий, маркетинговий, технічний, управлінський та екологічний) розведення овець Гарут є важливими під час економічного обґрунтування доцільності розведення тварин. Тоді як фінансові аспекти (розмір інвестицій, аналіз доходів, термін окупності інвестицій, чиста теперішня вартість, рівень рентабельності, внутрішня норма прибутковості та інші) доводять можливість ефективного розвитку бізнесу. Поряд з цим відсутня інформація щодо практичної реалізації інвестиційних (інноваційних) проєктів.

Також варто відзначити роботу [218], в якій група авторів досліджує альтернативні підходи до спільного виробництва вовни та живої ваги від овечих систем подвійного призначення до воріт ферми. Але в зазначених роботах не розглядаються питання техніко-економічного обґрунтування впровадження інноваційного лазерного пристрою для сортування продукції вівчарства з метою збільшення результативності та покращення ефективності господарювання.

В Україні за часи незалежності та скасування державного замовлення на вовну для потреб навчальних і військових відомств, галузь вівчарства суттєво занепала. Отже, питанням розвитку галузі тваринництва, зокрема вівчарства,

присвячено праці [219, 220] але в них є невирішеним питання методології економічного обґрунтування ефективності впровадження нового обладнання. В роботі [221] розглянуто розвиток світового ринку продукції вівчарства, однак у цій роботі не до кінця розкрито причини та наслідки занепаду галузі вівчарства, зокрема в Україні. Автори роботи [222] досліджують стан і шляхи підвищення експортного потенціалу галузі вівчарства України, але залишається відкритим питання пріоритетності дій щодо підвищення якості продукції, особливо вовни. В [223] окреслено сучасні проблеми розвитку галузі вівчарства, а в [224] наведено організаційно-економічні резерви підвищення конкурентоспроможності цієї галузі. Однак, залишається недостатньо дослідженим питання методології техніко-економічного обґрунтування ефективності впровадження нових засобів автоматизації виробничих процесів у галузі вівчарства.

Таким чином, результати аналізу літературних досліджень дозволяють зробити висновок про те, що потребують більш детального дослідження і світовий досвід ведення галузі вівчарства, і сучасний стан розвитку галузі на прикладі України, і причини її занепаду. Необхідним є пошук і обґрунтування можливості покращення показників результативності та ефективності галузі за рахунок впровадження нового приладу із вимірювання фізико-біологічних характеристик шкіри та волосяного покриву тварин, зокрема овець. При цьому, у процесі дослідження доцільно використати такі методи:

- діалектичний метод пізнання, системний підхід до вивчення техніко-економічних процесів і явищ;
- абстрактно-логічний метод (під час узагальнень та формулювання висновків);
- монографічний та емпіричний (деталізації кон'юнктурних складових вітчизняного ринку продукції галузі вівчарства та комплексної оцінки сучасного стану об'єкта дослідження);

- порівняльного аналізу (зіставлення індикаторів та виявлення динаміки їх змін у часі);
- табличний та графічний (наочного відображення отриманих результатів дослідження);
- розрахунково-конструктивний (обґрунтування техніко-економічних показників ефективності впровадження пристрою).

4.2 Економічний аналіз галузі розрахунково-конструктивним методом

У сучасних умовах господарювання важливим фактором, що впливає на економічний результат діяльності будь-якого виробника, є вдало реалізована цінова політика, яка залежить, в першу чергу, від кількості та якості кінцевої продукції. При виробництві продукції вівчарства в залежності від обраного способу сортування вовни за відтінками залежить кількість кінцевої продукції певної якості. Як відомо, кінцевим продуктом галузі вівчарства є як продовольство (баранина, молочні продукти), так і основний обсяг сировини для текстильної та шкіргалантерейної галузі (вовна, хутро, шкіра). Отже, від точності сортування вовни за відтінками залежить кількість вовни певного відтінку. Зазначений критерій формує ціну реалізації кінцевої продукції (вовни), в тому числі розмір прибутку виробника, відповідно результативність і рівень економічної ефективності виробництва продукції.

Виходячи з існуючих досліджень, наразі в Україні склалась така ситуація, коли, з одного боку, сільськогосподарські товаровиробники продукції тваринництва, перебуваючи на самому початку цінового ланцюга, мають найменші важелі комерційного впливу на інших учасників і тому є ціноотримувачами. Отримана ціна не залежить від розміру та зміни витрат товаровиробників, тому часто не дозволяє здобути економічно виправданий прибуток на вкладений капітал [225, 226].

Для визначення економічної ефективності впровадження запропонованого пристрою використано розрахунково-конструктивний

метод економічного аналізу, який поширений у прогнозуванні та плануванні виробництва та економічних процесів розвитку господарюючих суб'єктів. Зазначений метод дослідження передбачає розроблення кількох варіантів розв'язання певної техніко-економічної проблеми виробників, їх оцінку з подальшим вибором найкращого з них.

Першочерговим є аналіз сучасного стану економічної ефективності галузі вівчарства України. Так, протягом останніх 5 років поголів'я овець і кіз становить 1,2-1,3 млн. гол., що у 6-8 разів менше рівня середини минулого століття (рис.4.1).

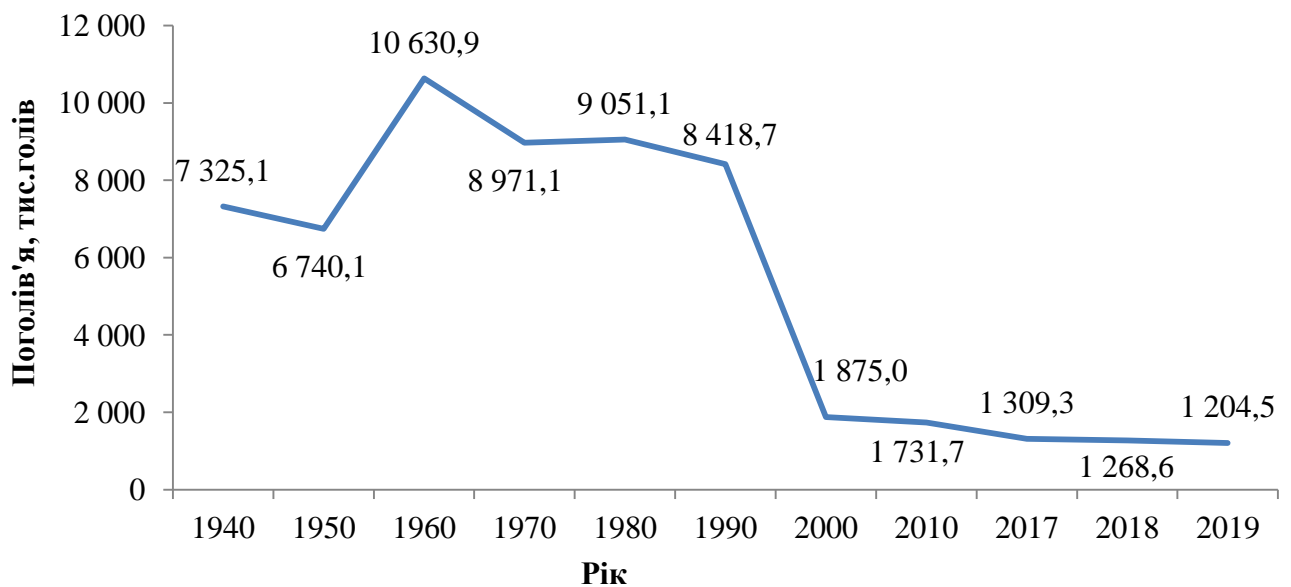


Рисунок 4.1 – Кількість овець і кіз в Україні у 1940-2019 рр.,
(дані Державної служби статистики України [230])

Головними причинами суттєвого зменшення поголів'я тварин галузі вівчарстві на думку авторів роботи [219] є як фактори світового масштабу (протягом останніх 15 років спостерігається зменшення поголів'я овець в світі на 11-15 %), так і внутрішні соціально-економічні умови. Однак, водночас автори зазначають, що на практиці «вітчизняне племінне вівчарство, перебуваючи у кризовому стані, не втратило свої продуктивні

цінності, і навіть перевищило їх порівняно зі стандартами завдяки високому науковому забезпеченню селекції» [219].

Автори роботи [224] наголошують, що саме великотоварне виробництво в країні наразі практично знищено. Основними утримувачами тварин та виробниками продукції вівчарства стали господарства населення, які утримують здебільшого виведені раніше в Україні породи вовняних тварин.

Відносно обсягів та вартості виробництва вовни в Україні необхідно відмітити, що протягом останніх 20 років виробництво даного продукту зменшується вдвічі, а саме з 3,4 тис. т (2020 рік) до лише 1,7 тис. т (2019 рік). Порівняно з 2010 роком, зменшення становить у 2,4 рази (рис.4.2). Структура виробництва вовни така: 97,5 % овеча, 2,5 % козяча.

У грошовому еквіваленті вартість виробленої вовни за результатами 2019 року становить 1 648 тис. дол. США проти 12 979 тис. дол. США за результатами 2010 року.

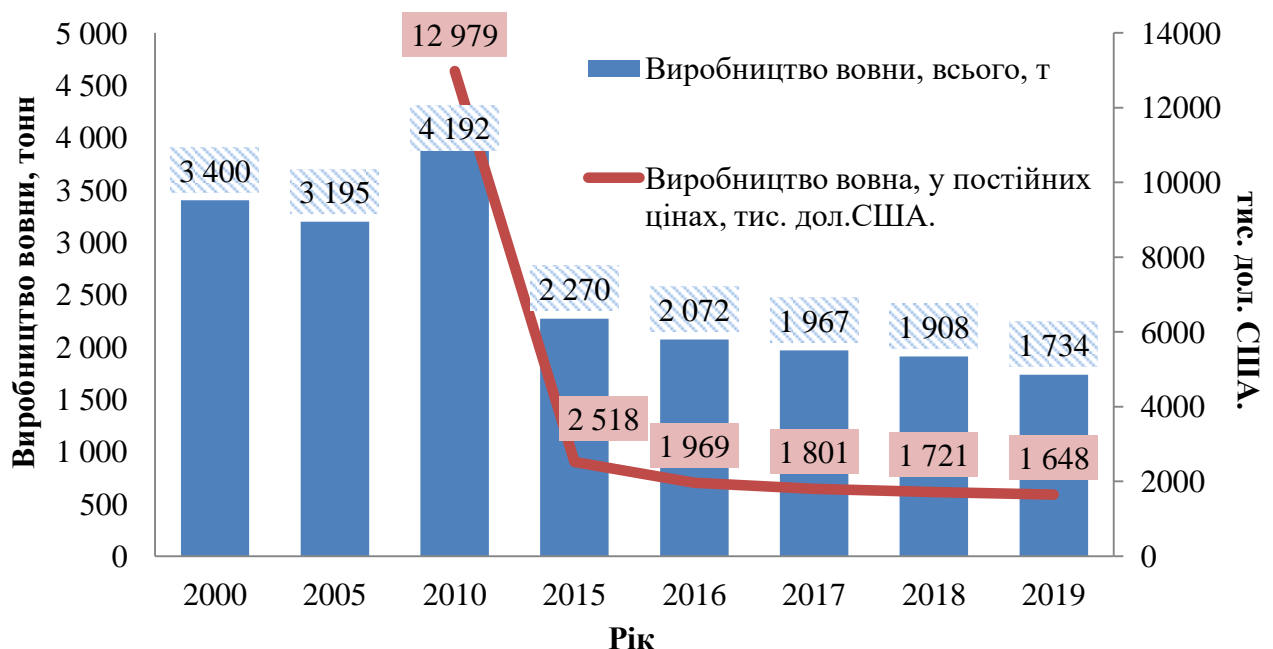


Рисунок 4.2 – Виробництво вовни (тонн) та її вартість у постійних цінах (тис. дол. США) в Україні у 2000–2019 рр. (сформовано за даними Державної служби статистики України [230])

П'ятірка регіонів-лідерів за обсягом виробництва вовни така: Одеська область, на яку припадає майже половина загального обсягу вовни (47,8 %); Закарпатська (9,5 %); Чернівецька (6,9 %); Миколаївська (6,5 %) та Херсонська (5,7 %). На інші регіони припадає 23,5 % обсягу виробництва вовни (рис.4.3).

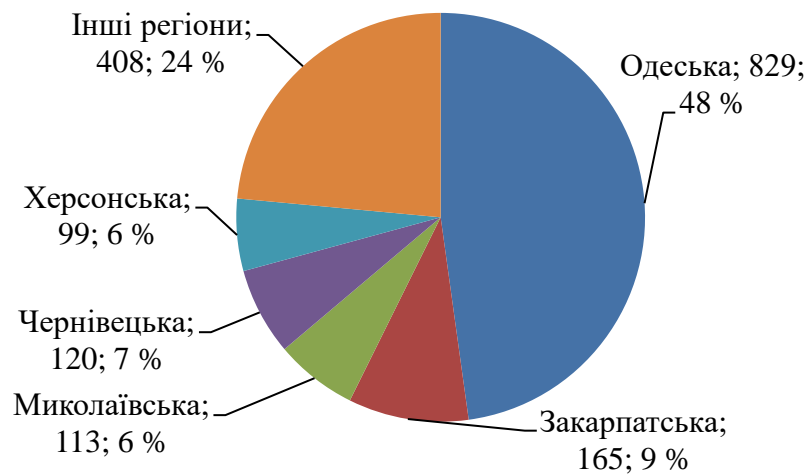


Рисунок 4.3 – Обсяг та частка виробництва вовни за регіонами України у 2019 році, тонн; % (сформовано за даними Державної служби статистики України [230])

За категоріями господарств виробництво вовни в Україні протягом тривалого періоду здійснюється на 85-88 % саме господарствами населення (рис.4.4). Про що також наголошують автори роботи [224]. Тоді, як у 2000 році співвідношення виробництва вовни між підприємствами та господарствами населення становило 40 на 60 %.

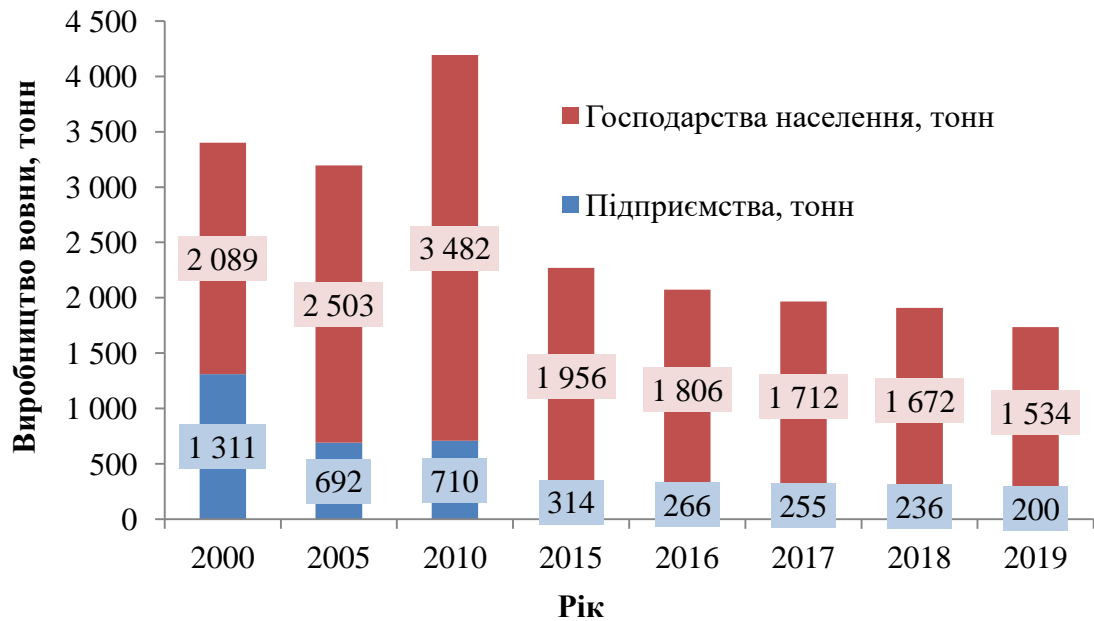


Рисунок 4.4 – Виробництво вовни за категоріями господарств в Україні за 2000-2019 рр., т (сформовано авторами за даними Державної служби статистики України [230])

Автор роботи [220] називає основні причини такого стану галузі вівчарства. Автор зазначає, що саме «неврегульованість і некерованість економічних процесів у перехідний період призвели до значного скорочення поголів'я овець та виробництва продукції вівчарства. Основною причиною занепаду галузі став низький рівень продуктивності тварин і продуктивності праці, високі виробничі витрати, а також негативний вплив руйнівних процесів вільного ринку, що проявився у надзвичайно низьких цінах на продукцію вівчарства. За таких умов зріс монополізм переробних підприємств, які перестали приймати вовну у вітчизняних товаровиробників через свою неплатоспроможність».

Отже, наступним етапом дослідження є представлення динаміки цін на продукції вівчарства, а саме на вовну (рис.4.5).

Можна помітити, що у продовж всього періоду ціна на вовну від сільгоспідприємств у середньому на 35-40 % перевищує рівень ціни вовни від господарств населення, що пояснюється якістю вовни. Разом з тим, за результатами останнього періоду, що аналізується, ціна на вовну та від

підприємств становила 968,3 дол. США за t , що значно менше ціни на зовнішньому ринку.

Автори роботи [221] дослідили рівень цін на зовнішньому ринку. Так, ціни на продукцію вівчарства по країнах значно відрізняються. Закупівельні ціни на вовну у 2018 році автори поділили на три групи. Перша – до 1000 дол. США за 1 t (Кіпр, Туреччина, Німеччина, Великобританія, Польща, Україна), друга – від 1000 до 3000 дол. США за тонну (Іспанія, Латвія, Сербія, Казахстан, Росія, Нова Зеландія), третя – від 3000 до 6000 дол. США за тонну (Уругвай, Норвегія, Аргентина, Південна Африка). Отже, Україна знаходиться у групі країн з найнижчою ціною продажу. Автор роботи [224] вказують, що «як стримуючий фактор експорту на даний час слід вказати відсутність сертифікації якості відповідно до світових стандартів».

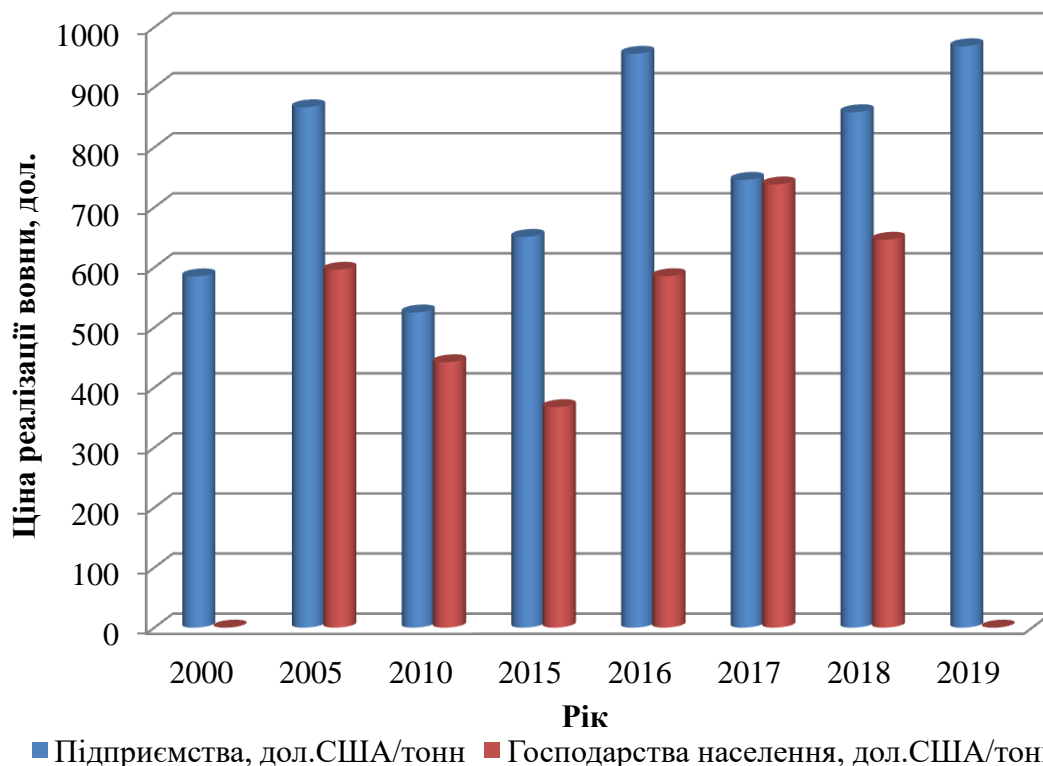


Рисунок 4.5 – Ціна реалізації вовни в Україні у 2000–2019 роках, дол. США/ t (сформовано авторами за даними Державної служби статистики України [230])

Основні показники результативності та ефективності виробництва вовни в Україні протягом останніх майже 20 років наведено у табл.4.1.

За 20 років обсяг виробництва вовни усіма категоріями господарств зменшується удвічі, за останні 5 років зменшення становить 24 %, до рівня 1,7 тис.т. Зменшення відбулося переважно за рахунок зміни обсягів виробництва на базі сільськогосподарських підприємств. Темп зменшення становить у 6,5 рази порівняно з 2000 роком та на 36 % з 2015 роком.

Водночас зменшується і продуктивність тварин. А саме: середній річний настриг вовни від однієї вівці в господарствах усіх категорій на 10–13 % до рівня 2,6 кг на голову, у тому числі за результатами 2019 року настриг у підприємствах становить 1,5 кг, в господарствах населення 2,9 кг.

Універсальним показником ефективності виробництва та реалізації продукції вівчарства є рівень рентабельності, який у продовж всього досліджуваного періоду є від'ємним. Економічний зміст від'ємного значення даного показника показує розмір отриманого збитку на одиницю операційних витрат. Так, середній рівень збитковості галузі вівчарства за останні 20 років становить 33 %, що є наслідком відсутності дієвої державної стратегії розвитку тваринництва, зокрема вівчарства.

Автор роботи [216] дуже вдало пояснює таку «ефективність» галузі. Автор зазначає, що така збитковість обумовлена рядом об'єктивних і суб'єктивних причин, якими є: низький рівень відтворення поголів'я, низькі закупівельні ціни на вовну та відсутність належного ринку збуту продукції. А також повна відсутність державної підтримки галузі вівчарства, що негативно впливає на зацікавленість сільськогосподарських товаровиробників.

Таблиця 4.1

Показники результативності та ефективності господарювання галузі вівчарства України у 2000–2019 роках

Показники	Роки										2019 р. у % до:	
	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018	2019	2000	2015		
1. Виробництво вовни за категоріями господарств, всього, тонн	3400	3195	4192	2270	2072	1967	1908	1734	51,0	76,4		
у тому числі:												
– сільгосппідприємства	1311	692	710	314	266	255	236	200	15,3	63,7		
з них:												
– фермерські господарства	9	71	128	69	55	55	57	49	544,4	71,0		
– господарства населення	2089	2503	3482	1956	1806	1712	1672	1534	73,4	78,4		
2. Середній річний настриг вовни від однієї вівці в господарствах усіх категорій, кг	3,0	3,5	3,4	2,9	2,8	2,8	2,7	2,6	86,7	89,7		
у тому числі:												
– в підприємствах	2,4	2,6	2,3	1,7	1,6	1,6	1,5	1,5	62,5	88,2		
– в господарствах населення	3,8	3,8	3,8	3,3	3,2	3,2	3,0	2,9	76,3	87,9		
3. Середні ціни на вовну, дол. США/т:												
– від сільгосппідприємств	585,0	866,7	524,9	650,8	955,7	745,7	858,5	968,3	165,5	148,8		
– від господарств населення	–	596,1	442,0	367,2	585,3	738,1	646,0	–	–	–		
4. Рівень рентабельності галузі вівчарства, %	–46,4	–32,1	–29,5	–26,6	–31,5	–39,6	–16,6	–39,7	+6,7 в. п.	–13,1 в. п.		

Примітка: сформовано авторами за даними Державної служби статистики України [230]; в. п. – відсоткові пункти

4.3 Результати економічного аналізу ефективності діяльності діючого сільськогосподарського підприємства

Здійснено збір інформації та обробку даних економічної ефективності виробництва та реалізації вовни на діючому сільськогосподарському підприємстві, а саме на базі Державного підприємства «Дослідне господарство «Гонтарівка» Інституту тваринництва Національної академії аграрних наук України (ДПДГ «Гонтарівка» НААН України), табл.4.2.

Таблиця 4.2 – Економічна ефективність виробництва вовни в ДПДГ «Гонтарівка» Інституту тваринництва НААН України у 2017-2019 рр.

Показник	Роки			Зміни: 2019 р. порівняно до 2017 р.	
	2017	2018	2019	+, –	%
1. Середньорічне поголів'я овець, гол.	859	833	1 001	142	116,5
2. Вироблено вовни, кг	3 000	2 700	3 500	500	116,7
3. Виробнича собівартість вовни, дол. США	1 879,7	1 838,2	2 707,9	828,2	144,1
4. Реалізовано вовни, кг	3 000	2 700	3 400	400	113,3
5. Повна собівартість вовни, дол. США	5 033,8	8 139,7	7 159,0	2125,2	142,2
6. Дохід від реалізації вовни, дол. США	4 210,5	4 007,4	5 686,7	1476,1	135,1
7. Продуктивність тварин: – середній річний настриг вовни від однієї вівці, кг	3,5	3,2	3,5	0,004	100,1
8. Виробнича собівартість, дол. США/т	626,3	680,5	773,7	147,4	123,5
9. Повна собівартість, дол. США/т	1 677,9	3 014,7	2 105,6	427,6	125,5
10. Ціна реалізації, дол. США/т	1 403,5	1 484,2	1 672,5	269,0	119,2
11. Прибуток (збиток), дол. США:					
а) на 1 т	-274,4	-	-433,0	-158,6	157,8
б) на 1 гол.	-0,96	-4,96	-1,51	-0,6	158,0
12. Рівень товарності, %	100,0	100,0	97,1	-2,9 в. п.	-
13. Рівень рентабельності, %	-16,4	-50,8	-20,6	-4,2 в. п.	-

Примітка: розраховано авторами за даними ДПДГ «Гонтарівка» НААН України; в. п. – відсоткові пункти

Зазначимо, що за 2017–2019 рр.:

– поголів'я овець в підприємстві збільшується на 16,5 % до рівня 1001 гол.;

– збільшується і обсяг виробництва вовни на 16,7 % до 3,5 т;

– ціна реалізації вовни збільшується лише на 19,2 % до 1 672,5 дол. США за 1 т;

– повна собівартість одиниці продукції кожного року перевищує розмір ціни реалізації, що призводить до збитковості виробництва та реалізації вовни;

– водночас темп збільшення витрат (повної собівартості) перевищує темп збільшення доходів (ціни реалізації вовни).

Зазначені зміни становлять негативний вплив на кінцеві показники ефективності виробництва та реалізації вовни.

Так, у 2019 році отримано збитку на кожен тону вовни 433 дол. США, що у 1,6 рази більше рівня 2017 року; розмір збитку на кожен голову тварин становить 1,51 дол. США; на загальну кількість поголів'я по підприємству розмір збитку сягає 1 515 дол. США.

Отже, рівень збитковості виробництва та реалізації вовни у діючому сільськогосподарському підприємстві становить 20,6 %, що погіршується на 4,2 відсоткових пункти, оскільки рівень збільшення ціни у 1,19 рази є меншим за темп збільшення витрат у 1,26 рази.

У числі причин такої диспропорції між зростанням реалізаційної ціни та рівнем витрат на виробництво вовни також є відсутність її сортування з урахуванням кольору (відтінку, ступеня пожовтіння), що не дозволяє реалізовувати ефективну цінову політику.

Відомо, що за такими загальними ознаками оцінювання руна, як вид вовни, тонина, довжина, стан та колір здійснюється науково-технічна

класифікація вовни. Зазначене на сучасному етапі розвитку людства передбачає використання більш досконалих методів лабораторного та органолептичного оцінювання з використанням лазерних приладів. Необхідним є раціональне поєднання ознак і прийомів оцінювання руна, різноманітної нормативної регламентації [231]. З урахуванням результатів науково-технічної класифікації будуються як державні стандарти на вовну, так і цінова політика на кожному підприємстві.

Метою класифікації вовни є підготовка сировини до найбільш результативної її переробки та раціонального використання, також для встановлення обґрунтованої ціни на вовну відповідно до її якісних характеристик. Отже, техніко-економічне обґрунтування впровадження пристрою для вимірювання фізико-біологічних характеристик шкіри та волосяного покриву тварин, зокрема овець, є необхідним етапом виведення галузі вівчарства з кризисного стану.

4.4 Результати розрахунку економічної ефективності запропонованого пристрою

Розрахунок економічної ефективності здійснено за Національним Стандартом України «Методи економічного оцінювання техніки на етапі випробування» ДСТУ 4397:2005 та у відповідності до Галузевого стандарту України «Методи економічної оцінки техніки для тваринництва» ГСТУ 46.012:2000 [227,228]. Також техніко-економічне обґрунтування доцільності впровадження нового пристрою здійснено на основі статистичних методів визначення ефективності інноваційного проекту [229], а саме було визначено:

– чистий грошовий потік (*NCF* – Net Cash Flow) як різницю сум надходжень (додаткового прибутку та розміру амортизаційних відрахувань) і витрат підприємства за конкретний період;

– чиста приведена вартість (*NPV – Net Present Value*) як різниця між сумою дисконтованого потоку додаткових доходів за період експлуатації інноваційного пристрою та сумою інвестиційних витрат, необхідних для впровадження нового пристрою;

– внутрішня норма прибутковості (*IRR – Internal Rate of Return*), під якою розуміють значення ставки дисконтування, при якій *NPV* проекту дорівнює нулю;

– індекс прибутковості (*PI – Profitability Index*), який являє собою відношення дисконтованих грошових доходів до наведених на ту ж дату інвестиційних витрат щодо впровадження пристрою та показує який додатковий дохід отримає інвестор на одну умовну грошову одиницю;

– дисконтований термін окупності (*DPP – Discounted Payback Period*) – термін, за який окупляться первинні витрати на впровадження пристрою за рахунок додаткових доходів, дисконтованих за заданою відсотковою ставкою (в даному випадку за річною ставкою по депозитам).

Умовами впровадження нового інноваційного пристрою, щодо вимірювання фізико-біологічних характеристик шкіри та волосяного покриву тварин, є такі:

- вартість пристрою становить 717 дол. США;
- підвищення ціни реалізації вовни у наслідок сортування її за якістю – від 5 до 10 %;
- середньорічне поголів'я тварин (овець) – 1000 гол.;
- плановий строк корисного використання пристрою – 3 роки;
- ставка дисконтування – 10 % (річна ставка по депозитам).

Визначення кінцевих та узагальнюючих показників техніко-економічної ефективності впровадження інноваційного пристрою, який допомагає добирати тварин на підставі сортування вовни шляхом вимірювання фізико-біологічних характеристик як шкіри, так і їх волосяного покриву, наведено у табл.4.3.

Таблиця 4.3 – Техніко-економічні показники сортування вовни та розподілу тварин із застосуванням та без застосування лазерного пристрою

Показник	Без застосування пристрою	Впровадження інноваційного пристрою
1. Розмір додаткових капітальних вкладень, дол. США	x	717,0
2. Поголів'я тварин (овець), голів	1 000	1 000
3. Кількість кінцевої продукції (вовни), кг	3 500	3 500
4. Ціна реалізації вовни (у проектному варіанті збільшено на 8 %), дол. США/кг	1,43	1,55
5. Дохід від реалізації продукції, дол. США	5 012,5	5 413,5
6. Виробнича собівартість реалізованої продукції, дол. США	2 506,3	2 506,3
7. Витрати на збут (послуги сторонніх організацій щодо стриження овець і реалізації вовни), дол. США	2 327,2	2 327,2
8. Повна собівартість одиниці продукції (вовни), дол. США/кг	1,38	1,38
9. Прибуток, всього, дол. США	179,02	580,02
10. Прибуток на одиницю продукції, дол. США/кг	0,05	0,17
11. Термін окупності додаткових капітальних вкладень, років	x	1,79
12. Рівень рентабельності виробництва та реалізації вовни, %	3,7	12,0
13. Чистий грошовий потік (NCF) за 3 роки, дол. США	x	1 920,0
14. Дисконтований грошовий потік за 3 роки, дол. США	x	1 591,6
15. Чиста приведена вартість (NPV), дол. США	x	874,6
16. Внутрішня норма прибутковості (IRR), %	x	56,0
17. Індекс прибутковості (PI)	x	1,22
18. Дисконтований термін окупності (DPP), років	x	2,46

Примітка: розраховано авторами; x – значення не визначається

Отже, розмір додаткових капітальних вкладень на суму 717 дол. США дозволяє на 8-10 % збільшити ціну реалізації вовни за рахунок сортування її за якістю. Стає можливим збільшення розміру отриманого прибутку на 0,11 дол. США на кожний кілограм вовни, або отримання додаткового прибутку на суму 401 дол. США на все поголів'я тварин. Рівень рентабельності виробництва та реалізації вовни покращується на 8,3-12 %. Термін окупності додаткових капітальних витрат становитиме лише 21 місяць, що в світовій практиці є кращим значенням за оптимальний термін у 3-5 років.

Отримані показники ефективності інвестиційного проекту також підтверджують доцільність впровадження пристрою, оскільки індекс прибутковості, який показує розмір додаткового прибутку інвестора на одну грошову одиницю додаткових витрат, за виконаними розрахунками становить 1,22. Крім того, внутрішня норма прибутковості у 56 %, суттєво перевищує граничний рівень, який в даному випадку є ставкою дисконтування, або річної ставкою по депозитам. Дисконтований термін окупності становить лише 2,5 роки, що на відміну від терміну окупності додаткових капітальних витрат враховує ринкові ризики, які пов'язані із вартістю капіталу в часі.

4.5 SWOT-аналіз результатів досліджень

Strengths. На підставі визначення техніко-економічних результатів впровадження нового пристрою, який дозволяє здійснювати сортування вовни, з'ясувалось [232]:

– розмір капітальних вкладень на суму 717 дол. США дозволяє отримати додатковий прибуток на кожну голову тварин від реалізації більш якісної вовни;

– рівень рентабельності збільшується на 8,3 відсоткових пункти до 12 %, що дозволяє мати термін окупності додаткових капітальних витрат меншим за два роки;

– внутрішня норма прибутковості у 56 % значно перевищує граничну прибутковість в ринкових умовах, крім того індекс прибутковості є більшим за одиницю.

Weaknesses. Слабкою стороною реалізації проєкту щодо впровадження інноваційного пристрою є не інформованість потенційних користувачів, а саме виробників продукції вівчарства. Інформатизація потребує значних фінансових витрат.

Opportunities. Отримані дані техніко-економічного обґрунтування впровадження нового пристрою підтверджують економічну доцільність застосування зазначеного обладнання. Оскільки термін окупності додаткових капітальних витрат не перевищує двох років, дисконтований термін окупності не перевищує термін корисного використання, який в цьому випадку є мінімальним (3 роки).

Threats. Загрозами для впровадження результатів дослідження є збитковість виробництва та реалізації продукції вівчарства. Основними причинами такого стану галузі вівчарстві є:

- відсутність державної підтримки, особливо фінансової;
- нерозвиненість каналів реалізації продукції, зокрема вовни;
- відсутність прозорих економічних відносин між усіма учасниками ринку продукції тваринництва;
- неможливість (переважно фінансова) сільськогосподарських виробників продукції вівчарства до переходу на інноваційну основу господарювання в наслідок відсутності прорахованої, дієвої цінової політики на всіх етапах цінового ланцюга (від виробника до споживача).

Висновки по розділу 4:

1. Показано, що вівчарство є важливою галуззю тваринництва, яка забезпечує текстильну та шкіргалантерейну галузі такою продукцією, як: вовна, овчина, овечі шкури, та продовольчий ринок високопоживними продуктами харчування, як: м'ясо, жир, молоко, а також додаткові робочі місця. Сучасний стан функціонування галузі як у світі, так і в Україні є кризовим. Спостерігається значне скорочення поголів'я тварин, погіршення їх продуктивності. В Україні, зокрема, можна спостерігати значну збитковість виробництва та реалізації продукції вівчарства. Так, середній рівень збитковості за останні 20 років становить 33 %.

2. Отримані показники ефективності інвестиційного проекту підтверджують доцільність впровадження пристрою, оскільки індекс прибутковості, який показує розмір додаткового прибутку інвестора на одну грошову одиницю додаткових витрат, за виконаними розрахунками становить 1,22. Крім того, внутрішня норма прибутковості у 56 %, суттєво перевищує граничний рівень, який в даному випадку є ставкою дисконтування, або річної ставкою по депозитам. Дисконтований термін окупності становить лише 2,5 роки, що на відміну від терміну окупності додаткових капітальних витрат враховує ринкові ризики, які пов'язані із вартістю капіталу в часі.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ПО РОБОТІ

У дисертаційній роботі сформульовано та розв'язано актуальну для теорії та практики наукову задачу розробка електротехнічних приладів, комплексів та систем для підвищення ефективності виробництва сільськогосподарської продукції, зокрема в вівчарстві на основі застосування лазерних технологій.

Основні результати проведених досліджень полягають в наступному:

1. Аналіз науково-технічної літератури показує, що сьогодні визначення кольору шерсті та смушка (білий, біло-сірий, сірий, темно сірий, ін.) овець здійснюється на основі суб'єктивної оцінки експертом. Тому, актуальними є дослідження спрямовані на розробку технічних приладів та засобів щодо незалежного оцінювання кольору шерсті з метою усунення суб'єктивної оцінки, а саме щодо неінвазивного оцінювання зовнішнього покриву тварин.

2. На основі аналізу оптичних електротехнологій доведено, що дистанційне визначення кольору вовни можливо реалізувати на основі спектрографічного методу з використання когерентного оптичного випромінювання – напівпровідникових лазерів.

3. В результаті проведеного теоретичного дослідження умов поглинання та відбиття лазерного променя доведено що ефекти дифузного розсіяння від поверхні вовни можуть бути покладені в основу методу визначення її кольору.

4. Визначено, що ефективність збору випромінювання відбитого від поверхні вовни залежить від конструкції фотоприймача та кута його нахилу до поверхні шерстного покриву тварини і визначено можливо похибки при вимірюванні кольору яка визначається на основі співвідношення похибки до сигналу в умовах малих значень сигнал/шум.

5. Розроблений прилад складається з джерела живлення, джерел випромінювання з довжиною хвиль 405, 532, 650, 780 нм розміщених в

оптичній головці разом з детектором, що вимірює розсіяне шерстним покривом та шкірою випромінювання, а приймач випромінювання для підвищення ефективності вимірювання, складається з декількох приймачів оптичного випромінювання, налаштованих на відповідну довжину хвилі і інтерференційних фільтрів.

6. Використання запропонованої установки подачі овець на стриження дозволить підвищити вартість шерсті при її реалізації до 30 % за рахунок її кольорової чистоти, а у разі подальшого утримання збільшити продуктивність по нарощуванні шерсті на 13-17 %.

7. На підставі визначення техніко-економічних результатів впровадження нового пристрою, який дозволяє здійснювати сортування вовни, встановлено що розмір капітальних вкладень на суму 20 тис. грн дозволяє отримати додатковий прибуток на кожну голову тварин від реалізації більш якісної вовни, при цьому рівень рентабельності збільшується на 8,3-12 %, що дозволяє мати термін окупності додаткових капітальних витрат меншим за 2 роки, а внутрішня норма прибутковості у 56 % значно перевищує граничну прибутковість в ринкових умовах і індекс прибутковості є більшим за одиницю.

Таким чином, розвиток і вдосконалення технології утримання овець пов'язане з використанням лазерних технологій сортування тварин на основі впровадження методів і технічних засобів визначення рівня меланінової пігментації шерсті. Проведені дослідження є підсумком виконаної роботи, спрямованої на розв'язання одного із завдань національної економіки України.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Панорама аграрного сектора України: [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://minagro.kiev.ua>
2. Тваринництво України: стан, проблеми, шляхи розвитку (1991-2017-2030 рр.) / За ред. Акад. НААН М. І. Бащенко – К.: Аграр. Наука, 2017. – 160 с.
3. Стратегія розвитку сільськогосподарського виробництва в Україні на період до 2025 року / Під. ред. Академіків НААН України Я. М. Гадзала, М. І. Бащенко, В. М. Жука, Ю. О. Лупенка – К.: Аграр. Наука, 2016. – 216 с.
4. Бінкевича В. Я., Яценко І. В. Вівчарство України: основні тенденції функціонування галузі. Науковий вісник Львівського національного університету ветеринарної медицини та біотехнологій ім. Ґжицького. – Львів: ЛНУВМБТ, 2015. – Т. 17, № 1(2). – С. 212-220.
5. Бойко В. О. Перспективи розвитку та підвищення конкурентоспроможності галузі вівчарства на Херсонщині // Економіка АПК. – 2018. – № 1. – С. 26-33.
6. Жарук Л. В Розвиток світового ринку продукції вівчарства. *Економіка АПК*. 2020. № 8. С. 60-71. / Л. В. Жарук, Т. С. Коваль, О. А. Козак // *Економіка АПК*. – 2014. – №3. – С. 13-23.
7. Ібатуллін І. І., Пабат В. О., Туринський В. М. Стан і шляхи підвищення експортного потенціалу галузі вівчарства України. // *Економіка АПК*. – 2014. – № 3. – С. 13-23.
8. Китаєва А. П., Безалтична О. О. Проблеми сучасного розвитку вівчарства. // *Тваринництво України*. – 2016. – № 1-2. – С. 2-4.
9. Козак О. А., Беженар І. М. Організаційно-економічні резерви підвищення конкурентоспроможності галузі вівчарства. // *Економіка АПК*. – 2015. – № 8. – С. 33-38.
10. Bouguer P. Essai d'optique, Sur la gradation de la lumière. Claude

Jombert, Paris 1729. – S.164.

11. Lambert J. H. *Photometria, sive de mensura et gradibus luminis, colorum et umbrae*. Sumptibus Viduae Eberhardi Klett, 1760.

12. Beer A. Bestimmung der Absorption des roten Lichts in farbigen Flüssigkeiten. In: *Annalen der Physik und Chemie*. 86, 1852. – S.78–88.

13. Mattela J., Skopec M., Engel R., Schultheiss D. The peregrinations of the Lichtleiter. In: Johan J. Mattelaer, D. Schultheiss (Hrsg.), *de Historia Urologiae Europaeae*, vol. 10 (Arnhem, Drukkerij Gelderland 2003). – S.35-40.

14. Gijn J., Hart W. From the library of the Dutch Journal of Medicine: Richard Bright (1789-1858) and his 'Reports of Medical cases'. *Nederlands tijdschrift voor geneeskunde* 143 (51): Dec. 1999. – S.2570–2575.

15. Иллюстрированное руководство по эндоскопической хирургии / Учебное пособие: [под ред. С. И. Емельянова]. – М.: МИА, 2004 – 214 с.

16. Helmholtz H. Beschreibung eines Augenspiegels zur Untersuchung der Netzhaut im lebenden Auge, Unveränd. Nachdr. d. Ausg. Leipzig, J. A. Barth, 1910. – 36 s.

17. Joseph R. *Principles of Fluorescence Spectroscopy* / R. J. Lakowicz. - N.Y. Lakowicz. // Springer Science, – 2006. – 960 p.

18. Юденфренд С. Флуоресцентный анализ в биологии и медицине. – М.: Мир, 1965. – 484 с.

19. Milnor W. R., Talbot S.A., etc. A photoelectric ear densitometer for continuously recording the arterial concentration of t-1824 in the dye-dilution / American Heart Association, Inc. // *Circulation research*, 1953. – Vol.1 – 2. – P. 117-121.

20. Tappeiner H., Jesionek A , Therapeutische Versuche mit fluoreszierenden Stoffen. // *Muenchen Med Wochenschr*, V.50, 1903. – P.2041-2051.

21. Beckmann A., Gallaway W., Kaye W., Ulrich W. History of Spectrophotometry at Beckman Instrument, Inc. *Anal. Chem.* 1977, – 49 p.

22. Millikan G. A. A simple photoelectric colorimeter // *J. Physol.* 1933. – Vol. 79. – P.152-157.
23. П'ина А. А. Transmittance of the near infrared rays by tissues of the human body // *Soviet biological.* – 1949. – Vol.35. – P.338-348.
24. Maiman T. H. Stimulated optical radiation in ruby // *J. Nature*, August 6: 1960. – Vol. 187. – № 4736. – P.493–494.
25. Горохов Ю. А. Спектрохроматографический анализ органических соединений с использованием непрерывных перестраиваемых СО- и СО₂ -лазеров / Ю. А.Горохов, Д. Д. Огурок, Л. М. Туманова // *Журнал прикладной спектроскопии.*– Минск: Наука и техника, 1987. – Т6. – №3. – С.387-390.
26. Козлов В. И. Современные тенденции развития лазерной доплеровской флоуметрии в оценке микроциркуляции крови // в кн.: *Применение лазерной доплеровской флоуметрии в медицинской практике.* – М.: 1996. – С.3-12.
27. Jacques S. Monte Carlo modeling of light transport in tissue / S. Jacques, L. Wang // *Optical-thermal response of laser-irradiated tissue* / Eds A.J. Welch, M.J.C. vanGemert. – New York: Plenum Press, 1995. – P.73-100.
28. Wang L. V. Use of a laser beam with an oblique angle of incidence to measure the reduced scattering coefficient of a turbid medium / L. V Wang, S. L. Jacques // *Appl. Opt.* – 1995. – Vol. 34 (13). – P. 2362-2366.
29. Fine S. Biological Effects of Laser Radiation / S. Fine, E. Klein // *Advances in Biol. and Med. Physics*, Acad. Press. –New-York, 1965. – P. 149-226.
30. Черняев Ю. С. Исследование отражения лучистой энергии кожным покровом человека. // *Гигиена труда и проф. заболевания*, 1968. – №2. – С.52-55.
31. Mester E. Clinical application of laser beams // *Lyon Chir.*, 1969. – Vol. 65. – S.335-345.

32. Прикладная лазерная медицина: [учебное и справочное пособие] / Х. П. Берлиена, Г. Й. Мюллера; [пер. с нем.]. – М.: АО "Интерэксперт", 1997. – С.356.
33. Девятков Н. Д. Применение электроники в медицине и биологии // Электронная техника. Сер. СВЧ-техника. – 1993. – № 1(455). – С. 67-76.
34. Запорожан В. Н. Лазеры в эндоскопии / В. Н. Запорожан, В. В. Горубник, Б. К. Поддубный, Т. А. Золотарёва, П. П. Шипулин – К.: Здоров'я, 1998. – 206 с.
35. Волков В. В. Применение лазеров в офтальмологии / В. В. Волков // Известия академии наук СССР. Серия физическая. – 1982. – Т. 46. – № 8. – С.1548-1555.
36. Konecny E. Medizinische Physik und Technik // Medizintechnik. Fernstudium Uni Kaiserslautern, 2003. – 226 s.
37. Welch A. J. Optical-Thermal Response of Laser-Irradiated Tissue 2nd ed. / A. J. Welch J.C. Van Gemert (Eds.) // Springer. –2011., – XIII – 958 p.
38. Линник Л. Ф. Лазерная транспупиллярная термотерапия меланом хориоидеи / Л. Ф. Линник, Д. А. Магарамов, А. А. Яровой, Т. С. Семикова // Офтальмохирургия. – 2002. – № 3. – С.45-50.
39. Qiang Z. Laser photocoagulation treatment of choroidal melanoma / Z. Qiang, J. Cairns. // Aust. N. Z. J. Ophthalmol. 1993. – Vol. 21. – N 2. – P.87-92.
40. Лазарев В. В. Применение флуоресцена в ранней диагностике рака // Лазер-информ, №72. – 1995. – С.7-8.
41. Abstract book of the European Biomedical optics week "BiOS EUROPE'97" – SPIE, Europto Series, San Remo, Italy. – 1997. – P.43-95.
42. Proceedings of Second Plenary Workshop on Tumor Therapy // Laser in Med. Sc., – V.15. – №2. – 1990.
43. Буйлин В. А. Низкоинтенсивная лазерная терапия с применением матричных импульсных лазеров: Информационно-методический сборник / Под ред. чл.-корр. РАМН О.К. Скобелкина. – М.: ТОО «Техника», 1996. – 119 с.

44. Ларюшин А. И. Низкоинтенсивные лазеры в медико-биологической практике / А. И. Ларюшин, Е. Е. Илларионов / – Казань: Абак, 1997. – 276 с.
45. Robinson K. Blood Ananlysis: Nonivasive methods hover on horizon // *Biophotonics*, May-June, 1998. – P.48-52.
46. Takatani S. Noninvasive Tissue Reflectance oximeter / S. Takatani, P. Cheung, E. Ernst // *Ann. of biomed. eng.*, 1993. – Vol.8 – P.1-15.
47. Козлов В. И. Основы лазерной физио- и рефлексотерапии / В. И. Козлов, В. А. Буйлин, Н. Г. Самойлов, И. И Марков // Под ред. О. К. Скобелкина. – Самара-Киев: 1993. – 216 с.
48. Shepherd A. P. Laser – Dopler blodd flowmetry / A. P. Shepherd, P. A. Oberg / *Kluwer Acad. Publ., Hingmam*, 1990. – Vol. 107. – 395 p.
49. Bollinger A. Evaluation of flux motion in man by the laser Doppler technique / A. Bollinger, U. Hoffman, U.K. Franzeck // *Blood Vessels*. 1991. – №28. Supp 1.1. – P.21-26.
50. Zeng H. The dynamics of laser-induced changes in human skin autofluorescence—experimental measurements and theoretical modeling / H. Zeng, C. MacAulay, D. McLean // *Photochem Photobiol*, 1998. – V. 68:2, – P.227-236.
51. Zangaro R. Multi-excitation fluorescence spectroscopy system for in vivo tissue diagnosis / R. Zangaro, L. Silveira, R. Manoharan // *Appl. Opt.*, 1996. №35(25). – P.5211-5219.
52. Линьков К. Г. Лазерно-флюоресцентные методы и аппаратура диагностики и контроля состояния биологических тканей. // Автореф. дисс. канд. тех. наук, М., 1999. – 24 с.
53. Webster J. G. Design of Pulse Oximeters. // *Dep. of Electrical and Computer Engineering, University of Wisconsin-Madison, Taylor & Francis*, 1997. – 260 p.
54. Ларюшин А. И Двухканальный лазерный фотоплетизмограф / А. И. Ларюшин, М. А. Галкин, Р .Н. Хизбуллин, В. А. Новиков //

Метрологический научно-технический журнал «Мир измерений». – 2010. – №7. – С.22-28.

55. Александров М. Т. Основы лазерной клинической биофотометрии. Сочи: Центр «Интермед», 1991. – 87с.

56. Рогаткин Д. А. Современные методы лазерной клинической био-спектрофотометрии. Часть 1. Используемые методики и аппаратное оснащение. / Д. А. Рогаткин. Л. Г. Моисеева. – М.: Изд-во ВИНТИ, 1997. – 53 с.

57. Drexler W. Ultrahigh-resolution ophthalmic optical coherence tomography. / W. Drexler, U. Morgner, R. Ghanta, F. Kärtner, J. Schuman, J. Fujimoto [erratum appears in Nat Med May 2001; 7 (5): 636.]. In: Nature Medicine. 7, Nr. 4. – 2001. – S.502-507.

58. Schmitt H. System concepts for high resolution optical tomography / H. Schmitt, V. Blazek // Laser und optoelekt., 1995. – №27. – S.43-47.

59. Левин Г. Г. Оптическая томография. / Г. Г. Левин, Г. Н. Вишняков – М.: Радио и связь, 1989. – 224 с.

60. Müller G., et al., Medical Optical Tomography: Functional Imaging and Monitoring, SPIE, Bellingham. – 1993. – 642 p.

61. Jacques S. L. The role of skin optics in diagnostic and therapeutic uses of lasers // Lasers in Dermatology / Ed. R. Steiner- Berlin: Springer-Verlag. – 1991. – P.1-21.

62. Andersen P. Spectral reflectance of human skin in vivo / P. Andersen P. Bjerring // Photodermatol. Photoimmunol. Photomed. – 1990. – Vol. 7. – P.5-12.

63. Wang T. New Frontier in Endoscopic Detection and Diagnosis. / T. Wang, J. Van Dam, A. Optical Biopsy. // Clin Gastroenterol Hepatol. – 2004. – Vol. 2(9). – P. 744–753.

64. Roggan A. Experimental set-up and Monte-Carlo model for the determination of optical tissue properties in the wavelength range 330-1100nm / A.

Roggan, H. Albrecht, K. Dorschel, O. Minet, G. Muller // SPIE Proc. – Vol. 2323. – 1996. – P.22-36.

65. Schmitt J.M. Multilayer model of photon diffusion in skin / J. M. Schmitt, G. X. Zhou, E. C. Walker // J. Opt. Soc. Am. A. – 1990. – Vol. 7. – P.2141-2153.

66. Hering E. Photonik / E. Hering, R. Martin // Springer Grundlagen, Technologie und Anwendung. – М.: Наука, 1983. – 523 с.

67. Лазеры: применения и приложения : учебное пособие / А. С. Борейшо, В. А. Борейшо, И. М. Евдокимов, С. В. Ивакин // Под редакцией А. С. Борейшо. – С-Пб.: Лань, 2016. – 520 с.

68. Лазерные технологии в сельском хозяйстве / Тематический сборник: [под. ред. А. Ю. Филатова]. – М.: Техносфера, 2008 – 272 с.

69. Москвин С. В. Эффективность лазерной терапии. – М.: Фирма «Техника», 2013. – 800 с.

70. Москвин С. В. Эффективность лазерной терапии. Серия «Эффективная лазерная терапия». Т. 2. – М.–Тверь: ООО «Изд-во «Триада», 2014. – 896 с.

71. Рогаткин Д. А. Аппаратное, программное и методическое обеспечение неинвазивной спектрофотометрической диагностики : Дис. ... д-ра техн. наук : 05.11.17 : Москва, 2004. – 406 с.

72. Тучин В. В. Лазеры и волоконная оптика в биомедицинских исследованиях. – Саратов: Изд-во Сарат. Ун-та, 1998. – 384 с.

73. Abstract book of the European Biomedical optics week "BiOS EUROPE'97" – SPIE, Europto Series, San Remo, Italy, 1997. – P.43-92.

74. Шмидт В. Оптическая спектроскопия для химиков и биологов / [перевод с англ. Н. П. Ивановской под. ред. С. В. Савилова]. – М.: Техносфера, 2007 – 368 с.

75. Синичкин Ю. П. Флуоресцентная и спектрально-поляризационная диагностика биологических тканей in vivo : Дис. ... д-ра физ.-мат. наук : 03.00.02 : Саратов, 2003. – 416 с.

76. Оськин С. В. Электротехнологии в сельском хозяйстве [Текст] : учебник для обучающихся в высших учебных заведениях по направлению "Агроинженерия"; М-во сельского хоз-ва Российской Федерации, ФГБОУ ВПО "Кубанский гос. аграрный ун-т". – Краснодар: КубГАУ, 2016. – 501 с.
77. Рогаткин Д. А. Лазерная клиническая диагностика как одно из перспективных направлений биомедицинской радиоэлектроники // Биомед. Радиоэл., №3. – 1998. – С. 34-41.
78. Приезжев А. В. Лазерная диагностика в биологии и медицине / А. В. Приезжев, В. В. Тучин, Л. П. Шубочкин – М.: Наука, 1989. – 237с.
79. Гамалея Н. Ф. Лазеры в эксперименте и клинике. – М.: Наука, 1973. – С.5-61.
80. Anderson R. R. Optical properties of human skin // The Science of Photomedicine / Eds. J. D. Regan, J. A. Parrish. – New York: Plenum Press, 1982. – P.147-194.
81. Graaff R. Optical properties of human dermis in vitro and in vivo / R. Graaff, A. Dassel, M. Koelnic, et al. // Appl. Optics. – 1993. – Vol. 32. – P.435-446.
82. Kollias N. Spectroscopic characteristics of human melanin in vivo / N. Kollias, A. Bager // J. Invest. Dermatol. – 1985. – Vol. 85. – P.38-42.
83. Patterson M.S. Time resolved reflectance and transmittance for the non-invasive measurement of tissue optical properties / M. Patterson, B. Chance, B. Wilson // Appl. Opt. – 1989. – V. 28(2). – P.2331-2336.
84. Wilson B. C. Measurement of tissue optical properties: methods and theories // Optical-thermal response of laser-irradiated tissue / Eds. A.J. Welch, M.J.C. van Gemert – New York: Plenum Press, 1995. – P.233-274.
85. Шебалин А. Лазерная мед. диагностика состояния организма по биоспеклам кожи // Фотоника. – М.: Техносфера – 2008. – С.14-18.
86. Червинський Л. С. Оптичні технології в тваринництві / Л. С. Червинський – К.: Наукова думка, 2003. – 203 с.

87. Лисиченко М. Л. Низькоенергетичні лазерні електротехнології в тваринництві : Дис... д-ра техн. наук: 05.09.16 / Харківський національний технічний ун-т сільського господарства ім. Петра Василенка. – Х., 2006. – 401 арк. : рис. – Бібліогр.: арк. 305-346.
88. Посудин Ю. И. Лазерная фотобиология. – К.: Вища школа, 1989. – 248 с.
89. Тучин, В. В. Лазеры и волоконная оптика в биомедицинских исследованиях. 2-е изд., испр. и доп. – М.: Физматлит, 2010. – 500 с.
90. Лакович Дж. Основы флуоресцентной спектроскопии. – М.: Мир, 1986. – 488 с.
91. Dawson J. B. A theoretical and experimental study of light absorption and scattering by in vivo skin / J. B. Dawson, J. W. Barker, D. J. Ellis et al // *Phys. Med. Biol.* – 1980. – Vol. 25. – P.695-709.
92. Edwards C. A small state meter for measuring melanin pigmentation / C. Edwards, R. Heggie // *The Environmental Threat to the Skin* / Eds. R. Marks, G. Plewig - Martin Dunitz, 1992. – P.149-154.
93. Тучин, В. В. Оптика биологических тканей: методы рассеяния света в медицинской диагностике / В. В. Тучин ; ред. В. В. Тучин ; пер. с англ. В. Л. Дербова. – М.: Физматлит, 2012. – 811 с.
94. Цибух А. В. Аналіз застосування лазерного випромінювання в сільському господарстві // *Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. П. Василенка: Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України.* – Х.: ХНТУСГ, 2010. – Вип. 101. – С. 92-100.
95. Золотарьова С.А. Відтворювальна здатність і продуктивність сірих сокільських овець з різними відтінками смушки: Автореф. дис. канд. с.-г. наук: 06.02.01 / С.А. Золотарьова; УААН; Ін-т тваринництва. – Х., 2005. – 19 с.
96. Цибух А. В. Методи та засоби лазерної діагностики біологічних об'єктів і процесів // *Вісник ХНТУСГ ім. П. Василенка. Технічні науки*

«Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України» – Х.: ХНТУСГ, 2011. – Вип. 116. – С. 84-85.

97. Щукин Ю. В. Пропедевтика внутренних болезней: методы исследования пациента : учебное пособие для студентов, обучающихся по специальностям. / Ю. В. Щукин, В. А. Дьячков, А. Е. Рябов. // Лечебное дело. Педиатрия. – Самара : ООО «Издательство Ас Гард», 2012. – 280 с.

98. Грачева О.А. Исследование кожи: методические указания / А.Р. Шагеева, Д. Р. Амиров // Казань: Центр информационных технологий КГАВМ, 2016. – 37с.

99. Цибух А. В. Схема приладу для вимірювання спектру дифузного відбиття / А. В. Цибух, М. Л. Лисиченко, Л. С. Скрипка // Вісник ХНТУСГ ім. П. Василенка: Технічні науки «Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України» – Х.: ХНТУСГ, 2012. – Вип. 129. – С.51-52.

100. Stoecker W. V. “Digital imaging in dermatology” / W.V. Stoecker, R.H Moss // Computerized Medical Imaging and Graphics Issue 3, May–June 1992. – V.16. – P. 145-150.

101. Kenet R. D. Digital imaging in dermatology // Clinics Dermatol. – 1995. – Vol.13. – P.381-392.

102. Vane G. Terrestrial imaging spectrometry: current status, future trends / G. Vane, A.F.H. Goetz // Remote Sens Environ – 1993. – Vol.44. – P.117-126.

103. Seitz J. C. Measurement of erythema and tanning re-sponce in human skin using a tristimulus colorimeter / J. C. Seitz, C. G. Whitmore // Dermatologica. – 1988. – Vol.177(2). – P.70-75.

104. Kopola H. Two-channel fiber optic skin erythema meter / H. Kopola, A. Lahti, R.A. Myllyla, M. Hannuksela // Opt. Eng. – 1993. – Vol.32(2). – P. 222-226.

105. Кугейко М. М. «Анализ информативности поляризации рассеянного излучения в диагностике микрофизических параметров

эритроцитов» / М. М. Кугейко, Д. А. Смутнёв // Вестник БГУ. Сер. 1. – 2012. – № 2. – С.19-23.

106. Цибух А. В. Методи визначення оптичних властивостей біотканин / А. В. Цибух, Л. С. Скрипка // ХНТУСГ ім. П. Василенка: Технічні науки. «Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України» – Х.: ХНТУСГ, 2014. – Вип. 153. – С.88-89.

107. Нагирнер Д. И. Лекции по теории переноса излучения: [учебное и справочное пособие] – СПб : Изд-во С.-Пет. Ун-та, 2001. – 284 с.

108. Исимару А. Распространение и рассеяние волн в случайно-неоднородных средах. / Пер. с англ. – М.: Мир, 1981. – Т.1. – 281 с.

109. Зеге Э. П. Перенос изображения в рассеивающей среде / Э. П. Зеге, А. П. Иванов, И. Л. Кацев. – Минск: Наука и техника, 1985. – 328с.

110. Бутов Г. П. Оптические свойства шерстного, перьевого и кожного покровов животных и птицы. // Тр. Бел. СХИ. Автоматизация и электрификация сельскохозяйственного производства. – Горки: БелСХИ, 1980. – Вып. 63 – С.68-72.

111. Strattonnikov A.A. Oxygen consumption and photobleaching in whole blood incubated with photosensitizer induced by laser irradiation. / A. A. Strattonnikov, A. Yu. Douplik, et al. // J. Laser Physic. – 2003. – V.13. – No.1. – P. 1-21.

112. Пушкарева А. Е. Методы математического моделирования в оптике биоткани. Учебное пособие. – С-Пб: СПбГУИТМО, 2008. – 103 с.

113. Kramer K. Ein Verfahren zur fortlaufenden Messung des Sauerstoffgehaltes im strömenden Blute an uneröffneten Gefäßen / Biologie 96. – 1935. – 61 p.

114. Черняев Ю. С. Исследование отражения лучистой энергии кожным покровом человека // Гигиена труда и проф. заболевания. – 1968. – №2. – С. 52-55.

115. Gibson I. M., Measurement of skin colour in vivo, J. Soc. Cos. Chem., 6th IFSCC Congress, Barcelona, 1971. – V.29. – P.725-740.

116. Diffey B. L. portable instrument for quantifying erythema induced by ultraviolet radiation / B. L. Diffey, R. J. Oliver, P. M. Farr // *British Journ. Dermatol.* – 1984. – Vol.III – P.663-672.

117. Dolotov L. E. Design and Evaluation of a Novel Portable Erythema-Melanin-Meter // L. E. Dolotov, Yu. P. Sinichkin, V. V. Tuchin, S. R. Utz., G. B. Altshuler, I. V. Yaroslavsky. // *Lasers in Surgery and Medicine.* – 2004. – Vol.34. – P.127-135.

118. Цибух А. В. Удосконалення пристрою для визначення фізико-біологічних характеристик шерстного покриву та шкіри тварин / А. В. Цибух, М. Л. Лисиченко // Матер. XXXVI Междунар. научн.-практ. конф. "Применение лазеров в медицине и биологии" (5-8 октября 2011 г.) / ХНУ ім. В.Н.Каразіна; редкол К.В. Русанов [и др.] – Судак: НПМБК «Лазер и здоровье», 2011. – С. 163-164.

119. Tsybukh A. V. Method and equipment of the optical properties diagnostics of the agricultural animals external cover / A. V. Tsybukh, M. L. Lysychenko // Матер. XXXVII Междунар. научн.-практ. конф. "Применение лазеров в медицине и биологии" (23-25 мая 2012 г.) – Х.: НПМБК «Лазер и здоровье», 2012. – С. 126.

120. Антипова Л. В. Анатомия и гистология сельскохозяйственных животных. / Л. В. Антипова, В. С. Слободяник, С. М. Сулейманов. – М.: Изд-во «Колос», 2005. – 384 с.

121. Гигинейшвили Н. С. Племенная работа в цветном каракулеводстве. – М.: Колос, 1976. – 128 с.

122. Лаханова К. М. Гистологическая основа некоторых вариантов окраски каракульских ягнят / К. М. Лаханова, Э. Б. Всеволодов, Л. С. Прусова // *Вестник сельскохозяйственной науки Казахстана.* – Алма-Ата: Казахи, 1989. – №11. – С.65-66.

123. Туекбасов М. К. Пигментация волосяного покрова каракульских ягнят // *Овцеводство.* – М.: Агропромиздат, 1991. – №2. – С.33-34.

124. Алибаев Н. Совершенствование оценки каракульских баранчиков окраски сур / Н. Алибаев, Е. Байбеков // Зоотехния. – М.: Агропромиздат, 1991. – №3. – С.17-20.
125. Алиев Г. А. Пигментация шерсти таджикских овец / Г. А. Алиев, М. Л. Рачковский // Зоотехния. – М.: Агропромиздат, 1989. – №9. – С.30-33.
126. Алиев Г. А. Морфофизиологическое исследование ингибирующего влияния генов-модификаторов на меланогинез в онтогенезе овец таджикской породы / Г. А. Алиев, М. Л. Рачковский, М. А. Кримова // Генетика. – М.: Наука, 1987. – №9. – С.1645-1657.
127. Рачковский М. Л. Структура волосяного покрова серых каракульских ягнят / М. Л. Рачковский, А. Р. Пинхасов, Т. Куганов, О. Уласик // Овцеводство. – М.: Агропромиздат, 1990. – №6. – С.38-40.
128. Фищенко О. П. Исследование пигментов волосяного покрова каракульских ягнят в связи с наследованием окрасок. / О. П. Фищенко, И. Н. Дьячков, М. А. Риш в кн. «Генетика». – М.: Наука, 1968. – Т.4. – С.340-389.
129. Очилов К. Д. Характеристика пигментации волос каракульских ягнят при помощи спектрометрии электронного парамагнитного резонанса и электронной микроскопии: Автореф. дис. канд. с.-г. наук: 03.00.11 / К.Д. Очилов; сектор морфо генетики ВНИИК; Институт экспериментальной биофизики АН КазССР. – Самарканд, 1985. – 26 с.
130. Drochmans P. electron microscope studies of epidermal melanocytes, and the fine structure of melanin granules j biophys biochem cytol. 1960 sep 1; 8(1): P.165-180.
131. Инграм Д. Электронный парамагнитный резонанс в биологии. – М.: Наука, 1972. – 296 с.
132. Борг Г. Применение электронного парамагнитного резонанса в биологии. / В кн.: Свободные радикалы в биологии. – М.: Наука, 1979. – Т.2 – С.88-177.
133. Ажипа Я. И. Медикобиологические аспекты применения метода электронного парамагнитного резонанса. – М.: Наука, 1983. – 523 с.

134. Snell R. S. An electron microscopic study of melanin in the hair and follicles. – J. Investig. Dermatol., 1972. – Vol.59. – №2. – P.144-152.
135. Mottaz J. H. Melanin transfer: a possible phagocytic process / J. H. Mottaz, A. S. Zellickson // J. Invest. Dermatol. – 1967. – №49. – P.605-610.
136. Kidd F. Other animal fibres. In: Chemistry of naturalprotein fibres. New York. – London: 1977. – P.371-407.
137. Chedeckel M. R. Research note photodestruction of pheomelanin. / M. R. Chedeckel, P. W. Post, R. M. Deibel, M. Kalus // Photochem. and Photobiol. – 1977. – Vol.26. – P.651-653.
138. Всеволодов Э. Б. Применение ЭПР-спектрометрии шерсти в генетике и селекции овец. / К. Д. Всеволодов, А. П. Очиллов, Й. Ф. Латыдов // В кн.: I Все союз. биофиз. съезд: Тез докл. стендовых сообщ. – М.: 1982, прил. к Т.4. – С.7.
139. Цибух А.В. Можливості застосування лазерного випромінювання для спрощення аналізу кількісних та якісних показників меланінів / А. В. Цибух, М. Л. Лисиченко // Матер. XXIX Междунар. научн.-практ. конф. "Применение лазеров в медицине и биологии" (21-24 мая 2008 г.) – Х.: НПМБК «Лазер и здоровье», 2008. – С. 308-309.
140. Рогаткин Д. А. Перспективы развития неинвазивной спектродетекторной диагностики в медицине / Д. А. Рогаткин, Л. Г. Лапаева // Медицинская техника. – 2003. – №4. – С.31-36.
141. Arridge S. The theoretical basis for the determination of optical pathlength in tissue: temporal and frequency analysis / S. Arridge, M. Cope, D. Delpy // Phys. Med. Biol. – 1992. – Vol.37 (7). – P.1531-1560.
142. Cheong W. F. A review of the optical properties of biological tissue / W. F. Cheong, S. A. Prahl, A. J. Welch // IEEE J. Quant. Electr. – 1990. – Vol.26. – №12. – P.2166-2185.
143. Niemz M. H. Laser – Tissue Interactions: Fundamentals and Applications. – Berlin, 1996. – 305 p.

144. Prahl S. A. Determining the optical properties of turbid media by using the adding-doubling method. / S. A. Prahl, M. J. Gemert, A. J. Welch, // *Appl. Opt.* – 1993. – Vol.32. – №4. – P.559-568.

145. Басс Л. П. “Моделирование распространения оптического излучения в фантоме биологической ткани на супер ЭВМ МВС1000/М” / Л. П. Басс, О. В. Николаева, В. С. Кузнецов, А. В. Быков, А. В. Приезжев, А. А. Дергачев // *Матем. моделирование*, 2006. – №18(1). – С.29-42.

146. Вракин В. Ф. Морфология сельскохозяйственных животных. Анатомия и гистология с основами цитологии и эмбриологии. / В. Ф. Вракин, М. В. Сидорова, В. П. Панов, А. Э. Семак – М.: Изд-во ООО «Гринлайт», 2008. – 616 с.

147. Борн М. Основы оптики / М. Борн, Э. Вольф // Пер. с англ. – М.: Наука, 1970. – 855 с.

148. Цибух А. В. Особливості формування спектру дифузного відбиття світла шерстним покривом та шкірою тварин / А. В. Цибух, М. Л. Лисиченко // *Матер. XXXVIII Междунар. научн.-практ. конф. "Применение лазеров в медицине и биологии"* (3-6 октября 2012 г.) – Ялта: НПМБК «Лазер и здоровье», 2012. – С. 145.

149. Otto M. Analytische Chemie. 4., überarbeitete und ergänzte Auflage / Matthias Otto // Wiley-VCH, Weinheim. – 2011, ISBN 978-352-73288-1-9. – S.236–237.

150. Меглинский И. В. Анализ пространственного распределения чувствительности детектора в многослойной случайно-неоднородной сильно рассеивающей и поглощающей свет среде методом Монте-Карло / И. В. Меглинский, С. Д. Матчер // *Оптика и спектроскопия*. – 2001. – Т. 91. – №4. – С.692-697.

151. Flock S. T. Total attenuation coefficients and scattering phase functions of tissues and phantom materials at 633 nm / S. T. Flock, B. C. Wilson, M. S. Patterson // *Med. Phys.* 1987. – Vol.14. – P.284.

152. Rouaud M. Probability, Statistics and Estimation // Propagation of Uncertainties in Experimental Measurement – 2013. – P.10.

153. Ярославская А. Н. Спектроскопические исследования биотканей и суспензий клеток применительно к задачам лазерной диагностики и терапии: Дисс. канд. физ.-мат. наук. – Саратов: СГУ, 1999. – 142 с.

154. Симоненко Г. В. Оптические свойства биологических тканей / Г. В. Симоненко, В. В. Тучин [Учебно –методическое пособие]. – М.:Физматлит, – 2007. – С.48.

155. Tversky V. Absorption and multiple scattering by biological suspensions // J. Opt. Soc. Am. – 1970. – Vol.60. – P.1084-1093.

156. Qu J. Laser-induced fluorescence spectroscopy at endoscopy: tissue optics, Monte Carlo modeling, and in vivo measurements / J. Qu, C. MacAulay, S. Lam, B. Palcic / Opt Eng. – 2001. – №34. – P.3334–3343.

157. Гираев К. М. Оптические исследования биотканей: определение показателей поглощения и рассеяния / К. М. Гираев, Н. А. Ашурбеков, О. В. Кобзев / Дагестанский гос. унив., Письма ЖТФ. – Махачкала, 2003. – Т.29. – № 21. – С. 48-54.

158. Башкатов А. Н. Исследование изменения коэффициента отражения склеры глаза человека под действием раствора глюкозы / А. Н. Башкатов, Э. А. Генина, Ю. П. Синичкин, В. В.Тучин // Проблемы оптической физики. Матер. Межд. молодежной научной школы по оптике, лазерной физике и биофизике. – Саратов: Изд-во СГУ, 2000. – С.147-149.

159. Mourant J. R Predictions and measurements of scattering and absorption over broad wavelength ranges in tissue phantoms / J. R. Mourant, T. Fuselier, J. Boyer, T. M. Johnson, I. J. Bigio // Appl. Opt. – 1997. – Vol.36. – №4. – P.949-957.

160. Yaroslavsky A. N. Influence of the scattering phase function approximation on the optical properties of blood determined from the integrating sphere measurements // A. N. Yaroslavsky, I. V. Yaroslavsky, T. Goldbach, H. J. Schwarzmaier. // J. Biomed. Opt. – 1999. –Vol.4. –№1. – P.47-53.

161. Русина Н. С. Лазерная абляция биотканей / Н. С. Русина, А. Ю. Сетейкин // Вестник Амурского государственного университета. – 2013. – Вып. 61 : Сер. Естеств. и экон. науки. – С. 18-21.
162. Овчинникова И. А. Мониторинг состояния биотканей методами поляризационно-отражательной и флуоресцентной спектроскопии: Автореф. дис. канд. физ.-мат. наук: 03.00.02 / И. А. Овчинникова; СГУ. – Саратов, 2005. – 28 с.
163. Цибух А. В. Аналіз умов математичного моделювання розповсюдження оптичного випромінювання в біологічних об'єктах сільського господарства / А. В. Цибух, М. Л. Лисиченко // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. П. Василенка: Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України. – Х.: ХНТУСГ, 2015. – Вип.164. – С.144-147.
164. Тучин В. В. Исследование биотканей методами светорассеяния // Успехи физ. наук. – 1997. – Т. 167. – №5. – С.517-539.
165. Ерохин А. И. Овцеводство. / А. И. Ерохин, С. А. Ерохин – М.: МСХА, 2004. – 478 с.
166. Bekemeier G. Versuche zur erschöpfenden UV-Aktivierung des Provitamins in Schweineswarte / G. Bekemeier, C. Pfenningdorf // Seylers. d. Physiol. Chem., 1959. – V.314. – №1. – P.120-124.
167. Robert F. Fuchs. The optical properties of human hair II. The luster of hair fibers. / F. Robert, L. Mario, and J. Judith // J. Soc. Cosmet. Chem., 1977. – №28. – P.601-609.
168. Robert F. The optical properties of human hair I. Fundamental considerations and goniophotometer curves. / F. Robert, L. Mario, and J. Judith // J. Soc. Cosmet. Chem., 1977. – №28. – P.571-599.
169. Hund F. Zur Deutung der Molekelspektrum. // Zs. Phys., 1927. – №40. – P.742-764.
170. Домасев М. В. Цвет, управление цветом, цветовые расчеты и измерения / М. В. Домасев, С. П. Гнатюк. – СПб.: Питер, 2009. – 224 с.

171. Луизов А. В. Цвет и свет. – Л.: Энергоатомиздат, 1989. – 256 с.
172. Мак-дональд Р. Цвет в промышленности. – М.: Логос, 2003. – 596 с.
173. Щербаковский М. Г. Особенности определения цвета в криминалистических исследованиях. / М. Г. Щербаковский, Ю. Е. Хорошайло, О. Л. Красникова. // ISSN 1727–1584. Право і безпека. – 2011. – № 1(38) – С. 187-190.
174. Дуброва Г. С. О диффузионном пропускании и отражении толстых слабопоглощающих слоев при плотной упаковке частиц. / Г. С. Дуброва, А. Я. Хайрулина // ЖПС. – 1988. – №5. – С.832-835.
175. Dawson J. B. A theoretical and experimental study of light absorption and scattering by in vivo skin / J. B. Dawson, D. J. Barker, D. J. Ellis, E. Grassam, J. A. Cottenll, G. W. Fisher, J. W. Feather // Phys. Med. Biol. – 1980. – Vol.25. – P.695–709.
176. Tsybukh A. V. Color detection device of animal wool cover / A. V. Tsybukh, M. L. Lysychenko // Modern engineering and innovative technologies. – 2021. – №15(03). – P.17-28.
177. Зеге Э. П. Определение оптических характеристик рассеивающих слоев по диффузионному отражению и пропусканию / Э. П. Зеге, М. П. Значенок, И. Л. Кацев // ЖПС. – 1980. – Т.33. – Вып. 4. – С.735-741.
178. Барабаненков Ю.Н. Экстремальные свойства излучения, отраженного от биологической ткани с неоднородностью / Ю. Н. Барабаненков, А. Ю. Каргашин // Радиотехника. –1995. – №9. – С. 60-64.
179. Фатух Хазем. Спектральные методы неинвазивной диагностики // Электроника и связь. – 1999. – Т.2. – №6. – С. 177-122.
180. Баньков А. Б. Фиброоптическая оксигеметрия // Медицинская техника. – 1993. – №1. – С.17-48.
181. Чевари С. Спектрофотометрический метод определения гемоглобина в крови. / С. Чевари, Н. Чабари. – М.: Медицина, 1986. – 290 с.
182. Латыев С. М. Конструирование точных оптических приборов. Часть 2. – С-Пб.: ЛИТМО, 1999. – 176 с.

183. Цибух А. В. Класифікація способів лазерної діагностики властивостей біологічних об'єктів / А. В. Цибух, М. Л. Лисиченко // Матер. III Міжн. наук.-прак. конф. «Проблеми та перспективи розвитку енергетики, електротехнологій та автоматики в АПК» (17-18 грудня 2015 р.) – К.: НУБіП України, 2015. – С.107-108.

184. Фесечко В. А. Идентификация спектров излучения / В. А. Фесечко, В. Ф. Сташкевич, Фатух Хазем. // Электроника и связь. – 1997. – Ч. 2. – №2. – С.407-409.

185. Aizu Y. Coherent optical techniques for diagnostics of retinal blood flow / Y. Aizu, T. Asakuaa // Biomed. Opt. – 1999. – №4. – P.61-75.

186. Грачев И. Д. Обработка двумерных распределений спектроскопических данных методом статистической регуляризации / И. Д. Грачев, М. Х. Салахов, И. С. Фишман // Оптика и спектроскопия. – 1983. – Т.54. – №6. – С.928-925.

187. Цибух А. В. Пристрій для визначення кольору шерстного покрыву тварин / А. В. Цибух, М. Л. Лисиченко // Modern Scientific Researches – №13, oktober 2020, Belarus – Minsk: Yolnat PE, 2020. – С. 56-63.

188. Dawson J.B. A theoretical and experimental study of light absorption and scattering by in vivo skin // J. B. Dawson, D.J. Barker, D.J. Ellis, E. Grassam, J.A. Cotterill, G.W. Fisher, and J.W. Feather // Phys. Med. Biol. – 1980, –Vol.25. – №4. – P.695-709.

189. Пат. №2234853 Российская Федерация, МПК А61В5/00. Диагностическое устройство для измерения физико-биологических характеристик кожи и слизистых оболочек in vivo. / Д. А. Рогаткин, Ю. Ю. Колбас; от 26.12.2002 г.

190. Dolotov L.E. Design and Evaluation of a Novel Portable Erythema-Melanin-Meter. / L. E. Dolotov, Yu. P. Sinichkin, V. V. Tuchin, S. R. Utz, G. B. Altshuler, I. V. Yaroslavsky. // Lasers in Surgery and Medicine. – 2004. – Vol.34. – P.127-135.

191. Gibson I.M. Measurement of skin colour in vivo. / J. Soc. Cos. Chem.,

6th IFSCC Congress. – Barcelona, 1971. – Vol.29. – P.725-740.

192. Diffey B.L. Portable instrument for quantifying erythema induced by ultraviolet radiation / B. L. Diffey, R. J. Oliver, P. M. Farr // *British Journ. Dermatol.* – 1984. – Vol.III. – P.663-672.

193. Andersen P.H. Spectral reflectance of human skin in vivo / P. H. Andersen, P. Bjerring // *Photodermatol. Photoimmunol and Photomedicine.* – 1990. – Vol.7. – №1. – P.5-12.

194. Kopola H. Two-channel fiber optic skin erythema meter / H. Kopola, FLathi A., R. Myllya, M. Hannuksela // *Optikal Engineering.* – 1993. – Vol.32.– №2. – P.222-226.

195. Утц С.Р. Портативный эритемо-меланинометр для дерматологии и косметологии / С. Р. Утц, Ю. П. Синичкин // *Вестник дерматологии и венерологи.* – 1997. – №5. – С.48-54.

196. Sang P. E. Application of a pigment measuring device – Mexameter® – for the differential diagnosis of vitiligo and nevus depigmentosus. / P. E. Sang, N. J. Im, S. O. Kim, Ch. H. Huh, S. W. Youn, K. Ch. Park // *Skin Research and Technology.* – 2006. №12. – P.298-302.

197. А.с. СССР № 1337014, МПК А 01 К 13/00. Устройство для подачи овец на стрижку и купку / К. И. Исмаилов, О. К. Жныбаев, В. И. Кубышкин, Ю. Н. Зубенко, С. О. Назаров, Ы. Д. Осмонов – №3985131/30-15; Заявлено 09.12.1985; Оpubл. 15.09.1987. Бюл. №34. – 3 с.

198. А.с. СССР № 1449075, МПК А 01 К 13/00. Устройство для подачи овец на обработку / П. Л. Полозов, Ю. А. Мирзоянц, А. П. Писарев, В. Е. Фириченков – №3967238/30-15; Заявлено 22.10.1985; Оpubл. 07.01.1989. Бюл. №1. – 3 с.

199. Махньова С. А. Ріст та розвиток сірих сокільських ягнят з урахуванням відтінку смушки // *Вісник Сумського національного аграрного університету* – Суми: СНАУ, 2001. – С. 250-252.

200. Патент на корисну модель №70157, Україна. МПК G01N 21/01 (2006.01), G01N 33/48 (2006.01) Прилад для вимірювання фізико-біологічних

характеристик шерстного покриву на шкіри / А. В. Цибух, М. Л. Лисиченко, В. В. Холін (Україна) – № у 2011 14174; Заявлено 30.11.2011; Опубл. 25.05.2012. Бюл. № 10. – 6 с.

201. Оптическая биомедицинская диагностика / Пер. с англ. В. В. Тучина – М.: Физматлит, 2007. – 560 с.

202. Махньова С. А. Ріст та розвиток сірих сокільських ягнят з урахуванням відтінку смушки // Вісник Сумського національного університету. – Суми: СНАУ, 2001. – С.76-81.

203. Trevelyan J. P. Sensing and control for sheep shearing robots // IEEE Transactions on Robotics and Automation, Dept. of Mech. Eng., Western Australia Univ., Nedlands, WA, Australia V. 5, Issue: 6, Dec 1989. – P.716-727.

204. US Patent № 4,983,914 Proximity measurement by inductive sensing using single turn UHF energized coil sensors incorporated into cutter head of sheep shearing device Baranski Jan, The University of Western Australia, Nedlands, Australia Jan. 8, 1991. – 8 p.

205. Лисиченко М. Л. Електропривод у питаннях і відповідях / М. Л. Лисиченко, П. І. Савченко, О. К. Тищенко, В. В. Гузенко – Х.: Факт, – 2012. – 500 с.

206. Цибух А. В. Визначення вимог до електроприводу установки для сортування овець перед стриженням / А. В. Цибух, М. Л. Лисиченко, Л. С. Скрипка // Вісник ХНТУСГ ім. П. Василенка. Технічні науки. “Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України” – Х.: ХНТУСГ, 2018. – Вип.195. – С. 110-113.

207. Патент на корисну модель № 128481, Україна. МПК С14В 17/06 (2006.01). Спосіб подачі овець на стриження / А. В. Цибух, М. Л. Лисиченко (Україна) – № у 2018 00936; Заявл. 01.02.2018; Опубл. 25.09.2018. Бюл. № 18. – 3 с.

208. Цибух А. В. Установка для сортування овець за кольором шерсті / А. В. Цибух, М. Л. Лисиченко // Матер. II Міжн. наук.-техн. конф. «Актуальні проблеми автоматики та приладобудування» (м. Харків, 6-7

грудня 2018 р.) – Х.: НТУ «ХП», 2018. – С.105-106.

209. Фотоприемники видимого и ИЧ диапазонов / [Киес Р.Дж., Крузе П.В., Патли Э.Г. и др.]; под ред. Р.Дж. Киеса: пер. с англ. – М.: Радио и связь, 1985. – 328 с.

210. Быстров Ю. А. Электронные приборы и устройства на их основе: Справочная книга. // Ю. А. Быстров, С. А. Гамкраелидзе, Е. Б. Иссерлин, В. П. Черепанов. – М.: ИП РадиоСофт, 2002. – 656 с.

211. OP AMP Applications / Editor Walter G. Jung // Analog Devices, Inc. USA July 2002. – 970 p.

212. Оптическая биомедицинская диагностика, в 2 т. / Пер. с англ. под ред. В. В. Тучина. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2007. –Т1. – 560 с.

213. Патент №71015 Україна, МПК А61В 5/00 Спосіб визначення фізико-біологічних характеристик шерстного покриву та шкіри тварин / А. В. Цибух, М. Л. Лисиченко, (Україна) / Заяв. 31.01.2012; опубл. 25.06.2012. – Бюл. №12, 2012. – 4 с.

214. Цибух А. В. Моделювання процесу визначення кольору шерсті овець / А. В. Цибух, М. Л. Лисиченко // Матер. VI Всеукр. наук.-практ. конф. «Електронні та механотронні системи: теорія, інновації, практика» (6 листопада 2020 р.) – Полтава: НУ «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка», 2020. – С.108-111.

215. Цибух А. В. Пристрій для визначення кольору шерстного покриву тварин / А. В. Цибух, М. Л. Лисиченко // Межд. науч. конф. «Современная научная идея – 2020» (7-8 октября 2020 г., Минск, Беларусь) – Минск: Едънатъ, 2020. – С.9-11. Режим доступу:

<https://www.sworld.com.ua/konferbe13/progbe13.pdf>

216. Morris S.T. (2009). Economics of sheep production. Small Ruminant Research. Vol. 86, Issues 1–3, 2009. – P. 59-62.

Режим доступу: <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2009.09.019>

217. Ratnasari I., Nurdiansyah D. H. (2016). Feasibility Analysis of Breeding Sheep Garut. *Advances in Economics, Business and Management Research*. – Vol. 15. – P.120-124.

218. Wiedemann S. G., Ledgard S. F., Henry B. K., Mao N. & Russell S.J. (2015). Application of life cycle assessment to sheep production systems: investigating co-production of wool and meat using case studies from major global producers. DOI 10.1007/s11367-015-0849-z

219. Бінкевича В. Я. Вівчарство України: основні тенденції функціонування галузі. / В. Я. Бінкевича, І. В. Яценко // Науковий вісник Львівського національного університету ветеринарної медицини та біотехнологій ім. Гжицького. – 2015. – Т.17. – №1(2). – С. 212-220.

220. Бойко В. О. Перспективи розвитку та підвищення конкурентоспроможності галузі вівчарства на Херсонщині. // *Економіка АПК*. – 2018. – № 1. – С.26-33.

221. Жарук Л. В. Розвиток світового ринку продукції вівчарства. / Л. В. Жарук, Т. С. Коваль, О. А. Козак // *Економіка АПК*. – 2020. – №8. – С.60-71.
DOI: <https://doi.org/10.32317/2221-1055.202008060>

222. Ібатуллін І. І. Стан і шляхи підвищення експортного потенціалу галузі вівчарства України. / І. І. Ібатуллін, В. О. Пабат, В. М. Туринський // *Економіка АПК*. – 2014. – №3. – С.13-23.

223. Китаєва А. П. Проблеми сучасного розвитку вівчарства. / А. П. Китаєва, О. О. Безалтична // *Тваринництво України*. – 2016. – №1,2. – С.2-4.

224. Козак О. А. Організаційно-економічні резерви підвищення конкурентоспроможності галузі вівчарства. / О. А. Козак, І. М. Беженар // *Економіка АПК* – 2015. – №8. – С.33-38.

DOI: <https://doi.org/10.32317/2221-1055.201508033>

225. Кравченко О. М. Механізм формування цінового ланцюга на тваринницьку продукцію в сучасних умовах розвитку України. // *Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства. Сер. Економічні науки*. – Х.: ХНТУСГ, 2019. – Вип.202. – С.

119-131.

226. Кравченко О. М. Трансмісія ціни між учасниками агропродовольчого ланцюга продукції скотарства. / О. М. Кравченко, Л. Г. Нетецький // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства. Сер. Економічна науки. – Х.: ХНТУСГ, 2019. – Вип. 206. – С.98-113.

227. Методи економічного оцінювання техніки на етапі випробування. Сільськогосподарська техніка: ДСТУ 4397:2005 – 2005. – [Чинний від 2005 – 04–28]. Київ : Держспоживстандарт України, 2005. – 17 с. (Національний стандарт України).

228. Методи економічної оцінки техніки для тваринництва. Сільськогосподарська техніка: ДСТУ 46.012 – 2000. [Чинний від 2000 – 11 – 29]. Київ: Мінагрополітики України, 2000. – 17 с. (Галузевий стандарт України).

229. Старченко Г. В. Управління проектами: теорія та практика : навч. посіб. – Чернігів: Видавець Брагинець О. В., 2018. – 306 с.

230. Статистичний збірник. Сільське господарство України / Державна служба статистики України. URL: <http://www.ukrstat.gov.ua/>

231. Штомпель М. В. Технологія виробництва продукції вівчарства: Навч. видання. / М. В. Штомпель, Б. О. Вовченко. – К.: Вища освіта, 2005. – 343 с.

232. Tsybukh A. Feasibility study for the implementation of a device for sorting sheep production / A. Tsybukh, O. Kravchenko, I. Pomitun, M. Lysychenko // Technology audit and production reserves – 2021. – №3/4(59). – P. 33-40. Режим доступу: <http://journals.uran.ua/tarp/issue/view/14237>

233. Цибух А. В. Класифікація способів лазерної діагностики властивостей біологічних об'єктів / А. В. Цибух, М. Л. Лисиченко // Матер. III Міжн. наук.-прак. конф. «проблеми та перспективи розвитку енергетики, електротехнологій та автоматики в АПК» (17-18 грудня 2015 р.) – К.: НУБіП України, 2015. – С.107-108.

АКТИ ВИРОБНИЧОЇ ПЕРЕВІРКИ І ВПРОВАДЖЕННЯ
РЕЗУЛЬТАТІВ РОБОТИ

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Директор Державного підприємства
дослідного господарства

«Гонтарівка»
Інституту тваринництва НААН
України

Заярний А.Л.
« 14 » 05 2021 р.

АКТ ВИРОБНИЧОЇ ПЕРЕВІРКИ

результатів дисертаційної роботи Цибуха Андрія Володимировича «Лазерна
технологія сортування овець по кольору шерсті при формуванні отар»

Даний акт складено про те, що з для вдосконалення процесу
стриження використовується розроблена Цибухом А.В. методика, сортування
овець по кольору шерсті, відповідно патенту на корисну модель №128481
«Спосіб подачі овець на стриження», яка запропонована в його
кандидатській дисертації.


В результаті застосування методики сортування овець по кольору
вовни було виявлено:

– по-перше, розмір капітальних вкладень на суму 20 тис. грн дозволяє
отримати додатковий прибуток на кожну голову тварин від реалізації більш
якісної вовни;

– по-друге, рівень рентабельності збільшується на 7 відсоткових пункти
до 11 %, що дозволяє мети термін окупності додаткових капітальних витрат
менш ніж за два роки

Головний зоотехнік
Зоотехнік - селекціонер
Завідувач відділу
селекційно-технологічних досліджень
в дрібному тваринництві і конярстві Інституту
тваринництва НААН
Старший науковий
співробітник
Пошукач

 С.О. Носок
Л.Л. Запорожан

 І.А. Помітун

 Н.О. Косова
А.В. Цибух

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Директор Інституту тваринництва НААН
Доктор ветеринарних наук, професор,
член-кореспондент НААН

Руденко Є.В.

«22» 05 2021 з.




АКТ ВПРОВАДЖЕННЯ

результатів дисертаційної роботи Цибуха Андрія Володимировича «Лазерна технологія сортування овець по кольору шерсті при формуванні отар»

Ми, що нижче підписались, завідувач відділу селекційно-технологічних досліджень у дрібному тваринництві та конярстві Інституту тваринництва НААН Помітун І.А., старший науковий співробітник цього ж відділу Косова Н.О., старший науковий співробітник Паньків Л.П. спільно з розробником – аспірантом Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. П. Василенка, керуючись угодою про співпрацю між установами, провели перевірку та впровадження в умовах лабораторії з оцінки якості вовни Інституту розробленої методики та технічного засобу – «Пристрою для визначення кольору шерстного покриву тварин».

Випробуваннями доведено можливість використання зазначеного пристрою для оцінки кольору та кількісного визначення ступеня пожовтіння вовни овець у процесі її сортування при стриженні та за лабораторної оцінки якості.

Завідувач відділу селекційно-технологічних досліджень у дрібному тваринництві та конярстві  І.А. Помітун

Старший науковий співробітник  Н.О. Косова

Старший науковий співробітник  Л.П. Паньків

Аспірант  А.В. Цибух

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Директор ТОВ «ПРОМ АГРО ІНЖИНІРІНГ»

_____ /Лисенко О.В./

« 09 » _____ 2021 р.

АКТ

впровадження результатів дисертаційної роботи Цибуха Андрія Володимировича «Лазерна технологія сортування овець по кольору шерсті при формуванні стада»

Даний акт складено, про те, що було розроблено дослідний зразок пульта керування автоматичною установкою подачі овець на стриження (патент на корисну модель №128481), яка запропонована Цибухом А.В., для випробування у виробничих умовах Державного підприємства ДД «Гонтарівка» Інституту тваринництва НААН України.

Крім того, в установці для сортування використано діючий макетний зразок пристрою для визначення ступеню меланінової пігментації шерстного покриву з використанням блоку напівпровідникових лазерів з довжиною хвилі 405, 532, 650, 780 нм (патент на корисну модель №70157).

Провідний інженер

_____ /Кузьменко О.М./

Керівник конструкторсько-монтажного

відділу

_____ /Купецький О.М./

ЗАТВЕРДЖУЄ
 Директор ПП «Фотоніка Плюс»
 В.В. Холін
 20 11 р.



АКТ ВПРОВАДЖЕННЯ

результатів дисертаційної роботи Цибуха Андрія Володимировича «Лазерна технологія сортування овець по кольору шерсті при формуванні стада»

Даний акт складено про те, що з 2018 року для вдосконалення процесу оцінки ступеня меланінової пігментації шерсті використовується розроблена Цибухом А.В. методика і прилад, відповідно патенту на корисну модель №70157 «Прилад для вимірювання фізико-біологічних характеристик шерстного покриву та шкіри».

В результаті застосування приладу для вимірювання для фізико-біологічних характеристик шкіри та волосяного покриву тварин, зокрема, овець було виявлено:

- застосування приладу дозволило виключити з процесу діагностики стану і кольору шерсті суб'єктивну оцінку оператора;
- виразні кореляції між кольором шерсті і показниками ступеня мелані нової пігментації дозволили здійснити науково-технічну класифікацію вовни.

Інженер-електронік
 ПП «Фотоніка Плюс»



О.А. Петравівський

Директор
 ПП «Фотоніка Плюс»



В.В.Холін

Пошукач

А.В. Цибух

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Ректор Марківського національного
технічного університету сільського
господарства імені Петра Василенка



О.В. Нанка

2021 р.

АКТ ВПРОВАДЖЕННЯ

результатів дисертаційної роботи Цибуха Андрія Володимировича «Лазерна
технологія сортування овець по кольору шерсті при формуванні стада»

Ми, що нижче підписались, підтверджуємо що отримані теоретичні та експериментальні результати по створенню пристрою для сортування овець по кольору шерсті, відповідно патенту на корисну модель №70157 «Прилад для вимірювання фізико-біологічних характеристик шерстного покриву та шкіри», використовується в навчальному процесі на кафедрі інтегрований електротехнологій та процесів при викладанні дисциплін «Електротехнології та електроосвітлення», «Інноваційні технології на підприємствах АПВ».

Завідувач кафедри інтегрованих
електротехнологій та процесів,
д.т.н., проф.

М.П. Кунденко

Доцент кафедри інтегрованих
електротехнологій та процесів,
к.т.н., доц.

О.Ю. Сгорова

СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1 Цибух А. В. Аналіз застосування випромінювання в сільському господарстві // Вісник ХНТУСГ ім. П. Василенка. Технічні науки. “Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України” – Х.: ХНТУСГ, 2010. – Вип.101. – С. 92-100.

2 Цибух А. В. Методи та засоби лазерної діагностики біологічних об’єктів і процесів // Вісник ХНТУСГ ім. П. Василенка. Технічні науки. “Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України” – Х.: ХНТУСГ, 2011. – Вип. 116. – С. 84-85.

3 Цибух А. В. Схема приладу для вимірювання спектру дифузного відбиття / А. В. Цибух, М. Л. Лисиченко, Л. С. Скрипка // Вісник ХНТУСГ ім. П. Василенка. Технічні науки. “Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України” – Х.: ХНТУСГ, 2012. – Вип.129. – С.51-52.

4 Цибух А. В. Методи визначення оптичних властивостей біотканин / А. В. Цибух, Л. С. Скрипка // Вісник ХНТУСГ ім. П. Василенка. Технічні науки. “Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України” – Х.: ХНТУСГ, 2014. – Вип. 153. – С.88-89.

5 Цибух А. В. Аналіз умов математичного моделювання розповсюдження оптичного випромінювання в біологічних об’єктах сільського господарства / А. В. Цибух, М. Л. Лисиченко // Вісник ХНТУСГ ім. П. Василенка. Технічні науки. “Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України” – Х.: ХНТУСГ, 2015. Вип.164. – С.144-147.

6 Цибух А. В. Визначення вимог до електроприводу установки для сортування овець перед стриженням / А. В. Цибух, М. Л. Лисиченко, Л. С. Скрипка // Вісник ХНТУСГ ім. П. Василенка. Технічні науки.

“Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України” – Х.: ХНТУСГ, 2018. – Вип.195. – С. 110-113.

7 Цибух А. В. Пристрій для визначення кольору шерстного покриву тварин / А. В. Цибух, М. Л. Лисиченко // Modern Scientific Researches – №13, oktober 2020, Belarus – Minsk: Yolnat PE, 2020. – С. 56-63. Режим доступу: <https://www.modscires.pro/index.php/msr/issue/view/msr13-01/msr13-01>

8 Tsybukh A. V. Color detection device of animal wool cover / A. V. Tsybukh, M. L. Lysychenko // Modern engineering and innovative technologies. – 2021. – №15-03. – Р. 17-28. Режим доступу: <https://www.moderntechno.de/index.php/meit/issue/view/meit15-03/meit15-03>

9 Tsybukh A. Feasibility study for the implementation of a device for sorting sheep production / A. Tsybukh, O. Kravchenko, I. Pomitun, M. Lysychenko // Technology audit and production reserves – 2021. – №3/4(59). – Р. 33-40. Режим доступу: <http://journals.uran.ua/tarp/issue/view/14237>

10 Патент на корисну модель №70157, Україна. МПК G01N 21/01 (2006.01), G01N 33/48 (2006.01) Прилад для вимірювання фізико-біологічних характеристик шерстного покриву на шкіри / А. В. Цибух, М. Л. Лисиченко, В.В. Холін (Україна) – № u 2011 14174; Заявлено 30.11.2011; Опубл. 25.05.2012. Бюл. № 10. – 6 с.

11 Патент на корисну модель №71015, Україна. МПК А61В 5/00 (2012.01) Спосіб визначення фізико-біологічних характеристик шерстного покриву та шкіри тварин / А. В. Цибух, М. Л. Лисиченко (Україна) – № u 2012 01015; Заявлено 31.01.2012; Опубл. 25.06.2012. Бюл. № 12. – 6 с.

12 Патент на корисну модель № 128481, Україна. МПК С14В 17/06 (2006.01). Спосіб подачі овець на стриження / А. В. Цибух, М. Л. Лисиченко (Україна) – № u 2018 00936; Заявл. 01.02.2018; Опубл. 25.09.2018. Бюл. № 18. – 3 с.

13 Цибух А. В. Застосування лазерного випромінювання в методах визначення меланіну в шерсті тварин / А. В. Цибух, М. Л. Лисиченко // Матер. XXVII Межд. науч.-прак. конф. “Применение лазеров в медицине и

биологии” (18-21 апреля 2007 г.) – Х.: НПМБК “Лазер и здоровье”, 2007. – С.168-169.

14 Цибух А. В. Можливості застосування лазерного випромінювання для спрощення аналізу кількісних та якісних показників меланінів / А. В. Цибух, М. Л. Лисиченко // Матер. XXIX Межд. науч.-прак. конф. “Применение лазеров в медицине и биологии” (21-24 мая 2008 г.) – Х.: НПМБК “Лазер и здоровье”, 2008. – С.308-309.

15 Цибух А. В. Удосконалення пристрою для визначення фізико-біологічних характеристик шерстного покриву та шкіри тварин / А. В. Цибух, М. Л. Лисиченко // Матер. XXXVI Межд. науч.-прак. конф. “Применение лазеров в медицине и биологии” (5-8 октября 2011 г.) – Судак: НПМБК “Лазер и здоровье”, 2011. – С.163-164.

16 Tsybukh A. V. Method and equipment of the optical properties diagnostics of the agricultural animals external cover / A. V. Tsybukh, N. L. Lysychenko // Матер. XXXVII Межд. науч.-прак. конф. “Применение лазеров в медицине и биологии” (23-25 мая 2012 г.) – Х.: НПМБК “Лазер и здоровье”, 2012. – С.126.

17 Цибух А. В. Особливості формування спектру дифузного відбиття світла шерстиним покривом та шкірою тварин / А. В. Цибух, М. Л. Лисиченко // Матер. XXXVIII Межд. науч.-прак. конф. “Применение лазеров в медицине и биологии” (3-6 октября 2012 г.) – Ялта: НПМБК “Лазер и здоровье”, 2012. – С.145.

18 Цибух А. В. Класифікація способів лазерної діагностики властивостей біологічних об’єктів / А. В. Цибух, М. Л. Лисиченко // Матер. III Міжн. наук.-прак. конф. «проблеми та перспективи розвитку енергетики, електротехнологій та автоматики в АПК» (17-18 грудня 2015 р.) – К.: НУБіП України, 2015. – С.107-108.

19 Цибух А. В. Установка для сортування овець за кольором шерсті / А. В. Цибух, М. Л. Лисиченко // Матер. II Міжн. наук.-техн. конф.

«Актуальні проблеми автоматики та приладобудування» (м. Харків, 6-7 грудня 2018 р.) – Х.: НТУ «ХП», 2018. – С.105-106.

20 Tsybukh A. V. Device for determining the colour of animal coat / A. V. Tsybukh, M. L. Lysychenko // Eurasian scientific congress. Abstracts of XI international scientific and practical conference. Barca Academy Publishing (1-3 November, 2020) – Barcelona, Spain: 2020 – P.205-207. Режим доступу: <https://sci-conf.com.ua/xi-mezhdunarodnaya-nauchno-prakticheskaya-konferentsiya-eurasian-scientific-congress-1-3-noyabrya-2020-goda-barselona-ispaniya-arhiv/>

21 Цибух А. В. Моделивання процесу визначення кольору шерсті овець / А. В. Цибух, М. Л. Лисиченко // Матер. VI Всеукр. наук.-практ. конф. «Електронні та механотронні системи: теорія, інновації, практика» (6 листопада 2020 р.) – Полтава: НУ «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка», 2020. – С. 108-111.

22 Цибух А. В. Пристрій для визначення кольору шерстного покриву тварин / А. В. Цибух, М. Л. Лисиченко // Межд. науч. конф. «Современная научная идея – 2020» (7-8 октября 2020 г., г. Минск, Беларусь) – Минск: Едънатъ, 2020. – С. 9-11.

Режим доступу: <https://www.sworld.com.ua/konferbe13/progbe13.pdf>