

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
Харківський національний технічний університет сільського господарства  
імені Петра Василенка

**ЦИБУХ АНДРІЙ ВОЛОДИМИРОВИЧ**

УДК 621.324:621.380

**ЛАЗЕРНА ТЕХНОЛОГІЯ СОРТУВАННЯ ОВЕЦЬ ПО КОЛЬОРУ  
ШЕРСТІ ПРИ ФОРМУВАННІ СТАДА**

05.11.17 – біологічні та медичні прилади і системи

Автореферат  
дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Харків – 2021

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана у Харківському національному технічному університеті сільського господарства імені Петра Василенка Міністерства освіти і науки України.

**Науковий керівник:** доктор технічних наук, професор  
**Лисиченко Микола Леонідович,**  
Харківський національний технічний університет  
сільського господарства імені Петра Василенка,  
перший проректор, професор кафедри  
автоматизованих електромеханічних систем.

**Офіційні опоненти:** доктор технічних наук, професор  
**Аврунін Олег Григорович,**  
Харківський національний університету  
радіоелектроніки, завідувач кафедри біомедичної  
інженерії.

кандидат технічних наук, доцент  
**Попрядухін Вадим Сергійович,**  
Таврійський державний агротехнологічний  
університет імені Дмитра Моторного,  
доцент кафедри електротехнологій і теплових  
процесів.

Захист дисертації відбудеться «29» вересня 2021 р. о 10:00 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.832.01 в Харківському національному технічному університеті сільського господарства імені Петра Василенка за адресою: вул. Алчевських, 44, м. Харків, 61002, конференцзал.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка за адресою: вул. Алчевських, 44, м. Харків, 61002.

Автореферат розісланий «28» серпня 2021 р.

Вчений секретар спеціалізованої  
вченої ради Д 64.832.01  
д.т.н., проф.

Олександр МОРОЗ

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність роботи.** Кризовий стан вівчарства України обумовлений, насамперед, різким зниженням цін на вовну, що значно зменшило зацікавленість виробників у її виробництві. Галузь не була спрямована на більш ефективний шлях розвитку і, як результат, її збитковість 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 неминої вовни склало 2602 т, що менше порівняно з 2013 р. на 26 %, за середнього настригу неминої 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 галузі переконливо свідчить, що зробити її конкурентоспроможною можливо лише шляхом створення матеріально-технічної бази, здійснення заходів із збереження наявного генофонду та його покращення. 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 можливості реалізовувати 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 підвищення ефективності 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 випромінювання і величину похибки при вимірюванні;
- розробити метод і технічні засоби для дистанційного вимірювання кольору шерсті овець, побудованих на основі застосування напівпровідникових лазерів;
- провести техніко-економічне обґрунтування впровадження пристрою для сортування овець за кольором шерсті при формуванні стада.

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

*Предмет дослідження* – методи і технічні засоби оцінки 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 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.

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 в наукових роботах, написаних у співавторстві, внесок здобувача полягає в наступному: розробка принципової електричної схеми керування приладом для вимірювання спектру дифузного відбиття зовнішнього покриву овець [3]; розробка спрощеної моделі взаємодії оптичного випромінювання з зовнішнім покривом овець [5]; визначення силових фактори, які впливають на роботу електроприводу установки для сортування овець, на основі чого розроблена установка для подачі овець на стриження та принципова схема керування [6,10]; розробка конструкції приладу для вимірювання фізико-біологічних характеристик шерстного покриву та шкіри [7,11]; розробка узагальненої моделі взаємодії оптичного випромінювання з шерстю, а також

вимірювання індикатриси розсіювання світла [8,20]; розробка способу визначення фізико-біологічних характеристик покриву тварин з урахуванням ступеня меланінової пігментації шерсті [9]; використання чотирьох напівпровідникових лазерів у приладі для вимірювання характеристик покриву тварин [10,14]; розробка схеми блоку керування пристроєм для сортування овець [11]; розробка інформаційно-структурної схеми методу вивчення меланінів, як основного показника необхідного для визначення ступені меланінової пігментації [12]; обґрунтування умов ефективного розміщення напівпровідникових лазерів і фотоприймачів у вимірювальній головці приладу [14]; обґрунтування формули визначення показника ступені меланінової пігментації [10,15]; визначення ефективного діапазон довжин хвиль для проведення вимірювань [16]; проведення експериментальних досліджень для визначення кореляції між кольором шерсті і показником поглинання оптичного випромінювання [19,21]; проведення експериментальних випробувань приладу для дистанційного визначення кольору шерстного покриву овець при формуванні стада [22].

**Апробація результатів дисертації.** Основні результати досліджень доповідались та обговорювались на наступних наукових конференціях: II – й Міжнародний форум молодіжників «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 конференції «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 конференцій.

**Структура та обсяг дисертації.** Дисертація складається зі вступу, чотирьох розділів, загальних висновків, списку використаних джерел та додатку на 5 сторінках. Загальний обсяг дисертації становить 131 сторінок

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.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність теми досліджень, сформульовано мету та основні завдання дослідження, наведено відомості щодо зв'язку роботи з науковими програмами, стисло викладено отримані результати, висвітлено наукову новизну, практичне значення отриманих результатів, відзначено методи досліджень, відмічено особистий внесок здобувача у спільних публікаціях, висвітлено кількість опублікованих наукових праць, структуру та обсяг дисертації.

У першому розділі «Аналіз застосування оптичних технологій для діагностики біологічних об'єктів» приведено огляд літератури з напрямку оптичного випромінювання для неінвазивного дистанційного оцінювання стану біологічних об'єктів. Зокрема, проведено аналіз технічних засобів оптичної діагностики і терапії біологічних об'єктів у сільському господарстві, в тому числі і побудованої на основі використання когерентного монохроматичного (лазерного) випромінювання. Визначені існуючі методи і підходи щодо вимірювання оптичних характеристик покриву біологічних об'єктів в сільському господарстві. Надано характеристику зовнішнього покриву тварин з умови проведення оптичного оцінювання. З'ясовано, які існують математичні моделі щодо розповсюдження оптичного випромінювання в шкірі та шерстному покриві тварин. Досліджено основні напрямки застосування лазерів в оптичних електротехнологіях (рис.1).

Визначені умови формування спектру дифузного відбиття шерстним покривом тварин, зокрема овець. Так, дифузно-відбите біотканиною випромінювання несе інформацію про поглинання та випромінюючі властивості середовища, в тому числі про особливості її внутрішньої структури. Падаючий промінь світла частково відбивається і через мікроскопічну неоднорідність границь розділу, відбите світло набуває дзеркально дифузного характеру (рис.1). Тобто, при потраплянні променя на окрему волосину, яка за структурою нагадує світловод і є багатошаровою структурою, відбувається часткова рефлексія на поверхні волосини з подальшим проходженням променя всередину, де відбувається часткове поглинання, а також рефлексія на внутрішніх стінках, а потім промінь виходить на зворотній стороні волосини – відбувається так звана трансмісія.

Слід зазначити, що в літературі детальних даних про оптичні характеристики шерстного покриву овець не виявлено і для цього необхідно провести спеціальні теоретичні і експериментальні дослідження.

Крім того, в розділі сформувані завдання дослідження, які дозволять досягнути сформульовану мету дисертаційної роботи.

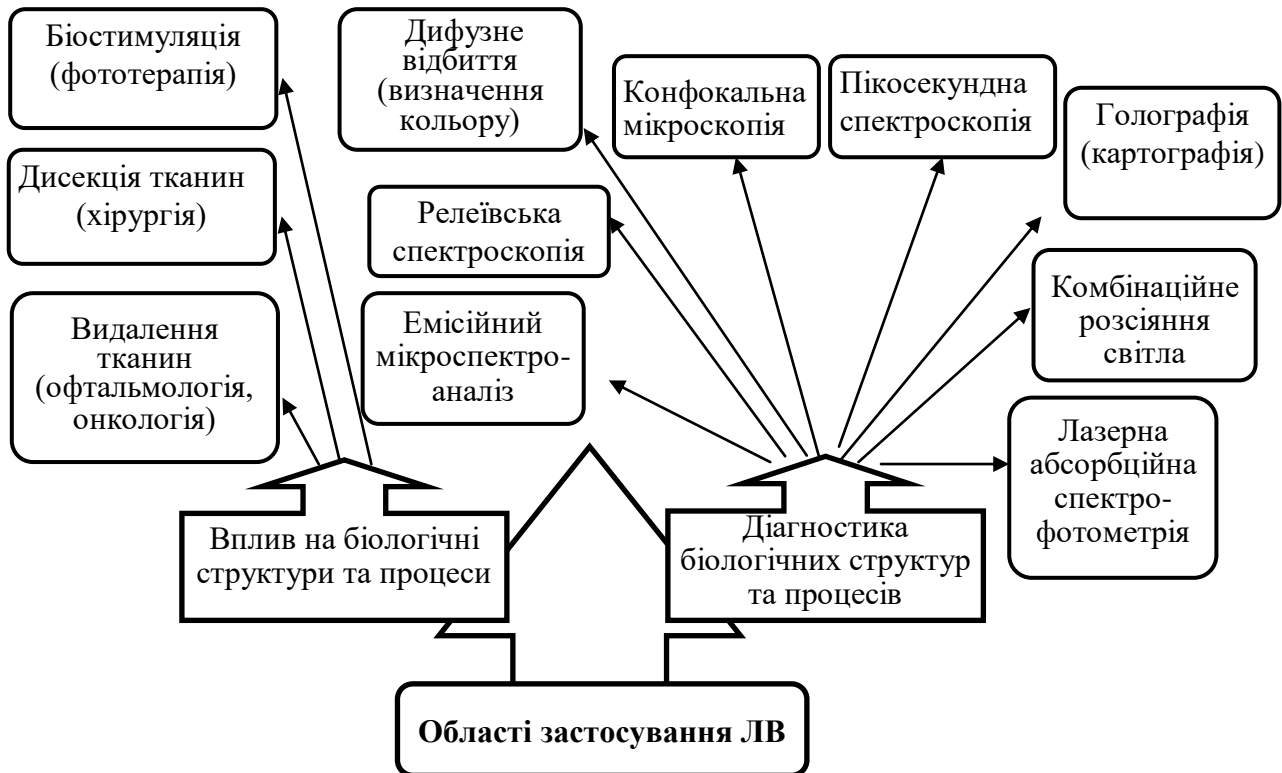


Рисунок 1 – Основні напрямки застосування лазерів в оптичних електротехнологіях

У другому розділі «Теоретичні дослідження дистанційного визначення кольору шерстного покриву овець» для реалізації дистанційної технології вирішення задачі оптичним методом необхідно мати відомості про спектральні або колориметричні характеристики відбитого від поверхні вовни світлового потоку. В разі наявності зв'язку спектральних характеристик відбитого випромінювання з якістю (кольором) вовни задача може бути вирішена. Освітлення поверхні вовни передбачається здійснювати джерелами монохроматичного випромінювання. Знаючи геометрію поширення світлових променів, відбитих від поверхні вовни та індикатриси розсіяння, можна отримати достовірну інформацію про характер поверхні.

Розглянемо модель представлену на рис. 2. Центр неоднорідності знаходиться на відстані від точки прийому ( $-\rho$ ), і точки опромінення ( $\rho'$ ). Координати центру неоднорідності  $x_n$  і  $y_n$  представимо в нормованому значенні по  $r$ , тобто  $x'_n = x_n/r$ ;  $y'_n = y_n/r$ .

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

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



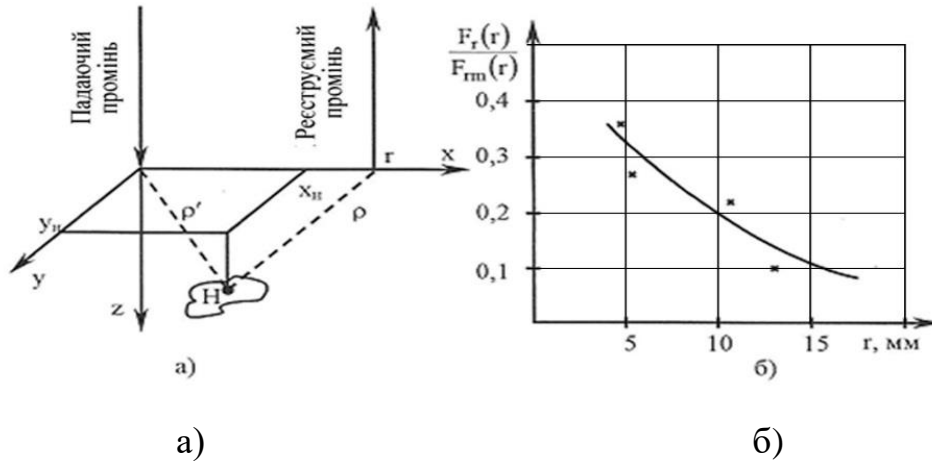


Рисунок 2 – Модель відбиття світла від локальних внутрішніх неоднорідностей:  
а) – модель, б) – розрахункові та експериментальні дані

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

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

Функція  $f_{ob}$  в (2) враховує коефіцієнт дифузного відбиття об'єкту в середовище  $R_1$  і величину поверхні об'єкта  $S_{об}$ :

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

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

$$F_r(r) = 2F(r) f_{ob} W^2((z'_1)|(r/2))(1 + kr)^{-1}. \quad (4)$$

Проведений аналіз дозволяє сформулювати вимоги конфігурації і розташування джерел та фотоприймачів при визначені якості вовни фотоелектричним методом. Загальний потік світла, що безпосередньо потрапляє на фотоприймач визначається як:

$$\Phi_{\phi n} = 2\pi \int_0^{R_{\phi n}} E(h) dh, \quad (5)$$

де  $R_{\phi n}$  – радіус фотоприймача, м.

З урахуванням моделі (рис.3) можна записати:

$$\Phi_{\phi n} = \frac{\pi^2 B}{2} \left[ 1 - \frac{R^2 + R_{\phi n}^2 + L^2}{\sqrt{L^4 + (R_{\phi n}^2 - R^2)^2 + 2L^2(R_{\phi n}^2 - R^2)}} \right]. \quad (6)$$

Загальний потік світла, що відбивається від поверхні дорівнює:

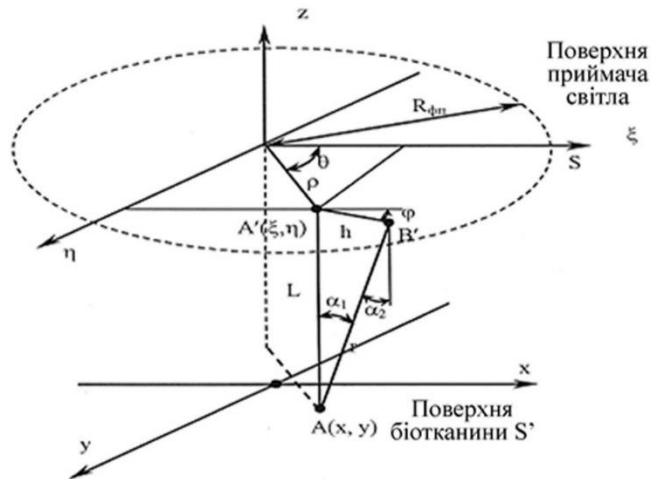


Рисунок 3 – Просторова модель збору потоку світла на фотоприймачі

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

$$\Phi_{\phi n} = A \Phi_0 \quad (7)$$

де  $A$  – коефіцієнт ефективності збору енергії світла, відбитого від поверхні, який визначається виходячи із геометричних розмірів:

$$A = \frac{\Phi_{\phi n}}{\Phi_0} = \frac{1}{2R^2} \left[ 1 - \frac{R^2 + R_{\phi n}^2 + L^2}{\sqrt{L^4 + (R_{\phi n}^2 - R^2)^2 + 2L^2(R_{\phi n}^2 - R^2)}} \right]. \quad (8)$$

З метою оптимізації розмірів та конструктивних особливостей фотоприймача проаналізовано вплив означених вище факторів на величину вихідного сигналу. На рис. 4-6 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.

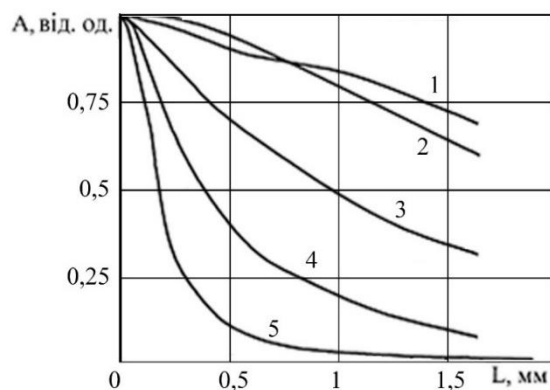


Рисунок 4 – Залежність коефіцієнта ефективності збору потоку світла  $A$  від відстані  $L$  між об'єктом і площиною фотоприймача

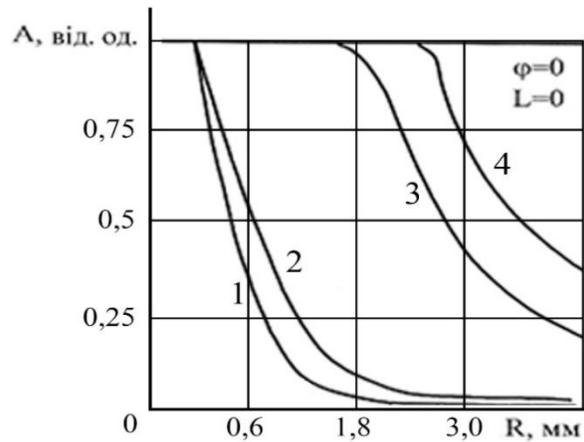


Рисунок 5 – Залежність коефіцієнта ефективності збору потоку світла від розміру світлової плями в площині фотоприймача

Як видно з рис. 6 при будь-якому співвідношенні  $R/R_{fn}$  максимальна ефективність збору інформації буде при  $L = 0$ . При  $R/R_{fn} > 1$  коефіцієнт ефективності  $A$  швидко зменшується (наприклад, при  $R/R_{fn} = 0,5$  при  $L = 0,6$  мм  $A$  становить близько 0,09 від максимального значення  $A = 1$  при  $L = 0$ ).

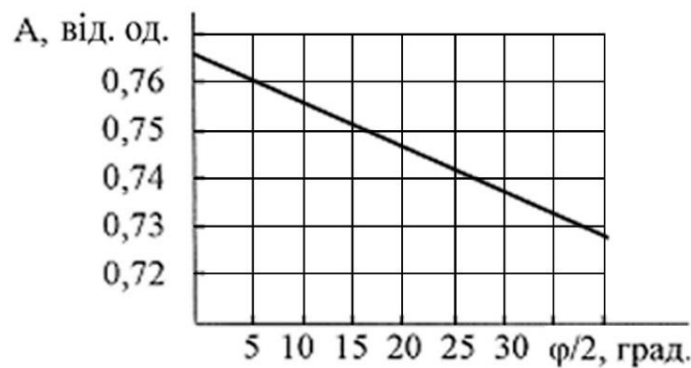


Рисунок 6 – Залежність коефіцієнта ефективності збору потоку світла від кута  $\varphi$  розширення пучка випромінювання

Таким чином, коефіцієнт ефективності збору інформації  $A$  збільшується з збільшенням  $R_{fn}$ , а при розширенні кута пучка світла відбитого світла. Отримані результати використані для оптимізації конструкції оптичного вузла для визначення кольору шерсті.

**У третьому розділі** «Розробка технічних засобів діагностики оптичних властивостей шерстного покриву і шкіри овець» здійснюється розв'язок даного завдання можливий методом виміру коефіцієнтів дифузійного відбиття когерентного випромінювання шерстним покривом і шкірою на чотирьох довжинах хвиль, дві з яких перебувають у синій  $\lambda_1$  і жовто-зеленій областях  $\lambda_2$  спектра, а дві інших -  $\lambda_3$  і  $\lambda_4$ , - у червоній області спектра, з розрахунками значень оптичної щільності зовнішнього шерстного покриву й шкіри, відповідно,  $D_1$ ,  $D_2$ ,  $D_3$  та  $D_4$  для кожної довжини хвилі й визначенням характеристик шерстного покриву – ступеня пігментації шерстного покриву  $M_w$ ,

шкіри  $M_s$  і ступені виразності еритеми шкіри  $E_s$  по співвідношеннях (9), (10), (11):

$$M_w = k_k \left[ \left( \frac{D_3 - D_4}{\Delta\lambda_{34}} \right) - \left( \frac{D_3^{hris} - D_4^{hris}}{\Delta\lambda_{34}} \right) \right], \quad (9)$$

$$M_s = k_t k_k \left( \frac{D_3 - D_4}{\Delta\lambda_{34}} \right), \quad (10)$$

$$E_s = 100 \left[ D_1 - D_2 - (D_2 - D_3) \frac{\Delta\lambda_{12}}{\Delta\lambda_{23}} - (D_3 - D_4) \frac{\Delta\lambda_{12}}{\Delta\lambda_{34}} \right], \quad (11)$$

де  $D_3^{hris}$ ,  $D_4^{hris}$  – коефіцієнти дифузійного відбиття випромінювання ділянкою шкіри без шерстного покриву;  $k_k$  – калібрувальний коефіцієнт;  $k_t$  – коефіцієнт, який ураховує вид тварин (свині, корови, вівці, і т.д.);  $\Delta\lambda_{34} = \lambda_3 - \lambda_4$

При цьому для визначення ступеня меланінової пігментації шерстного покриву  $M_w$ , додатково вимірюють коефіцієнти дифузійного відбиття випромінювання ділянкою шкіри без шерстного покриву на двох довжинах хвиль у червоній області спектра –  $\lambda_3$  і  $\lambda_4$ , з наступним розрахунками оптичної щільності  $D_3^{hris}$  і  $D_4^{hris}$ , і визначенням ступеня меланінової пігментації на даній ділянці шкіри  $M_s$  по співвідношенню (10), а визначення ступеня виразності еритеми  $E_s$  проводять із урахуванням усіх значень оптичної щільності по співвідношенню (11), що дозволяє визначити загальний ступінь оптичної резистивності зовнішнього покриву тварин по залежності (12):

$$A = f(M_w; M_s; E_s) \quad (12)$$

Даний метод можна реалізувати, використовуючи вимірювальний прилад, який складається із джерела живлення та джерел випромінювання розміщених в оптичній головці разом з детектором, що вимірюють відбите шерстним покривом і шкірою випромінювання, у якості джерела випромінювання оптичної головки застосовуються напівпровідникові лазери з довжиною хвилі 405, 532, 650, 780 нм і широкосмуговим приймачем відбитого шерстним покривом випромінювання (рис.7). Прилад працює наступним чином, імпульсна напруга з джерела живлення 1, поступає на комутаційний блок 2, який забезпечує послідовне імпульсне ввімкнення чотирьох лазерних джерел випромінювання 3. Далі їх випромінювання спрямовується за допомогою оптичної головки 5 по чергово на досліджувану ділянку. Фотоприймач 4 забезпечує вимірювання інтенсивності відбитого об'єктами вимірювання на всіх довжинах хвиль. Виміряні величини запам'ятовуються і обробляються в блоці обробки даних 7, після чого визначені величини ступеня МП шерстного покриву або рівня вираження еритеми шкіри відображаються на індикаторі 8.

Розроблену схему приймача (рис.8) можна умовно поділити на дві функціональні частини, одна з яких виступає у якості драйвера живлення напівпровідникових лазерів, а друга відповідає за підсилення сигналів. 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.

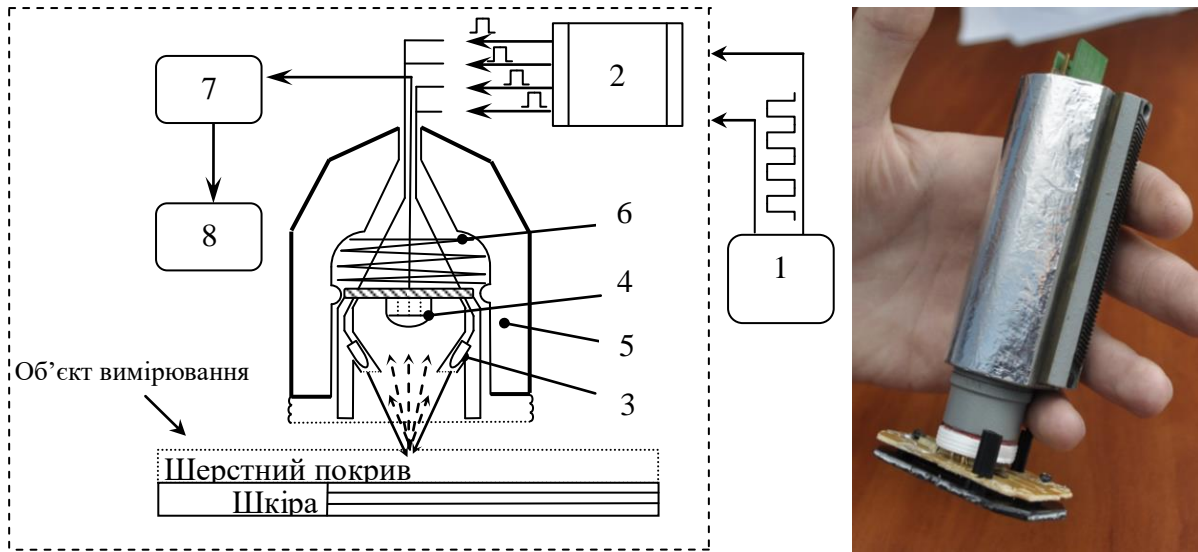


Рисунок 7 – Прилад для вимірювання фізико-біологічних характеристик шерстного покриву та шкіри

Також, важливим моментом в оптичних системах з високою чутливістю фотоприймачів, є екранування напівпровідникових лазерів від дій зовнішніх магнітних полів а питанні вирішення протиріччя між швидкодією, роздільною здатністю і шумом, надаємо перевагу, точності перетворення і високій степені підсилення вихідних сигналів від фотоприймача для чого паралельно резистору ввімкнений підстроювальний конденсатор  $C5$  з малою ємністю (0,65-6 пФ) для компенсації паразитної ємності резистора  $R2$ .

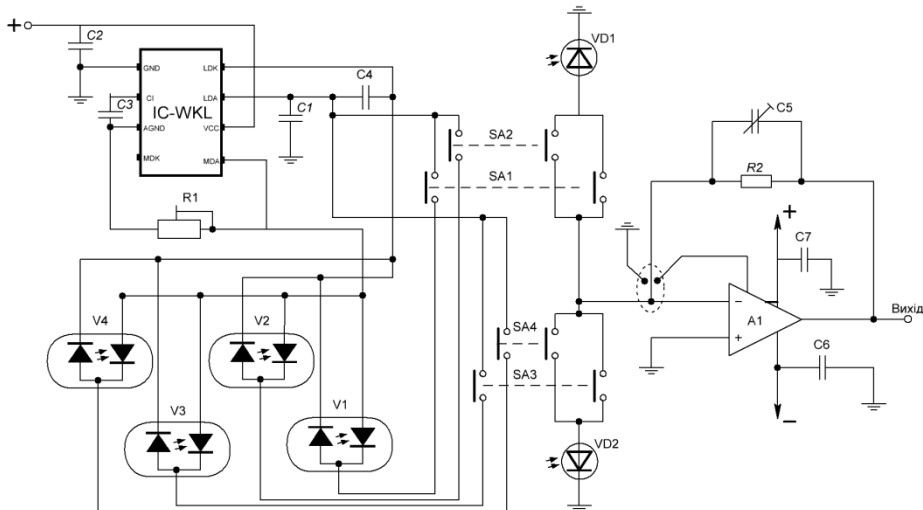


Рисунок 8 – Принципова електрична схема керування приладом для вимірювання спектру дифузного відбиття

Для реалізації лазерної технології сортування овець по кольору шерсті у виробничих умовах розроблена спеціальна установка, яка складається з накопичувач тварин 1, пункт діагностики 2, рухомої платформи 3,

електроприводу платформи 4, приладу з напівпровідниковими лазерами 5 (рис.9), боксів для накопичення овець по кольору шерсті 6.

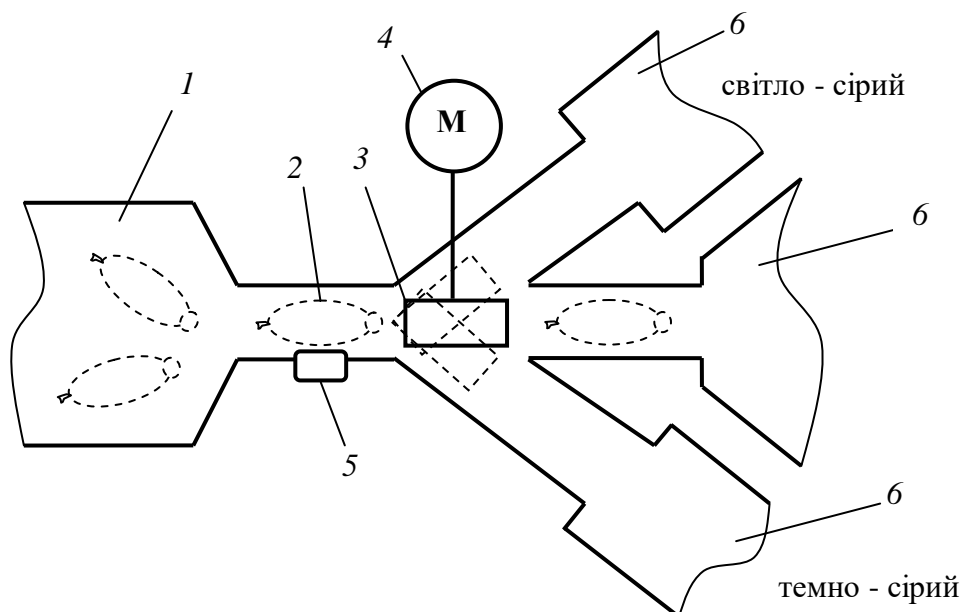


Рисунок 9 – Установа для подачі овець для стриження

Схема керування установкою (рис.10) працює наступним чином. Перед початком сортування овець по кольору шерсті для подальшого стриження або утримання, електротехнічне обладнання підключають до мережі через блок живлення – 1, який перетворює напругу в необхідні параметри.

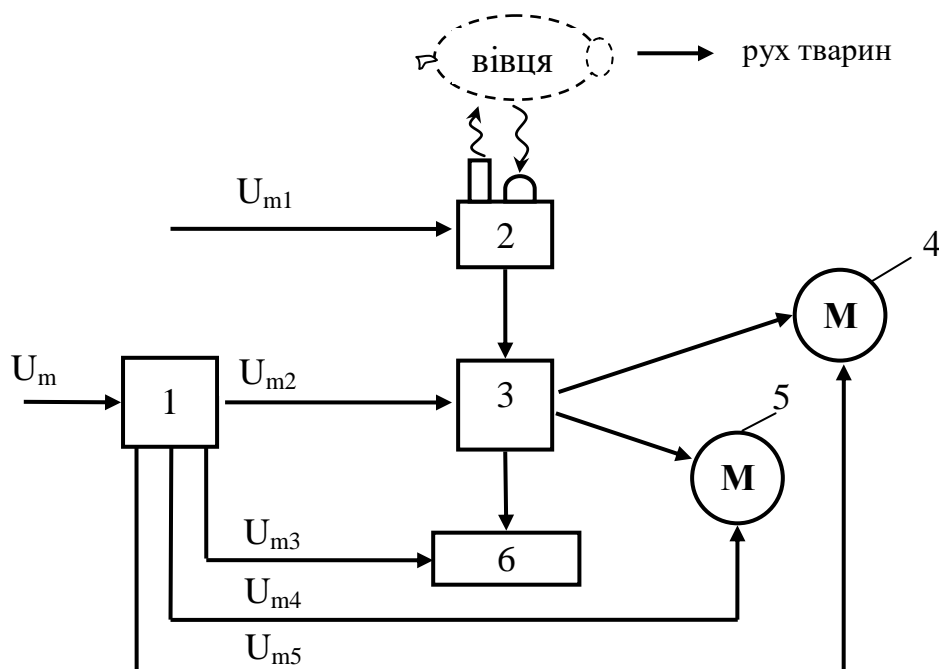


Рисунок 10 – Схема керування установкою

При наявності тварини в пункті діагностики, проводиться визначення кольору шерсті завдяки роботі блоку лазерної діагностики 2. Потім контролер

формує два керуючі сигнали: один на електропривод 4 рухомої платформи, яка повертається навпроти відповідного проходу до боксів в залежності від визначеного кольору; другий на електропривод 5 воріт рухомої платформи і тварини потрапляють у відповідний бокс. Інформація про процес сортування овець виводиться на блок візуалізації 6, якою користується оператор при роботі.

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 ксеноною імпульсною лампою РХ-2, в якості джерела збудження. Для цього досліджувані зразки (рис. 11) розміщувалися в тримачі кювети, на яку по оптичним волокнам передається випромінювання, а зворотне випромінювання в двомірний детектор спектрометра.

З графіку (рис.12) 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 11 – Досліджувані зразки шерсті:  
1 – світла; 2 – середньо-сіра; 3 – темно-сіра

**У четвертому розділі** «Техніко-економічне обґрунтування впровадження пристрою для сортування продукції вівчарства» здійснено збір інформації та обробку даних економічної ефективності виробництва та реалізації вовни на діючому сільськогосподарському підприємстві. Так, протягом трьох років (2017-2019 рр.) поголів'я овець на підприємстві збільшується на 16,5 % до рівня 1001 голів; збільшується і обсяг виробництва вовни на 16,7 % до 3,5 т; ціна реалізації вовни збільшується лише на 15,8 % до 43,24 грн за 1 кг; водночас повна собівартість одиниці продукції кожного року перевищує розмір ціни реалізації і темп збільшення витрат (повної собівартості) перевищує темп збільшення доходів (ціни реалізації вовни). Такі зміни становлять негативний вплив на кінцеві показники ефективності виробництва і реалізації вовни.

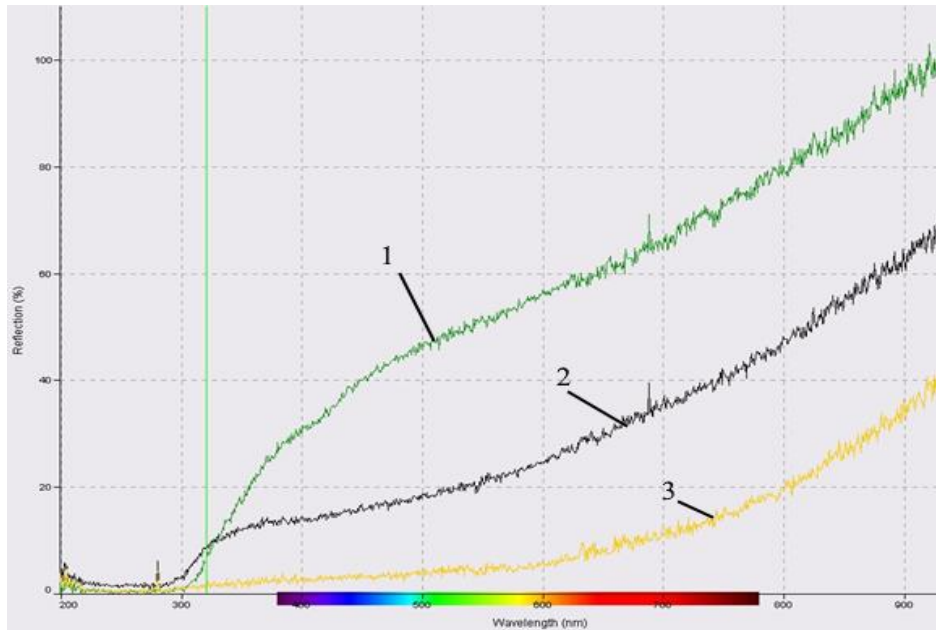


Рисунок 12 – Вимірювання спектральних залежностей коефіцієнтів дифузного відбиття шкіри зовнішнього покриву вівці за ступенем пігментації (кольору) шерсті

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.

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

- вартість пристрою становить 20 тис. грн;
- підвищення ціни реалізації вовни у наслідок сортування її за якістю на 5-10 %;
- середньорічне поголів'я тварин (овець) – не менше 1000 голів;
- плановий строк корисного використання пристрою – 3 роки;
- ставка дисконтування – 10 % (річна ставка по депозитам).

Отже, розмір додаткових капітальних вкладень на суму 20 тис. грн дозволяє на 8-10 % збільшити ціну реалізації вовни за рахунок сортування її за якістю; стає можливим збільшення розміру отриманого прибутку на 3,20 грн на кожний кілограм вовна, або отримання додаткового прибутку на суму 11,2 тис. грн на все поголів'я тварин; рівень рентабельності виробництва і реалізації вовни покращується на 8,3-12 %; термін окупності додаткових капітальних витрат становитиме 21 місяць.

## ВИСНОВКИ

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 ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

### *Публікації у наукових фахових виданнях*

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.

*Здобувачу належить розробка принципова електрична схема керування приладом для вимірювання спектру дифузного відбиття зовнішнього покриву овець.*

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.

*Здобувачем проведено аналіз існуючих методів визначення оптичних властивостей біотканини.*

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.

*Здобувач розробив спрощену модель взаємодії оптичного випромінювання з зовнішнім покривом овець.*

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.

*Здобувачу належить визначення силових фактори, які впливають на роботу електроприводу установки для сортування овець, на основі чого розроблена установка для подачі овець на стриження та принципова схема керування.*

### *Публікації в іноземних виданнях*

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>

*Здобувачем розроблена конструкції приладу для вимірювання фізико-біологічних характеристик шерстного покриву, виготовлено діючий зразок та проведені випробування.*

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>

*Здобувачем розроблена узагальнена модель взаємодії оптичного випромінювання з шерстю, а також вимірювання індикатриси розсіювання світла.*

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>

*Здобувачем розроблено спосіб визначення фізико-біологічних характеристик покриву тварин з урахуванням ступеня меланінової пігментації шерсті.*

#### *Патенти на корисну модель*

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) – № у 2011 14174; Заявлено 30.11.2011; Опубл. 25.05.2012. Бюл. № 10. – 6 с.

*Здобувачу належить визначення силових фактори, які впливають на роботу електроприводу установки для сортування овець, на основі чого розроблена установка для подачі овець на стриження та принципова схема керування.*

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) – № у 2012 01015; Заявлено 31.01.2012; Опубл. 25.06.2012. Бюл. № 12. – 6 с.

*Здобувачем розроблена схема блоку керування пристрою для сортування овець.*

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) – № у 2018 00936; Заявл. 01.02.2018; Опубл. 25.09.2018. Бюл. № 18. – 3 с.

*Здобувачу належить розробка інформаційно-структурної схему методу вивчення меланінів, як основного показника необхідного для визначення степені меланінової пігментації.*

*Публікації, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації*

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.

*Здобувачу належить аналіз та узагальнення науково-технічної інформації щодо використання оптичних технологій при визначенні вмісту меланіну в шерсті тварин.*

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.

*Здобувач обґрунтував умов ефективного розміщення напівпровідникових лазерів і фотоприймача у вимірювальній головці приладу.*

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.

*Здобувачем обґрунтуванні формули для визначення показника степені меланінової пігментації шерсті овець.*

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.

*Здобувач обґрунтував ефективний діапазон довжин хвиль для проведення вимірювань і розробив методіку проведення експериментальних досліджень.*

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.

*Здобувачу належить проведення експериментальних досліджень щодо спектру дифузного відбиття світла шерстним покривом та шкірою тварин.*

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.

*Здобувач склав класифікацію способів лазерної діагностики властивостей біологічних об'єктів.*

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 автоматизації та приладобудування» (м. Харків, 6-7 грудня 2018 р.) – Х.: НТУ «ХП», 2018. – С.105-106.

*Здобувачем проведені експериментальні дослідження для визначення кореляції між кольором шерсті і показником поглинання оптичного випромінювання.*

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/>*

*Здобувачу належить розробка узагальненої моделі взаємодії оптичного випромінювання з шерстю, а також вимірювання індикатриси розсіювання світла.*

21. *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.*

*Здобувачем проведені експериментальні дослідження для визначення кореляції між кольором шерсті і показником поглинання оптичного випромінювання.*

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>

*Здобувачу належить проведення експериментальних випробувань приладу для дистанційного визначення кольору шерстного покриву овець при формуванні стада.*

## 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.

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.

В роботі запропоновано метод визначення кольору шерсті завдяки використанню дифузного відбиття монохроматичного когерентного випромінювання з різною довжиною хвилі. На основі теоретичних досліджень умов відбиття оптичного випромінювання від поверхні шерстного покриву обґрунтовані параметри спектрографічного методу з використанням лазерного джерела. Доведено, на основі математичного моделювання складових відбитого потоку світла від поверхні шерсті, ефективність використання дифузного розсіяння променя від поверхні та доцільність його застосування при визначенні її кольору. Визначені основні джерела похибок, які виникають на окремих етапах перетворення відбитого променя при його реєстрації та вплив їх на загальну похибку вимірювання кольору, що дало можливість отримати співвідношення для оцінки похибок вимірювання навіть в умовах відносно малого співвідношення сигнал/шум.

Запропоновано конструкцію приладу для дистанційного визначення рівня меланінової пігментації, яка корелює із забарвленням шерсті овець, який було використано в діючому зразку автоматизованої платформи для сортування овець за кольором шерсті в процесі формування стада овець при вирощуванні.

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.

**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.

**Цибух А.В. Лазерная технология сортировки овец по цвету шерсти при формировании стада. – Рукопись.**

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.11.17 – биологические и медицинские приборы и системы. – Харьковский национальный технический университет сельского хозяйства имени Петра Василенка – Харьков, 2021.

Диссертация посвящена решению научной задачи разработке неинвазивного метода дистанционного определения цвета шерстного покрова овец, путем применения полупроводниковых лазерных источников излучения с длиной волны излучения 405, 532, 650, 780 нм. Задача связана с отсутствием

объективности в определении цвета шерсти овец, что приводит к существенным финансовым потерям при производстве шерсти в области овцеводства. Проведенный в работе анализ применения оптических технологий, основанных на использовании лазерного излучения, показал их высокую эффективность в ряде технологических процессов. Кроме того, оказалось, что на сегодня определение цвета окраски шерсти овец (белая, серая) и особенно при определении полутонов, что связано с меланиновой пигментацией, происходит благодаря субъективной оценке оператора.

В работе предложен метод определения цвета шерсти благодаря использованию диффузного отражения монохроматического когерентного излучения с различной длиной волны. На основе теоретических исследований условий отражения оптического излучения от поверхности шерстного покрова обоснованы параметры спектрографического метода с использованием лазерного источника. Доказана, на основе математического моделирования составляющих отраженного потока света от поверхности шерсти, эффективность использования диффузного рассеяния луча от поверхности и целесообразность его применения при определении ее цвета. Определены основные источники погрешностей, возникающих на отдельных этапах преобразования отраженного луча при его регистрации и влияние их на общую погрешность измерения цвета, что позволило получить соотношение для оценки погрешностей измерения даже в условиях относительно малого соотношения сигнал / шум.

Предложена конструкция прибора для дистанционного определения уровня меланиновой пигментации, которая коррелирует с окраской шерсти овец, использованной в действующем образце автоматизированной платформы для сортировки овец по цвету шерсти в процессе формирования стада овец при выращивании.

Эффективность предложенных технических средств для реализации лазерной технологии сортировки овец по цвету шерсти подтверждена технико-экономическими расчетами, а именно уровень рентабельности производства шерсти увеличивается до 12%, а уровень окупаемости дополнительных капитальных вложений не превышает 2 года.

**Ключевые слова:** оптическое излучение, диффузное отражение, источники монохроматического когерентного оптического излучения - лазеры, полупроводниковые лазеры, оптические свойства шерстного покрова, приборы для диагностики шерстного покрова, сортировки овец.

**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. - Petro Vasylenko Kharkiv National Technical University of Agriculture. - Kharkiv, 2021.

The dissertation is devoted to the solution of the scientific problem of development of a non-invasive method of remote determination of sheep wool color by application of semiconductor laser radiation sources with 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 a number of 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, occur due to the subjective assessment of the operator.

The paper proposes a method for determining the color of wool through the use of diffuse reflection of monochromatic coherent radiation with different wavelengths. Based on theoretical studies of the conditions of reflection of optical radiation from the surface of the wool, the parameters of the spectrographic method using a laser source are substantiated. The efficiency of diffuse beam scattering from the surface and the expediency of its application in determining its color are proved on the basis of mathematical modeling of the components of the reflected light flux from the wool. The main sources of errors that occur at individual stages of the transformation of the reflected beam during its registration and their impact on the total error of color measurement are identified, which made it possible to obtain a ratio for estimating measurement errors even at relatively low signal-to-noise ratio.

The design of a device for remote determination of the level of melanin pigmentation, which correlates with the color of sheep wool, which was used in the current sample of an automated platform for sorting sheep by wool color in the process of forming a flock of sheep during breeding.

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

**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.