

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

Інститут інформаційних технологій

Метрології та інформаційно-вимірювальної техніки

Варга Євгеній Борисович

(прізвище, ім'я, по батькові)

УДК 535.65

(індекс)

МАГІСТЕРСЬКА РОБОТА

Аналіз точності колориметричного експрес-контролю якості зернових

культур

(назва роботи)

Метрологія та вимірювальна техніка

(назва освітньої програми)

152. Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка

(шифр і назва спеціальності)

Варга Є.Б.

(підпис, ініціали та прізвище здобувача освітнього ступеня)

Науковий керівник Кононенко Марина Андріївна, к.т.н., доцент

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Допущено до захисту

Завідувач кафедри

О.Є. Середюк.

(посада) (підпис) (дата) (ініціали та прізвище)

Рецензент

(посада) (підпис) (дата) (ініціали та прізвище)

Робота містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

Івано-Франківськ

2024

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

(повне найменування закладу вищої освіти)

Інститут інформаційних технологій

Кафедра інформаційно-вимірювальних технологій

Освітній рівень магістр

Спеціальність метрологія та вимірювальна техніка

(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

ІВТ

Середюк О.Є.

« »

 2024 року

**З А В Д А Н Н Я
НА МАГІСТЕРСЬКУ РОБОТУ СТУДЕНТОВІ**

Варга Євгеній Борисович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Аналіз точності колориметричного експрес-контролю якості зернових культур

керівник роботи Кононенко Марина Андріївна, к.т.н., доцент,

затверджені наказом закладу вищої освіти від " " листопада 2023 року №

2. Строк подання студентом роботи року

3. Вихідні дані до роботи: колориметричний засіб експрес-контролю жовтизни пшениці на базі 4-канального АЦП, трьох світлофільтрів, мікроконтролера та інтерфейса USB

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

1. Аналіз показників якості пшениці та методів їх визначення. 2 Аналіз побудови цифрових засобів колориметрії для контролю кольору зернових культур. 3. Аналіз точності колориметричного експрес-контролю кольору зерна цифровими засобами оптичного контролю.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

1. МР.МТТм-05.00.00.001 – Класифікація пшениці за типами і підтипами;

2. МР.МТТм-05.00.00.002 – Цифровий аналізатор кольору;

3. МР.МТТм-05.00.00.003 – Пристрій розпізнавання і класифікації колірних відтінків;

4. МР.МТТм-05.00.00.004 – Цифровий колориметр;

5. МР.МТТм-05.00.00.005 – Результати спостережень за зміною напруги у каналах; червоного (а), синього (б) і зеленого (в) діодів;

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Нормо-контроль	Лютак З. П., професор кафедри		

7. 15.10.2023р. Дата видачі завдання

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів магістерської роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1.	Аналіз показників якості пшениці та методів їх визначення	13.11.-30.11.2023р.	
2.	Аналіз побудови цифрових засобів колориметрії для контролю кольору зернових культур	1.12.-15.12.2023р.	
3.	Аналіз точності колориметричного експрес-контролю кольору зерна цифровими засобами оптичного контролю	16.12-31.12.2023р.	
4.	Висновки по роботі	01.01-05.01.2024р.	
5.	Оформлення пояснювальної записки та графічної частини	06.01.-10.01.2024р.	

Студент _____
(підпис)

Керівник роботи _____
(підпис)

Варга Є.Б.
(прізвище та ініціали)

Кононенко М.А.
(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Аналіз точності колориметричного експрес-контролю якості зернових культур.

Магістерська робота: Варга Є.Б. ІФНТУНГ, 2024: __с., 9 рис., 11 табл., 20 джерел, 5 аркушів креслень.

Мета магістерської роботи – дослідження точності експрес-контролю жовтизни колориметричним методом та обробка результатів натурних вимірювань вихідної напруги зі схем каналів червоного, синього та зеленого фотодіодів електронного колориметру від яскравості світлового випромінювання.

У магістерській роботі був проведений аналіз показників якості пшениці та методи їх контролю. Для контролю жовтизни пшениці був обраний колориметричний метод і проаналізовані сучасні колориметри.

Для вирішення задачі було розглянуто модель впливу на результат вимірювань різних факторів та оброблені результати експериментальних досліджень з оцінювання невизначеності результатів вимірювань напруги по каналах світло діодів цифрового колориметра.

**ПШЕНИЦЯ, ЖОВТИЗНА ЗЕРНА, КОЛОРИМЕТР, СВІТЛОДІОД,
ПОХИБКА, СЕРЕДНЬОКВАДРАТИЧНЕ ВІДХИЛЕННЯ,
НЕВИЗНАЧЕНІСТЬ**

ABSTRACT

Analysis of colorimetric express quality control accuracy of grain crops.

Master thesis: Varga E.B., IFNTUOG, 2024, p., 9 Fig., 11 table, 20 sources, 5 sheets of graphic material.

Purpose: study of express control yellowness accuracy by the colorimetric method and processing of the measurements output voltage results from the channel circuits of red, blue and green electronic colorimeter photodiodes from the brightness of light radiation.

In the master's work, the analysis of wheat quality indicators and methods of their control was carried out. To control the yellowness of wheat, a colorimetric method was chosen and modern colorimeters were analyzed.

To solve the problem, a model of the influence of various factors on the measurement result was considered and the results of experimental studies were processed to assess the uncertainty of the results of voltage measurements on the channels of the light diodes of the digital colorimeter.

WHEAT, YELLOW GRAIN, COLORIMETER, LED, ERROR, ROOT DEVIATION, UNCERTAINTY

ЗМІСТ

ВСТУП.....	
1 АНАЛІЗ ПОКАЗНИКІВ ЯКОСТІ ПШЕНИЦІ ТА МЕТОДІВ ЇХ ВИЗНАЧЕННЯ	
1.1 Аналіз показників якості пшениці	
1.2 Аналіз методів визначення якості зерна.....	
1.3 Метод визначення кольору пшениці візуальним методом.....	
2 АНАЛІЗ ПОБУДОВИ ЦИФРОВИХ ЗАСОБІВ КОЛОРИМЕТРІЇ ДЛЯ КОНТРОЛЮ КОЛЬОРУ ЗЕРНОВИХ КУЛЬТУР.....	
2.1 Розвиток колориметрії	
2.1.1 Візуальні колориметри.....	
2.1.2 Фотоелектричні колориметри.....	
2.2 Аналіз побудови цифрових пристроїв для вирішення задач оптичного контролю.....	
2.2.1 Аналіз побудови цифрових датчиків для вирішення задач оптичного контролю.....	
2.2.2 Аналіз побудови цифрових колориметрів для вимірювання кольору.....	
3 АНАЛІЗ ТОЧНОСТІ КОЛОРИМЕТРИЧНОГО ЕКСПРЕС-КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ ЗЕРНОВИХ КУЛЬТУР.....	
3.1 Вивчення факторів впливу на результат колориметричного контролю.....	
3.2 Оцінювання стандартних невизначеностей результатів вимірювань, отриманих за допомогою електронного колориметра.....	
3.2.1 Обробка результатів вимірювань по каналу червоного фотодіоду...	
3.2.2 Оцінювання стандартної невизначеності за типом А.....	
3.2.3 Оцінювання стандартної невизначеності за типом В.....	
3.2.4 Оцінювання сумарної стандартної невизначеності	
ВИСНОВКИ.....	
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ НА ДЖЕРЕЛА.....	

ВСТУП

Актуальність теми. В Україні пшениця є ключовим продуктом агросектору. Зерна пшеничної культури — основний сировинний матеріал для борошномельної, круп'яної, хлібопекарської та макаронної промисловості. Вона також незамінна і для м'ясо-молочної галузі.

Якість озимої та ярої пшениці складається з низки характеристик, які визначають кінцевий продукт. Щоб задовольняти споживачів та виробничі потреби, особливу увагу варто приділяти аналізу зерна як у стадії збору врожаю, так і на етапі переробки.

Аналіз якості зерна характеризується сукупністю показників, які відповідають вимогам нормативно-технічної документації.

Одним із важливих показників якості зерна є колір. Зерно зі зміненим кольором вирізняється іншим хімічним складом і деформованою структурою, що знижує якість усієї партії. Зерно кожної культури (роду), виду, різновиду, а частіше і сорту має властивий йому колір. Колір і зовнішній вигляд зерна можуть змінюватися при несприятливих умовах вирощування і порушеннях в технології обробки чи зберігання. Сортність (класність) зерна визначає жовтизна зерна пшениці.

Візуальний огляд - це традиційний метод вимірювання кольору. Це абсолютно суб'єктивний метод оцінки та найпростіший. Він безпосередньо порівнює продукцію зі стандартними доказами, оцінює різницю у кольорі між наявним матеріалом та стандартними доказами. А це впливає на точність і надійність оцінки. Усунення цих недоліків полягає у застосуванні параметричного контролю якості зернових культур за рахунок зниження випадкового факторного впливу при визначенні результату вимірювання одиничного показника колориметричного контролю (жовтизни зерна пшениці). Це є важливим завданням, що тягне за собою необхідність

здійснення аналізу точності колориметричного експрес-контролю якості зернових культур, чому і присвячено дану роботу.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Результати досліджень, які відображені у магістерській роботі, виконано автором відповідно до плану навчання на кафедрі інформаційно-вимірювальних технологій Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу. Ця робота виконана за безпосередньою участю автора як виконавця окремих розділів.

Мета роботи полягає у дослідженні точності експрес-контролю жовтизни колориметричним методом та обробці результатів натурних вимірювань вихідної напруги зі схем каналів червоного, синього та зеленого фотодіодів електронного колориметру від яскравості світлового випромінювання.

Задачі дослідження. На основі проведеного аналізу вимог до контролю показників якості зерна пшениці та методів і засобів їх контролю необхідно дослідити апаратне рішення для проведення експрес-контролю жовтизни пшениці за допомогою цифрового багатоканального колориметра і провести аналіз точності колориметричного експрес-контролю якості зернових культур.

Для вирішення мети та задачі дослідження у магістерській роботі слід сформулювати наступні завдання:

1. Провести аналіз показників якості пшениці, методів визначення якості зерна та кольору пшениці з метою вибору найбільш оперативного з найменшою суб'єктивною похибкою вимірювання.
2. Проаналізувати колориметричний метод для здійснення експрес-контролю якості пшениці (жовтизни) та дослідити будову цифрових колориметрів для вимірювання кольору
3. Вивчити фактори впливу на результат колориметричного контролю.
4. Здійснити обробку результатів вимірювання вихідної напруги зі схем каналів червоного, синього та зеленого фотодіодів цифрового колориметра та

оцінити стандартні невизначеності за типами А та В, а також сумарну стандартну невизначеність.

Об'єктом дослідження є процес вимірювання жовтизни зерна пшениці колориметричним методом.

Предметом дослідження є результати спостережень, що одержано в результаті вимірювань кольору зерна за значеннями вимірної вихідної напруги каналів фотодіодів цифрового колориметра.

Методи дослідження: аналіз теоретичних знань, теорія вимірювань, методи математичної статистики і теорії ймовірності.

Новизна та практичне значення роботи полягає у проведеному аналізі нормативної документації щодо технічних вимог на зерно пшениці, показників якості зерна пшениці та методів їх визначення; вивчено та проаналізовано розвиток фотоколориметрів для контролю якості зерна пшениці [5]. Результати роботи можуть бути використані у навчальному процесі на кафедрі інформаційно-вимірювальних технологій ІФНТУНГ.

1 АНАЛІЗ ПОКАЗНИКІВ ЯКОСТІ ПШЕНИЦІ ТА МЕТОДІВ ЇХ ВИЗНАЧЕННЯ

1.1 Аналіз показників якості пшениці

В Україні пшениця є ключовим продуктом агросектору. Зерна пшеничної культури — основний сировинний матеріал для борошномельної, круп'яної, хлібопекарської та макаронної промисловості. Вона також незамінна і для м'ясо-молочної галузі.

Якість озимої та ярої пшениці складається з низки характеристик, які визначають кінцевий продукт. Щоб задовольняти споживачів та виробничі потреби, особливу увагу варто приділяти аналізу зерна як у стадії збору врожаю, так і на етапі переробки.

Аналіз якості зерна характеризується сукупністю показників, які відповідають вимогам нормативно-технічної документації.

У червні 2019 року введено в дію новий стандарт ДСТУ 3768:2019 «Пшениця. Технічні умови»[1]. Одночасно скасовано стандарт ДСТУ 3768:2010 «Пшениця. Технічні умови» (наказ ДП «УкрНДНЦ» № 133). Стандарт є обов'язковим. Тож, слід ознайомитись з його основними положеннями аби розуміти його вимоги та для того, щоб уникнути усіх проблем з контролем.

Нагадаємо, що до сьогодні у нас уже було розроблено п'ять стандартів ДСТУ на зерно пшениці. Останній із них ДСТУ 3768:2010 року вже вичерпав себе. При гармонізації умов з європейським законодавством Україні потрібно було змінити стандарт і внести у нього певні корективи, говорять фахівці[2].

Які ж передумови оновлення стандарту ДСТУ 3768:20XX «Пшениця. Технічні умови»:

– імплементація міжнародних угод, шлях до євроінтеграції;

- оптимізація системи заготівлі та розміщення партій зерна;
- збільшення об'ємів експортування зерна;
- удосконалення вхідного контролю якості зерна;
- упровадження методів, гармонізованих з міжнародними та європейськими правилами;
- посилення вимог до продовольчої безпеки і охорони довкілля;
- перехід на чинні регламенти, інструкції, нормативи згідно чинного законодавства.

Ініціювали розробку та оновлення ДСТУ такі суб'єкти ринку: Українська Зернова Асоціація, ВГО «Українська Аграрна Конфедерація», ГС «Аграрний Союз України», ТОВ «НІБУЛОН», ГС «Борошномели України», Всеукраїнська асоціація пекарів, Об'єднання «УКХЛІБПРОМ», Європейська Бізнес Асоціація та Американська Торгівельна Палата в Україні та ін.

Метою стандарту є оптимізація та удосконалення нормативної бази у сферах виробництва, заготівлі, зберігання, переробки, торгівлі та визначення якості зерна пшениці м'якої та твердої на продовольчі і непродовольчі потреби відповідно до структури її вирощування в Україні.

Основні зміни у нормуванні за ДСТУ 3768:2019 «Пшениця. Технічні умови»:

- скорочення кількості класів на зерно пшениці м'якої.
- підвищення показників якості зерна (натура, число падіння, вміст шкідливої домішки, фузаріозних зерен).
- нормування некласоутворюючих показників — вмісту зерен пошкоджених клоном-черепашкою, сили борошна.
- впровадження нової методики визначення сажкових зерен методом мікроскопії.

Надано посилання на чинні нормативи, правила, нові стандарти групи ДСТУ, ISO, та EN.

В Україні немає загальних стандартів для всіх типів зерна. Тому для кожного існує свій список вимог. Наприклад, показники якості зерна

пшениці поділяють на технологічні, борошномельні та хлібопекарські властивості.

До технологічних показників відносять:

- колір;
- вологість;
- смак;
- зараженість;
- запах;
- чистота тощо.

Перевірка зрілості, свіжості й зараженості є обов'язковою не лише для пшениці, але й для всіх наявних типів зерна.

До борошномельних властивостей відносять такі показники:

- питома вага;
- склоподібність;
- типовий склад;
- маса 1000 зерен;
- вирівняність,
- натура;
- зольність.

Такі характеристики також важливі при вивченні партій ячменю, жита, вівса;

Серед хлібопекарських властивостей виділяють наступні показники:

- склад борошна;
- вміст і якість клейковини;
- фізичні показники тіста;
- автолітична активність (здатність борошна утворювати певну кількість водорозчинних речовин під час прогрівання водно-борошняної суспензії);
- газоутворювальна здатність.

Це додаткові показники якості, що перевіряються за необхідності на деяких етапах хлібообігу.

За допомогою вищевказаних показників якості пшениці визначають її клас і придатність до подальшого перероблення.

Світова класифікація може суттєво відрізнятиметься від норм прийнятих в окремих державах, але саме світовий стандарт є показником, що дозволяє експортувати зерно до будь-яких країн світу. Цей стандарт включає наступні групи.

Група «А»

Зерно пшениці групи «А» є високоякісною пшеницею, що має високий вміст білків, добру глибину забарвлення та низький вміст вологості. Вона використовується для виробництва високоякісного борошна та хліба, а також для інших харчових продуктів.

Група «Б»

Зерно пшениці групи «Б» має менший вміст білків, меншу глибину забарвлення, вищий вміст води та домішок порівняно з пшеницею вищої групи.

Пшениця класу «Б» також може бути використана для виробництва різноманітних видів хліба, булочок, пирогів та інших хлібобулочних виробів.

Вибір класу пшениці залежить від вимог якості для певного виду продукту, від доступності на ринку та актуальної ціни.

Одним із важливих показників якості зерна є колір. Зерно зі зміненим кольором вирізняється іншим хімічним складом і деформованою структурою, що знижує якість усієї партії. Зерно кожної культури (роду), виду, різновиду, а частіше і сорту має властивий йому колір. Колір і зовнішній вигляд зерна можуть змінюватися при несприятливих умовах вирощування і порушеннях в технології обробки чи зберігання. Сортність (класність) зерна визначає жовтизна зерна пшениці[5].

1.2 Аналіз методів визначення якості зерна

Щоб визначити якість зерна використовують:

- органолептичний аналіз, який здійснюється за допомогою органів чуття людини та допомагає зробити первинні висновки;
- фізико-хімічний аналіз, його здійснюють як більш глибоке дослідження в лабораторних умовах.

Нижче наведено короткий огляд основних методів оцінки, що дозволяють точно визначити характеристики зерна.

Органолептичний аналіз

1. Візуальна оцінка. Спочатку зерно перевіряють на наявність небажаних відтінків чи плям. Колірні зміни можуть вказувати на зміни у хімічному складі та деформовану структуру. Пошкоджені зерна знижують якість усієї партії.

2. Аналіз запаху. Також перевіряють наявність неприємних чи аномальних запахів. Аромат польових трав або гнильний запах може вказувати на помилки у вирощуванні, збиранні чи зберіганні врожаю. Оптимально, якщо зерно має аромат свіжої соломи.

3. Перевірка смаку. Пшеницю додатково оцінюють на смак, тільки якщо є сторонній запах.

Фізико-хімічний аналіз

1. Визначення домішок. Зерно візуально або за допомогою спеціальних сит перевіряють на наявність каміння, металевих частинок, піску та інших домішок. Засміченість впливає на безпеку та якість продуктів.

2. Оцінка зараженості шкідниками. Для визначення якості зерна його також оглядають на наявність слідів шкідників, гризунів і хвороб. Впливає на збереження культури та її придатність для переробки.

3. Вимірювання вологості. Зерно піддається сушінню за певних умов, потім вимірюється зміна маси для визначення вологості. Вологість впливає на зберігання та обробку зерна.

4. Вимірювання масової частки білка. Рівень білка визначають методом К'ельдаля. Показник впливає на якість борошна та інших продуктів із пшениці. Чим вищий вміст білка, тим вища харчова та технологічна цінність зерна.

5. Оцінка клейковини. Цей аналіз роблять для прогнозування хлібопекарських властивостей зерна. Тести розтягування та розтікання глютену дозволяють оцінити його еластичність і зчеплюваність. Глютен важливий для структури та обсягу випічки.

6. Вимірювання склоподібності. Її визначають за допомогою діафаноскопа чи шляхом розрізання зерен. Структура внутрішніх тканин зерна є важливою для переробки. Склоподібна пшениця легше перемелюється, тому з неї виробляють борошно вищого ґатунку.

7. Визначення вологовіддачі. Зерно занурюють у воду та порівнюють вагу до і після занурення для дослідження здатності зерна вбирати та утримувати вологу. Ця характеристика впливає на процеси уварювання та приготування продуктів.

8. Аналіз натури. Аналіз полягає у вимірюванні маси 1 літра зерна, вираженої у грамах. Цей показник, званий також об'ємною масою, дозволяє оцінити густину та стан зерна. Висока натура забезпечує кращу схоронність і кращі технологічні характеристики для переробки.

9. Визначення числа падіння. Оцінюють здатність насіння успішно проникати в ґрунт і проростати. Цей показник є важливим для оптимізації техніки посіву.

10. Оцінка схожості. За допомогою фізико-хімічного дослідження також виявляють відсоток насіння, яке здатне дати здорові паростки. Цей важливий агротехнічний фактор впливає на рівень врожайності та якість сівозміни.

Аналіз якості зерна озимої пшениці здійснюють безпосередньо після збирання та очищення врожаю, у середині серпня. Ярову пшеницю

перевіряють уже в липні. За необхідності, на деяких етапах хлібообігу перевіряють додаткові показники якості.

Зерно кожної культури (роду), виду, різновиду, а частіше і сорту має властивий йому колір, а іноді і блиск, які є стійкими ботанічними ознаками [6]. Зерно кожної культури має особливий запах: іноді це слабкий, ледве помітний (в зерні злаків), а іноді специфічно сильний (наприклад у насіння ефіроолійних культур). Смак нормального зерна слабо помітний. Частіше за все він буває прісним, а у насіння ефіроолійних культур – пряним.

Колір і зовнішній вигляд зерна можуть змінюватися при несприятливих умовах вирощування і порушеннях в технологічних прийомах обробки і зберігання [6].

Основні причини зміни кольору і зовнішнього вигляду зерна наступні: несприятливі погодні умови в період формування і дозрівання зерна – ранні приморозки, суховії, проростання зерна в колосі, дія на зерно комах – шкідників, активний розвиток фітопатогенних чи сапрофітних мікроорганізмів, неправильна післязбиральна обробка партій зерна.

Колір зерна визначають візуально при розсіяному денному освітленні, а також при штучному освітленні, звичайно порівнюючи його з еталонними зразками чи з описом цієї ознаки в стандартах на культуру, що досліджується [6].

При оцінці якості зерна пшениці визначають ступінь його знебарвлення. Спостерігаються три стадії знебарвлення зерна. До зерна I стадії відносяться зерна з повною втратою блиску і з знебарвленням в області спинки; до II стадії – зерна з повною втратою блиску і з знебарвленням в області спинки і бочків; до III стадії – зерна з знебарвленням всієї поверхні зерна. В партії можуть знаходитися зерна різних стадій знебарвлення. Чим більше в партії зерен II і III стадій знебарвлення, тим гірші її технологічні і хлібопекарські властивості. В нормальному зерні зерен I стадії знебарвлення повинно бути не більше

10 %, II стадії – не більше 5 %; III стадії – не допускається. При більшому вмісті знебарвлених зерен встановлені ступені знебарвлення [6].

При оцінці фізичних властивостей зерна визначають форму плодів і насіння, лінійні розміри, крупність, об'єм, виповненість, щуплість, вирівнювання, масу 1000 насінин, щільність, натуру, механічні пошкодження, механічні властивості, зараженість шкідниками, засміченість. Хімічні показники якості зерна: вологість, вміст білку, кількість і якість клейковини, кислотність і зольність.

Вміст вологи в зерні визначає можливість його зберігання. Підвищений вміст вологи в зерні посилює процеси його дихання, сприяє розвитку мікроорганізмів, що призводить до великих втрат зерна і погіршує його якість. Характеристика і норми для м'якої пшениці за класами представлено у табл.1.1 [7].

Таблиця 1.1- Характеристика і норми для м'якої пшениці за класами

Показники	ДСТУ, рік	Характеристика і норми для м'якої пшениці за класами			
		1	2	3	4
Натура, г/л, не менше	<u>ДСТУ</u> <u>3768:2010</u>	<u>760</u>	<u>740</u>	<u>730</u>	<u>Не обмежено</u>
	ДСТУ 3768:2019	775	750	730	Не обмежено
Склоподіб- ність, %, не менше	<u>ДСТУ</u> <u>3768:2010</u>	<u>50</u>	<u>40</u>	<u>Не обмежено</u>	<u>Не обмежено</u>
	ДСТУ 3768:2019	50	40	Не обмежено	Не обмежено
Вологість %, не більше ніж	ДСТУ 3768:2019	14,0	14,0	14,0	14,0
Зернова домішка %, небільше ніж зокрема:	<u>ДСТУ</u> <u>3768:2010</u>	<u>5,0</u>	<u>8,0</u>	<u>8,0</u>	<u>15,0</u>
	ДСТУ 3768:2019	5,0	8,0	8,0	15,0
биті зерна	<u>ДСТУ</u> <u>3768:2010</u>	<u>5,0</u>	<u>5,0</u>	<u>5,0</u>	<u>у межах зер-</u> <u>нової домішки</u>
	ДСТУ	5,0	5,0	5,0	у межах зер-

	3768:2019				новоїдомішки
--	-----------	--	--	--	--------------

Продовження таблиці 1.1

зерна злакових культур	ДСТУ <u>3768:2010</u>	<u>4,0</u>	<u>4,0</u>	<u>4,0</u>	<u>у межах зер- новоїдомішки</u>
	ДСТУ 3768:2019	3,0	4,0	4,0	у межах зер- новоїдомішки
пророслі зерна	ДСТУ <u>3768:2010</u>	<u>2,0</u>	<u>3,0</u>	<u>3,0</u>	<u>у межах зер- новоїдомішки</u>
	ДСТУ 3768:2019	2,0	3,0	3,0	у межах зер- новоїдомішки

1.3 Метод визначення кольору пшениці візуальним методом

За колись чинним в Україні міждержавним стандартом ГОСТ 10976-90 Зерно. Методи визначення запаху і кольору, колір зерна визначають візуально, порівнюючи з описом цієї ознаки в стандартах на досліджувану культуру.

При розбіжності результатів визначення колір визначають при розсіяному денному світлі.

Також стандартом було передбачено визначення степені знебарвлення зерна за допомогою еталонів. Еталони складають згідно з наступними вимогами: еталони для визначення степені знебарвлення складають окремо для зерна м'якої і твердої пшениці з різних проб зерна, виділених з середньодобових проб або з перших автомобільних партій, або при попередній оцінці якості зерна врожаю поточного року. При цьому вологість зерна має бути не більше 15,0%.

З середньої проби зерна вибирають цілі здорові зерна I, II і III стадій знебарвлення і не знебарвлені у кількості, що необхідне для складання еталонів для кожної ступені знебарвлення, вказаній в таблиці 1.2.

Таблиця 2.1 – Норми вибору зерна для складання еталонів для визначення ступені знебарвлення

Ступінь знебарвлення зерна	Маса зерен за стадіями знебарвлення, г			
	Не знебарвлені зерна	I	II	III
Нормальне зерно	43	5	2	0
Перша	5	33	11	1
Друга	2	23	18	7
Третя	0	5	22	23

Для проведення контролю знімальну чашку в центральній частині спеціальної касети повністю заповнюють зерном, відібраним з середньої проби, і візуально порівнюють з еталонами зерна, що знаходиться в чотирьох периферійних комірках касети. Зерно порівнюють спочатку з еталоном не знебарвленого зерна, потім з еталонами зерна першої, другої і третьої ступенями знебарвлення.

При порівнянні зерна проби з одним з еталонів три інших еталони закривають металевим екраном.

Порівняння проводять при розсіяному денному світлі або при освітленні лампами розжарювання з використанням розсіювача.

За результатами порівняння зерну досліджуваної проби присвоюють ту ступінь знебарвлення, котру має еталон зерна, найбільш близький до нього за кольором.

Контрольний метод визначення ступені знебарвлення за результатами розбору наважки досліджуваного зерна проводять наступним чином.

З середньої проби досліджуваного зерна відбирають наважку масою $(20,0 \pm 0,1)$ г, з якої виділяють зерна кожної стадії знебарвлення і роздільно їх зважують.

При цьому до зерна I стадії знебарвлення відносять зерна з частковою втратою блиску і з знебарвленням в області спинки, до зерна II стадії знебарвлення відносять зерна з повною втратою блиску і з знебарвленням в області спинки і бочків, до зерна III стадії знебарвлення відносять зерна з знебарвленням всієї поверхні зерна.

Вміст зерен кожної стадії знебарвлення (X) у відсотках обчислюють за формулою

$$X = \frac{m \cdot 100}{20} \quad (1.1)$$

де m – маса зерен кожної стадії знебарвлення, г;

20 – маса наважки, г.

Степінь знебарвлення зерна визначають у відповідності до вимог, вказаним у таблиці 1.3.

Таблиця 1.3 – Визначення степені знебарвлення зерна

Степінь знебарвлення зерна	Вміст зерен, %, не більше за стадіями знебарвлення		
	I	II + III	У тому числі III
Нормальне зерно	10	5	Не допускається
Перша	Не обмежується	25	2
Друга	Те саме	Не обмежується	15
Третя		Не обмежується	16 і більше

Як бачимо з наведеного методу візуальний огляд - це традиційний метод вимірювання кольору. Це абсолютно суб'єктивний метод оцінки та найпростіший. Він безпосередньо порівнює продукцію зі стандартними доказами, оцінює різницю у кольорі між наявним матеріалом та стандартними доказами. Сутність полягає у візуальній фотометрії, принцип полягає у застосуванні додаткового закону змішування кольорів, щоб додати

невідомі кольори кожного компонента разом для опису невідомих кольорів. Хоча найбільш надійним способом оцінки кольорів є використання людського ока, що є просто та гнучко, завдяки досвіду спостерігачів та впливу психологічних та фізіологічних факторів, метод має забагато змінних і не може бути кількісно описаний. А це впливає на точність і надійність оцінки. З метою вирішення цієї задачі необхідно дослідити апаратне рішення для проведення колориметричного експрес-контролю жовтизни пшениці за допомогою цифрового багатоканального колориметра і провести аналіз точності контролю якості зернових культур.

2 АНАЛІЗ ПОБУДОВИ ЦИФРОВИХ ЗАСОБІВ КОЛОРИМЕТРІЇ ДЛЯ КОНТРОЛЮ КОЛЬОРУ ЗЕРНОВИХ КУЛЬТУР

2.1 Розвиток колориметрії

Колір – це афінна векторна величина трьох вимірів, що має спектральні властивості, загальні для всіх випромінювань, візуально нерозрізнені в колориметричних умовах спостереження. Під словом «випромінювання» слід розуміти світло, відбите і таке, що пропускається несамосвітними тілами.

Колориметрія (від лат. color — колір та грец. μετρέω — міряти) — наука, що досліджує методи вимірювання, вираження кількості кольору і відмінностей кольорів, що виникла у минулому столітті. Колориметрія – наука про методи вимірювання і кількісного вираження кольору, а також сукупність таких методів і засобів.

Головну роль в її розвитку відіграло відкриття німецьким математиком Г. Грассманом законів, за якими кожен колір є сумою трьох інших кольорів, узятих у певних долях. При цьому такі кольори мають бути незалежними, тобто два з них, змішуючись, не повинні давати третій.

Колориметри — це цінні пристрої для вимірювання кольору, які використовуються виробниками, друкарями, художниками, дизайнерами та спеціалістами з контролю якості. Колориметри забезпечують точний, постійний колір, усуваючи проблеми, пов'язані з суб'єктивним сприйняттям кольору. Залежно від моделі, колориметричні пристрої можуть вимірювати кольори в різних колірних просторах.

Прилади для вимірювання кольору застосовуються вже не одне десятиліття. Прогрес у колориметрії залежить від розробки і виробництва нових апаратів і методів вимірювання кольору з широкими операційними можливостями [8].

Існує кілька типів колориметрів, робота яких заснована на різних фізичних принципах. Однак більшість з них є застарілими і вже не застосовуються, зважаючи на малу точність [9; 10].

Сучасні пристрої працюють за двома принципами:

- візуальному;
- фотоелектричному.

2.1.1 Візуальні колориметри

Візуальні колориметри – це найбільш прості прилади, що поступаються фотоелектричним в точності. Принцип їх роботи заснований на порівнянні двох кольорів, на які спочатку направляється світловий потік однакової яскравості. Оператором проводиться регулювання приладу таким чином, щоб поле кольору досліджуваного зразка стало на його думку аналогічним зразку. Після цього до уваги беруться зроблені поправки, які дозволили візуально на апараті зрівняти відтінки, і по ним робляться висновки про характеристики досліджуваного кольору.

У візуальних колориметрах колір вимірюється вирівнюванням кольору двох половин поля зору, на одній з яких спостерігається вимірюваний колір, а на іншій – колір суміші трьох основних кольорів приладу, наприклад, червоного (Ч), зеленого (З), синього (С). Регулюючи кількості основних кольорів, можна домогтися зорової тотожності кольору суміші з вимірюваним кольором. Зрівняні кольори є метамерними, тобто спектрально не обов'язково тотожними. Визначення кольору проводиться по вимірюванню колірних координат суміші, які представляють собою кількості основних кольорів колориметра, що віднесені до одиничних кількостей цих кольорів по трьом шкалах приладу. Ці дані, пропорційні площам світлофільтрів, дають координати вимірюваного кольору в системі колориметра і дозволяють записати його у вигляді рівняння

$$K = c' \cdot Ч + z' \cdot З + c' \cdot С \quad (2.1)$$

Колір виражається в системі основних кольорів колориметра і для вираження його в міжнародній системі необхідний перерахунок. Цим методом також важко вимірювати безпосередньо колір предметів, він зручний лише для вимірювання кольору зразків [8]

Візуальні колориметри при порівняльній простоті все ж не можна назвати абсолютно неточними пристроями. Рівень похибки порівняння кольорів залежить від особливостей зору оператора. Справа в тому, що різні люди бачать одні й ті ж відтінки по-різному. Крім цього людським очам однаковими можуть здаватися кольори, які відрізняються на декілька тонів. Жінки мають більш високу чутливість органів зору до відтінків, тому аналіз на візуальному колориметрі зроблений ними виявляється більш відповідним дійсності, ніж оцінка чоловіком. Крім цього доведено, що з віком сприйняття кольорів знижується [9; 10].

Всі ці фактори не дозволяють вважати візуальний колориметр приладом лабораторної точності, на свідчення якого можна покласти. Однак пристрої цього типу цілком можна застосувати в сферах, де висока точність не потрібна. Такі апарати зараз представлені старими стаціонарними приладами, які ще зустрічаються на виробничих об'єктах [9].

Оскільки прилади цього класу представлені старим обладнанням, яке ще використовується, але вже не випускається промисловістю, то їх детальний розгляд недоцільний.

2.1.2 Фотоелектричні колориметри

Для фотометричних вимірювань використовують дві великі групи приладів: фотоколориметри і спектрофотометри. У колориметрах потрібні спектральні діапазони виділяються за допомогою світлофільтрів, що обмежують ділянки спектра, в яких можуть проводитись вимірювання. У спектрофотометрах ділянки спектра виділяються за допомогою призми або дифракційних решіток, що дозволяє встановлювати будь-яку довжину хвилі в заданому діапазоні [8, 10, 11].

Конкретна послідовність операцій при вимірюванні оптичної щільності або пропускання залежить від конструкції спектрофотометра або колориметра. Однак основні принципи залишаються незмінними. Спочатку встановлюють необхідну довжину хвилі, вибираючи світлофільтр на колориметрі або обертаючи відповідну рукоятку на спектрофотометрі. Потім встановлюють нуль. Для цього в світловий потік поміщають кювету зі стандартним розчином. Змінюючи ширину щілини, домагаються того, щоб показання приладу відповідали величині, передбачуваний інструкцією. На наступному етапі стандартний розчин замінюють досліджуваним і роблять відлік величини оптичної щільності або пропускання [8].

Фотоелектричні колориметри працюють з високою точністю, при цьому вони абсолютно не залежать від об'єктивного сприйняття людини. Пристрій оснащується лампою, яка висвітлює об'єкт. При цьому колір аналізується фотоелементами. Для підвищення точності приладу, зокрема при роботі зі специфічними речовинами, використовуються спеціальні фотофільтри. Вони дозволяють відсівати непотрібні колірні спектри, і аналізувати тільки ті, які цікавлять [9].

Фотоелектричні колориметри дозволяють вимірювати як колір випромінювання, що випускається джерелом, так і колір випромінювання, відбитого або пропущеного предметом. Суть методу полягає у вимірюванні спектрального розподілу енергії випромінювання $\varphi(\lambda)$ і подальшому обчисленні колірних координат X , Y , Z шляхом перемноження знайденої функції $\varphi(\lambda)$ відповідно на три стандартизовані функції складання основних кольорів і інтегрування добутку [8].

При вимірюванні кольору випромінювання, відбитого (або пропущеного) предметом, враховується ще функція спектрального відображення (або пропускання) $\rho(\lambda)$.

В цьому випадку вимірювані координати кольору визначаються наступними виразами [8]:

$$\begin{aligned}
 X &= \int_{380}^{760} \varphi(\lambda) \cdot \rho(\lambda) \cdot \bar{x}(\lambda) d\lambda, \\
 Y &= \int_{380}^{760} \varphi(\lambda) \cdot \rho(\lambda) \cdot \bar{y}(\lambda) d\lambda, \\
 Z &= \int_{380}^{760} \varphi(\lambda) \cdot \rho(\lambda) \cdot \bar{z}(\lambda) d\lambda.
 \end{aligned}
 \tag{2.2}$$

Аналіз вимірюваного випромінювання і обчислення координат кольору в фотоелектричному колориметрі виконуються автоматично за допомогою трьох селективних фотоприймачів, функції спектральної чутливості яких за допомогою коригуючих світлофільтрів підбираються співпадаючими з функціями складання основних кольорів. Кожен з фотоприймачів перетворює випромінювання своєї спектральної області в електричний струм, виконуючи при цьому дію перемноження спектральних функцій і інтегрування добутків. У результаті цього забезпечується пропорційність вихідних електричних сигналів координатам вимірюваного кольору X , Y , Z . Прилад оцінює результуюче випромінювання від предмета, враховуючи як його виборче відображення (або пропускання), так і освітленість предмета.

Один з каналів приладу, спектральна чутливість якого збігається з функцією $\bar{y}(\lambda)$, може служити яскравоміром.

У фотоелектричному колориметрі зазвичай є електронно-обчислювальні пристрої, що дозволяють перераховувати координати кольоровості із системи XYZ в координати інших колориметричних систем, наприклад, L^* , a^* , b^* , і виконувати порівняння вимірюваного кольору з кольором еталону або іншого зразка, представляючи результати у вигляді колірних відмінностей ΔE або $\Delta(L^*, a^*, b^*)$ і т. ін. Прилади, що виконують операцію порівняння близьких один до одного кольорів, називаються компараторами кольору [8].

Фотоелектричні колориметри дозволяють визначати колір і при імпульсному освітленні, виконувати поелементний колірний аналіз зразків і проводити автоматичне розпізнавання кольору складних об'єктів. Точність вимірювання кольоровості (x , y) досягає до 0,001, а точність визначення колірних відмінностей ΔE близько 0,5. Найбільш точні вимірювання кольору здійснюються спектроколориметрами, в яких випромінювання, що вимірюється, розкладається за допомогою дисперсійних призм або дифракційних решіток у спектр, що «зчитується» фотоелектричним приймачем. Сигнали приймача безперервно (або через рівні малі інтервали довжин хвиль) множаться на функції складання і інтегруються в межах довжин хвиль видимого спектру. Результати інтегрування є координати вимірюваного випромінювання.

Колориметр може застосовуватися для аналізу абсолютно будь-яких речовин, однак він повинен бути для цього розрахований.

По об'єкту аналізу прилади бувають:

- для твердих поверхонь;
- для рідин;
- універсальні.

Колориметри для твердих поверхонь використовуються для аналізу кольору твердих предметів. Вони впритул прикладаються до об'єкта своєї чутливою частиною, тому поверхня, що аналізується повинна мати як мінімум розмір ділянки освітленості приладу.

Сучасні пристрої оснащуються світлодіодами або ксеноновими лампами. Останні висвітлюють зразок дуже яскраво, що позитивно впливає на точність. Однак таке джерело світла має в рази менший ресурс, ніж світлодіоди. Також важливим параметром є діаметр вимірюваної площі зразка. У самих компактних портативних пристроїв цей показник може скласти 8 мм. При аналізі однорідної поверхні цього цілком достатньо. Але якщо доводиться працювати з рельєфними предметами з дрібними

вибоїнами, наприклад, штукатуркою, то потрібно захопити якомога більше поверхні для її більш точного аналізу [9; 10].

Однією з найважливіших характеристик виступає спосіб видачі результатів вимірів. Вони можуть відображатися в різному вигляді:

- колориметричні значення (рис. 2.1, а) [9];
- кольорові відмінності (рис.2.1, б) [9];
- підтвердження або спростування сумісності.



Рисунок 2.1 – Фотоелектричні колориметри за способом видачі результатів вимірів

Колориметри застосовуються в різних сферах для контролю кольору (а звідси і якості) різних матеріалів і продуктів, для контролю кольору джерел світла, світлофільтрів, телевізійних і кіно-зображень, поліграфічної і текстильної продукції тощо.

У хімії для вимірювання концентрації речовин в розчинах застосовуються колориметри, що використовують властивість забарвлених розчинів поглинати світло, що проходить через них тим сильніше, чим вище концентрація фарбувальної речовини. Усі вимірювання концентрації

проводяться у монохроматичному світлі тієї ділянки спектру, яка найбільш сильно поглинається даною речовиною і слабо – компонентами розчину. У колориметрах, що застосовуються для такого роду досліджень, використовуються набори вузько-смугових (монохроматичних) світлофільтрів [8; 12].

Можливості електронного колориметра значно перевершують аналогічні параметри інших приладів для вимірювання кольору [8].

2.2 Аналіз побудови цифрових пристроїв для вирішення задач оптичного контролю

2.2.1 Аналіз побудови цифрових датчиків для вирішення задач оптичного контролю

Сьогодні велика увага приділяється створенню пристроїв вимірювання кольору, які можуть бути використані для точного визначення кольору поверхні, що освітлена, або світиться сама. Колориметричні методи вимірювання здійснюються відповідно до міжнародного стандарту [13].

Розглянемо цифровий датчик для вимірювання кольору, що містить три світлофільтри, три світлочутливі елементи та три нормувальні підсилювачі. Світловий потік, що проходить через світлофільтри, попадає на світлочутливі елементи, які з'єднані з входами нормувальних підсилювачів. Як світлочутливі елементи використано фотодіоди. В цифровий датчик додатково введені поляризаційний фільтр, який установлений перед світлофільтрами, три аналого-цифрових перетворювачі (АЦП), входи котрих з'єднані з виходами нормувальних підсилювачів, а виходи – з входами регістра стану, що виходом послідовно з'єднаний з входом інтерфейсу, вихід інтерфейсу з'єднаний з ЕОМ. Структурна схема датчика представлено на рис. 2.2.

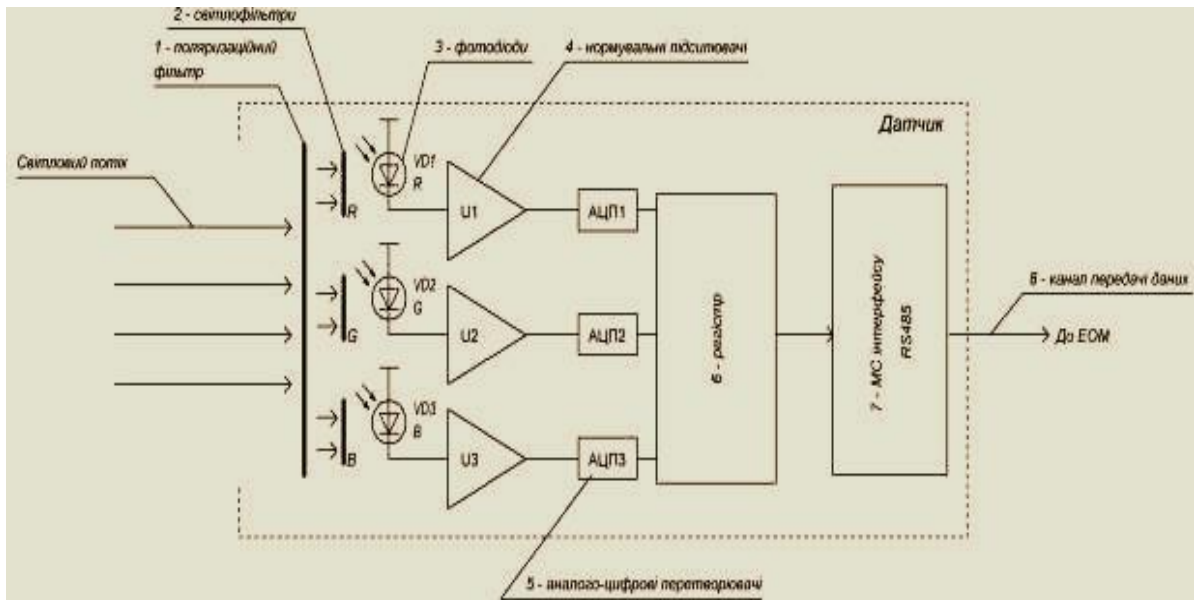


Рисунок 2.2 - Цифровий датчик для вимірювання кольору

Світлодіоди VD1 – VD3 повинні розташовуватися в одній площині, в формі трикутника і максимально щільно один до одного – це зменшує розміри конструкції і дозволяє значно зменшити площу об’єкта, що можна аналізувати даним датчиком. Для запобігання неточності в роботі датчика рекомендується освітлювати об’єкт світлом білого кольору з температурою 5600 К. Для роботи датчика потрібне джерело живлення з напругою +5 В.

Датчик працює за рахунок того, що при попаданні на нього світла від поверхні, що освітлена, або світиться сама, світловий потік проходить через поляризаційний світлофільтр 1, який використовується для заглушення віддзеркалень від поверхні та корегування кольору за рахунок видалення віддзеркаленого поляризованого світла, попадає на три кольорові фільтри 2: R, G та B, які розділяють світловий промінь на три складові – червону, зелену та синю, та через них попадає на фотодіоди 3. Фотодіоди 3 працюють у фотоперетворювальному режимі, тобто в залежності від інтенсивності світла відповідного каналу, змінюють величину струму, що проходить через них. Струм з фотодіодів 3 по трьох каналах передається на три нормувальні підсилювачі постійного струму 4, що призначені для нормалізації вхідного

сигналу від фотодіодів до рівня, достатнього для роботи АЦП 5, після чого сигнал передається на АЦП 5. Аналоговий сигнал, що перетворений за допомогою АЦП 5 в цифровий, передається на послідовний регістр даних 6, а з нього на мікросхему інтерфейсу RS-485 7. Далі сигнал по каналу RS-485 8 передається на ЕОМ, де відбувається перетворення вхідного сигналу в систему XYZ, що стандартизована міжнародною комісією по освітленню CIE, за формулами:

$$X = k_{XR}R + k_{XG}G + k_{XB}B, \quad (2.3)$$

$$Y = k_{YR}R + k_{YG}G + k_{YB}B, \quad (2.4)$$

$$Z = k_{ZR}R + k_{ZG}G + k_{ZB}B, \quad (2.5)$$

де X , Y та Z – відповідні координати системи XYZ;

k_{XR} , k_{XG} , k_{XB} – коефіцієнти для підрахунку величини X ;

k_{YR} , k_{YG} , k_{YB} – коефіцієнти для підрахунку величини Y ;

k_{ZR} , k_{ZG} , k_{ZB} – коефіцієнти для підрахунку величини Z .

Після чого значення X , Y , Z , що отримані в результаті розрахунків, перераховуються в координати кольору x та y для діаграми кольору CIE xy по формулах:

$$x = \frac{X}{X + Y + Z}, \quad (2.6)$$

$$y = \frac{Y}{X + Y + Z}. \quad (2.7)$$

Отримані координати x та y визначають розташування кольору на площині діаграми кольору CIE xy , що дозволяє однозначно ідентифікувати колір об'єкта, що досліджується.

До недоліків даного пристрою належать: похибка при вимірюванні оптичної проникності середовища (матеріалу), похибка при вимірюванні

ступеня зміни кольору світла при проходженні через оптичні середовища (матеріали).

Розширення функціональних можливостей датчика можна добитися за рахунок додавання функції вимірювання ступеня проникності оптичних середовищ (матеріалів) світлом.

2.2.2 Аналіз побудови цифрових колориметрів для вимірювання кольору

Задачею колориметра для вирішення поставленої мети є забезпечення швидкодії і точності вимірювання, а також – мати розширені функціональні можливості за рахунок того, що в нього додатково введені нормувальний підсилювач, мікроконтролер, інтерфейс, ЕОМ і аналоговий мультиплексор, що дозволить однозначно характеризувати колір об'єкту, що досліджується.

Поставлену задачу розширення функціональних можливостей було вирішено тим, що цифровий колориметр створено на базі об'єктива з діафрагмою, та містить світлоподільну призму, три світлофільтри, три фото резистори, а світловий потік, що проходить через об'єктив з діафрагмою, фокусується на світлоподільній призмі, розділяється нею на складові, та через червоний, зелений і синій світлофільтри надходить на фоторезистори, чутливі до видимого спектру випромінювання. Також в схему приладу додатково введені нормувальний підсилювач, мікроконтролер, інтерфейс, ЕОМ і аналоговий мультиплексор, входи якого з'єднані з виходами фоторезисторів, а вихід якого з'єднаний з входом нормувального підсилювача, вихід якого з'єднаний з вхідним портом мікроконтролеру, що виходами послідовно з'єднаний з входом інтерфейсу, вихід інтерфейсу з'єднаний з ЕОМ. Згідно з аналізованою схемою колориметра, як інтерфейс, використовують мікросхему інтерфейсу RS-232, як ЕОМ використовують персональний комп'ютер[14]. На рис. 2.3 зображена схема реалізації розглянутого пристрою.

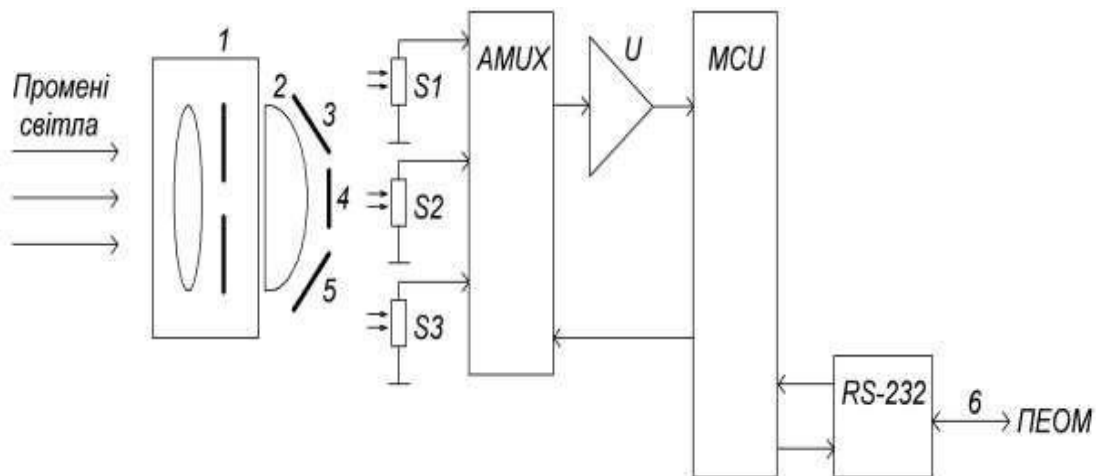


Рисунок 2.3 – Цифровий колориметр

Схема цифрового колориметру складається з об'єктиву з діафрагмою – 1, світлоподільної призми – 2, трьох світлофільтрів – 3, 4, 5, трьох фоторезисторів – S1, S2, S3, аналогового мультиплексору – AMUX, нормувального підсилювача – U, мікроконтролеру – MCU, мікросхеми інтерфейсу – RS-232, каналу передачі даних до ПК – 6. Причому виходи фоторезисторів (S1 – S3) з'єднані з входами аналогового мультиплексору (AMUX) вихід якого з'єднаний з входом нормувального підсилювача (U), вихід якого з'єднаний з вхідним портом мікроконтролеру (MCU), що виходами послідовно з'єднаний з входом інтерфейсу (RS-232), вихід інтерфейсу з'єднаний з ПК.

Цифровий колориметр працює за рахунок того, що при попаданні на нього світла від поверхні, що освітлена, або світиться сама, світловий потік проходить через об'єктив з діафрагмою 1, який використовується для фокусування променя та регулювання рівня його яскравості, попадає на світлоподільну призму 2, яка розділяє світловий промінь на складові. Розділене призмою світло через червоний (R), зелений (G) і синій (B) світлофільтри (3 – 5) надходить на фоторезистори (S1 – S3), чутливі до видимого спектру випромінювання. Кожен фоторезистор підключений до

індивідуального входу аналогового мультиплексу (AMUX). Даний аналоговий мультиплексор здійснює передачу одного з трьох вхідних сигналів на вхід нормувального підсилювача U. З виходу нормувального підсилювача сигнал поступає на вхідний порт мікроконтролера (MCU). Нормувальний підсилювач призначений для приведення вхідного сигналу від датчиків освітленості до діапазону від 0 до 4,096 В, достатнього для оцифровки сигналу вбудованим 10-ти бітовим АЦП мікроконтролера, на який поступає сигнал. Вибір необхідного каналу здійснює мікропроцесор, подаючи відповідний цифровий код на адресні входи мультиплексу. Програма керування пристроєм прошивається всередину мікропроцесора.

Програма мікропроцесора забезпечує функціонування всього пристрою в цілому. Для цього програма виконує наступний набір функцій: керування перемиканням каналів аналогового мультиплексу; оцифрування нормалізованого сигналу з датчиків освітленості, що надходить на 5 вхід АЦП мікропроцесора; калібрування сигналів, що надходять з датчиків освітленості; цифрова фільтрація і усереднення отриманих результатів вимірювань; перетворення результатів вимірювань рівня освітленості в стандартний RGB вид; передача, за запитом від ПЕОМ, результатів вимірювань і розрахунків на ПЕОМ по послідовному каналу зв'язку RS-232 (6). Обмін даними з ПЕОМ здійснюється з використанням асинхронного послідовного порту передачі даних мікропроцесора USART. Для узгодження рівнів цифрових сигналів мікропроцесора з рівнями сигналів стандарту EIA RS-232 використовується мікросхема інтерфейсу RS-232, використовується перетворювач ADM232 виробництва фірми Analog Devices.

Програма, яка функціонує на ПК, що здійснює обробку і відображення інформації, отриманої від перетворювального блоку, написана на мові C ++ з використанням компілятора Microsoft Visual C ++ v.6.0.

підвищення швидкодії і точності вимірювання, за рахунок використання фотодіодів та мікроконтролера з вбудованим АЦП, світлодіодів еталонного освітлення та методу вимірювання кольору, що

полягає у визначенні інтенсивності трьох складових частин вхідного світлового потоку R, G, B, перетворенні цих даних в цифровий сигнал для подальшого перерахунку сигналу в координати кольору x (2.6) та y (2.7) (для діаграми кольору CIE xy), що дозволить однозначно характеризувати колір об'єкта, розширення функціональних можливостей за рахунок додавання інтерфейсу керування приладом, засобу відображення інформації, можливості збереження інформації на картах пам'яті та можливості використання приладу в автономному режимі без використання ПК. Ця задача вирішена у [15] наступним чином. У цифровій пристрій вимірювання кольору додатково введені два нормувальні підсилювачі, входи котрих з'єднані з фотодіодами, а виходи з аналоговими входами мікроконтролера, світлодіоди еталонного освітлення, що підключені до виходів мікроконтролера, кнопки керування, що підключені до входів мікроконтролера, рідкокристалічний індикатор, що підключений до виходів мікроконтролера та карта пам'яті, що підключена до виходів мікроконтролера.

Програма мікроконтролера забезпечує функціонування всього пристрою в цілому. Для цього програма виконує наступний набір функцій: оцифровування аналогового сигналу з датчиків освітленості (фотодіодів), що надходить на вхід АЦП мікроконтролера; калібрування сингалів, що надходять з датчиків освітленості; цифрову фільтрацію і усереднення отриманих результатів вимірювань; перетворення результатів вимірювань рівня освітленості в стандартний RGB вид; обробку команд, що надійшли від кнопок керування пристроєм; виведення отриманих результатів роботи на рідкокристалічний індикатор; збереження даних на карту пам'яті.

Перетворення результатів вимірювань рівня освітленості в стандартний RGB вид відбувається наступним чином: сигнал, що надійшов на аналоговий вхідний порт мікроконтролера, перетворюється у систему XYZ, що стандартизована міжнародною комісією по освітленню CIE, по формулах (2.3) – (2.5). Після чого X , Y , Z , що отримані в результаті розрахунків,

перераховуються в координати кольору x та y для діаграми кольору СІЕху по формулах (2.6), (2.7).

Отримані координати x та y визначають розташування кольору на площині діаграми кольору СІЕху, що дозволяє однозначно ідентифікувати колір об'єкта, що досліджується.

На підставі приладу [100] було розроблено пристрій для експрес-контролю кольору. Цей пристрій дозволяє визначити рівень сигналу по трьох каналах: канал червоного кольору, канал зеленого кольору і канал синього кольору (RGB система). За отриманими даними можна зробити висновки про те, який колір надходить на вхід пристрою. Пристрій видає інформацію у вигляді тризначного числа від 0 до 255.

Основні технічні характеристики:

- діапазон вимірювань: 380 – 780 нм;
- живлення: 6 В (2 батареї CR2032);
- струм навантаження: не більше 50 мА;
- RS 232 інтерфейс;
- маса: 0,2 кг;
- габаритні розміри: 120 × 45 × 45 мм.

До складу портативного пристрою входять наступні елементи:

- керуючий модуль;
- модуль датчика кольору;
- модуль перетворювача *USB to UART*;
- РК-дисплей;
- корпус.

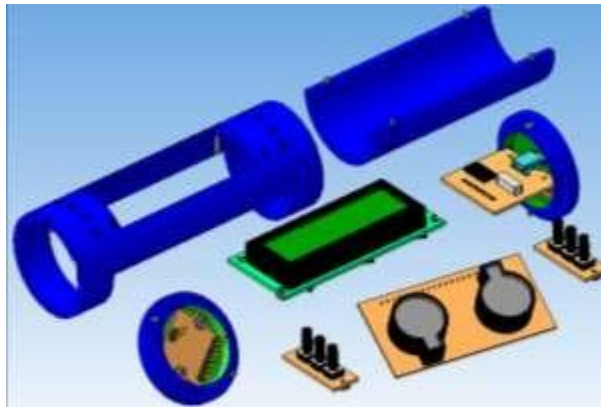


Рисунок 2.4 - Елементи цифрового портативного пристрою експрес-контролю кольору

Сфери застосування цифрового портативного пристрою експрес-контролю кольору досить різноманітні:

- контроль якості зернових культур;
- текстильна промисловість;
- промислова автоматика;
- медицина;
- кримінальна служба МВС;
- експертно-криміналістичне управління МВС;
- автосервіс;
- калібрування моніторів.

На наступному етапі досліджень необхідно оцінити точність визначення кольору зерна колориметричним методом із застосуванням розглянутого приладу.

3 АНАЛІЗ ТОЧНОСТІ КОЛОРИМЕТРИЧНОГО ЕКСПРЕС-КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ ЗЕРНОВИХ КУЛЬТУР

3.1 Вивчення факторів впливу на результат колориметричного контролю

Колориметричний контроль зернових культур є методом експрес-контролю, що виступає як пріоритетний напрямок технічного контролю. Він використовує методи перетворення фізичних величин, що контролюються, у електричні сигнали.

Експрес-контроль якісних параметрів зернових культур має деякі складнощі та недоліки, які слід враховувати при його проведенні. Переважна більшість методів експрес-контролю зернових культур базується на опосередкованих вимірюваннях параметрів якості, що не дозволяє встановити шкідливий вплив додаткових факторів, що не контролюються. Рівень цих факторів залежить від умов експерименту, а також погано піддається нормуванню [16–18,19].

Математичні моделі вимірювальних перетворень при багатопараметричному неруйнівному контролі зернових культур не враховують випадковий вплив ефектів факторної взаємодії, що веде до завищеної вірогідності помилок контролю та ускладнює планування вимірювальних експериментів [20; 21].

При колориметричному контролі зернових культур невизначеність результатів вимірювань значень показників, що контролюються, при заданих рівнях параметра контролю досить велика. Вона пов'язана з низкою факторів, що впливають на процес проведення експерименту, а саме з суб'єктивним впливом оператора, умовами проведення контролю (підвищена вологість сировини, високий рівень пилу у повітрі, запиленість поверхневого шару зерна, підвищена активність Сонця та ін.). Також потрібно враховувати сортність зерна.

Аналіз впливу невизначеності вимірювальної інформації, що отримана у процесі багатопараметричного контролю, на вірогідність помилок прийняття рішень достатньо повно розглянуто у математичних моделях, що ілюструють інформаційно-вимірювальні процедури контролю [22, 23].

Однак більшість досліджень обмежено моделями альтернативного контролю. Практично відсутні роботи, що присвячені дослідженню статистичних моделей впливу невизначених рівнів параметру, що контролюється на інформаційні властивості стохастично пов'язаної системи одиничних показників контролю, коли об'єм багатомірних спостережень суттєво обмежений.

У цілому ряді випадків дослідження недетермінованих об'єктів вплив деяких величин на вихідну величину об'єкта не можна оцінити кількісно. При цьому дослідника може цікавити питання, наскільки істотний вплив того або іншого фактору на розсіювання результатів спостережень вихідної величини. Для вивчення впливу факторів, що заважають, на вихідну величину (відгук), їхнього загального оцінювання, ранжирування й виділення серед них істотних, очевидно, непридатні всі методи відсівання кількісних факторів і методи регресійного аналізу, оскільки вони передбачають вимір рівнів досліджуваних факторів [25].

Для того щоб оцінити вплив кожного фактору на відгук і порівняти вплив різних факторів варто встановити деякий кількісний показник цього впливу. Для рішення такого роду завдань дослідники використовують різні прийоми й способи організації вибіркового даних, суть яких складається в застосуванні різних планів класифікації спостережень відповідно до можливих джерел розсіювання. Обробка таких класифікованих даних проводиться методами дисперсійного аналізу, які дозволяють розкласти загальне розсіювання на складові, обумовлені впливом рівнів, що цікавлять дослідника факторів.

Отже, необхідно оцінити достовірність статистичних висновків про інформаційну значимість показників колориметричного контролю, що

впливають на результат контролю для забезпечення максимально високої вірогідності отриманого результату[24].

Спочатку розглянемо вихідні припущення дисперсійного аналізу, що необхідно враховувати при оцінюванні факторного впливу.

Дисперсійний аналіз заснований на ряді припущень про випадкові величини й параметри, що формують помилку експерименту [25]:

- математичне очікування кожної залишкової випадкової величини дорівнює нулю, тобто систематична складова відсутня;

- залишкові випадкові величини взаємно незалежні. Ця вимога означає, що дисперсія суми всіх залишкових випадкових величин дорівнює сумі дисперсій цих величин;

- всі залишкові випадкові величини мають однакове середньоквадратичне відхилення. Це припущення про однорідність дисперсій. На жаль, це припущення виконується далеко не завжди і перш ніж проводити аналіз необхідно розглянути можливі коливання середньоквадратичного відхилення методами статистики;

- кожна залишкова випадкова величина розподілена за нормальним законом. Це припущення, як правило, не виконується, але навіть істотні відхилення від нормального закону не роблять помітного впливу на процедуру аналізу.

Основним поняттям дисперсійного аналізу є поняття фактору – якості або властивості, відповідно до якої класифікуються дані. Кожний фактор має кілька рівнів (прилад № 1, прилад № 2 , і т. д.).

Структура, або схема експерименту описується факторами, що входять у нього і способами комбінування різних рівнів різних факторів.

Якщо метою експерименту є вивчення впливу лише одного фактору, про який можна говорити, що він є основним джерелом розсіювання, то експеримент можна планувати як однофакторний. Насправді на реальний об'єкт впливає безліч факторів, що не піддаються стабілізації або важко контролюються, але які також викликають розсіювання вихідної величини. У

такому випадку варто провести процедуру рандомізації, для того, щоб зробити їхній вплив випадковим.

При багатofакторному експерименті вид моделі залежить від способу взаємодії факторів. У практиці дисперсійного аналізу розрізняють два види взаємодії факторів – ієрархічний і перехресний, або ієрархічна й перехресна класифікації. У літературі по плануванню експериментів [20, 25] можна зустріти й іншу назву – багатоступінчаста й багатобічна класифікації. При ієрархічній класифікації розрізняють фактори основної групи й фактори підгруп, причому кожний рівень одного основного фактору може бути пов'язаний з безліччю рівнів другого фактору – фактору підгрупи.

При перехресній класифікації кожні рівні одного фактору можуть сполучатися з усіма рівнями іншого фактору і упорядкування всіх взаємодій у цьому випадку, на відміну від ієрархічної класифікації, неможливо [25].

Припустимо, що Z – параметр колориметричного контролю, що треба оцінити (жовтизна зерна пшениці), а K_1, \dots, K_n – показники контролю, що визначаються у процесі вимірювань (наприклад, сорт зерна, температура, вологість, освітленість та інші). Результат спостереження значення кожного з показників контролю можна записати у вигляді математичної моделі, у якій факторами, що впливають є Z та $(n - 1)$ факторів, зумовлених мінливістю показників контролю, що залишилися. Це твердження зумовлене тим фактом, що показники, що залишилися, характеризують кількісно $(n - 1)$ фізичні властивості об'єкта контролю та відрізняються від параметру колориметричного контролю Z тим, що є можливість прямого вимірювання їх рівнів. Параметр Z прямим вимірюванням недоступний, але він також відображає одну з фізичних властивостей об'єкта контролю. Отже, результат спостереження залежить від n факторів, що впливають.

Модель при дисперсійному аналізі має такий вигляд [20]:

(Спостережуване значення) = Σ (Параметри, що описують ефекти, що визначаються) + Σ (Випадкові величини, що описують залишкові ефекти).

Для колориметричного контролю розглянемо модель впливу на результат вимірювань показника контролю K при трьох факторах, що впливають (Z та факторах, рівні яких кількісно відображені значеннями двох показників контролю, що залишилися (вологість, освітленість). Вона має вигляд [24]:

$$K_{abcq} = \bar{K} + \delta_a + \alpha_b + \beta_c + (\delta\alpha)_{ab} + (\delta\beta)_{ac} + (\alpha\beta)_{bc} + (\delta\alpha\beta)_{abc} + d_{abcq}, \quad (3.1)$$

де a, b, c, q – номери рівнів факторів, що впливають;

δ_a - відхилення результату вимірювання показника K_{abcq} - від його середнього значення \bar{K} , обумовлене впливом параметру Z ;

α_b, β_c – відхилення результату вимірювання K_{abcq} від \bar{K} , обумовлене двома факторами, що залишилися;

$(\delta\alpha)_{ab}, (\delta\beta)_{ac}, (\alpha\beta)_{bc}$ – відхилення, обумовлене парними взаємодіями усіх факторів, що впливають;

$(\delta\alpha\beta)_{abc}$ – відхилення, обумовлене взаємодією трьох факторів, що впливають;

d_{abcq} – випадковий залишок.

3.2 Оцінювання стандартних невизначеностей результатів вимірювань, отриманих за допомогою електронного колориметра

Як проаналізовано у попередньому пункті, різноманітні за фізичною природою фактори спричиняють виникнення похибок. Традиційний аналітичний підхід до визначення похибок полягає в поділі їх на складові, кожна з яких зумовлена певними факторами. У такий спосіб можна досліджувати джерела складових похибки, проводити необхідні експерименти, в тому числі допоміжні вимірювання, і, як наслідок, визначити властивості похибки та з необхідною точністю оцінити її складові. Знаючи властивості й оцінки складових, можна правильно урахувати їх при оцінці повної похибки, а також при необхідності ввести поправку в результат

вимірювання й (або) організувати вимірювальний експеримент так, щоб звести окремі складові, а з ними й повну похибку до допустимого значення. Для підвищення об'єктивності оцінки похибок вимірювань і визначення шляхів їх зменшення, з метою покращення якості вимірювань, необхідно знати джерела (причини) виникнення різних складових повної похибки вимірювань і закономірності їх змінювання.

Поява випадкових похибок зумовлена в основному дією на метрологічні характеристики засобів вимірювальної техніки (ЗВТ), великої кількості внутрішніх і зовнішніх факторів, що змінюються випадково, тобто випадкові похибки є, як правило, інструментальними. Крім того, випадкову похибку може вносити і недосвідчений оператор, який не володіє стійкими навичками відліку показів аналогових вимірювальних приладів.

У силу непередбаченості випадкова складова похибки не може бути виключена з результату вимірювання, але вона може бути зменшена при статистичній обробці багаторазових спостережень.

Окремий вид випадкових похибок складають грубі похибки. До них належать ті похибки, реальні значення яких істотно перебільшують очікувані значення, відповідні основним компонентам процесу вимірювання (застосуванням методу і засобів вимірювальної техніки, а також умовам вимірювання). Грубі похибки можуть виникати через помилки спостерігача, несправність і неправильне застосування ЗВТ, короточасні і різкі змінювання умов вимірювання, наприклад, короточасна втрата живлення в будь-якому електричному колі, збій від імпульсних завад, механічний удар та ін.

Результат вимірювання, який одержаний з надмірними похибками, називають промахом (або аномальним результатом вимірювання). Промахи настільки очевидні, що є досить помітними для досвідченого оператора на етапі попереднього аналізу результатів вимірювань. Вони повинні бути обов'язково вилучені з подальшого розгляду.

За характером змінювання від вимірювання до вимірювання розрізняють постійні і змінні систематичні похибки вимірювань.

А от параметр, що зв'язаний з результатами вимірювань, який характеризує розсіяння значень, що можуть бути обґрунтовано приписані вимірюваній величині, називають невизначеністю вимірювань [26].

Отже, невизначеність вимірювань означає сумнів відносно вірогідності результатів вимірювань. А щоб кількісно її представити, запропоновано три її види: стандартна невизначеність (типи А і В), сумарна стандартна невизначеність і розширена невизначеність.

Перш ніж переходити до оцінювання стандартних невизначеностей потрібно встановити закон розподілу випадкової величини.

У роботі [27] отримані залежності вихідної напруги зі схем каналів червоного, синього та зеленого фотодіодів електронного колориметру від яскравості світлового випромінювання, що віддзеркалювалося від зерен пшениці при наступних початкових умовах: зерна пшениці розміщувалися на горизонтальній поверхні. Для подальших досліджень використаємо отримані залежності вихідної напруги зі схем каналів червоного, синього та зеленого фотодіодів та позначимо їх U_i , $i = 1, n$, де n – число спостережень у серії. Результати спостережень вважаються незалежними й рівноточними (за умовами експерименту). У загальному випадку вони можуть містити систематичні й випадкові складові похибки вимірювань. Зазначено довірчу ймовірність $P = 0,96$ (або рівень значимості $\alpha = 0,04$) результатів вимірів. Задаємося $\Theta_\delta = \pm 0,9 \cdot \hat{\sigma}_U$ виходячи з умов проведення експерименту. За результатами багаторазових спостережень визначимо найбільш достовірне значення вимірюваної фізичної величини і його довірчі границі, та запишемо результат вимірювання [27]. —

3.2.1 Обробка результатів вимірювань по каналу червоного фотодіоду

На першому етапі обробки результатів вимірювань необхідно здійснити перевірку гіпотези про закон розподілу.

Такий алгоритм включає два незалежні критерії і використовується при перевірці гіпотези про нормальність розподілу вибірки результатів спостережень при їх кількості $10 \leq n \leq 50$. На відміну від критерію χ^2 , який є інтегральним (тобто він ґрунтується на перевірці інтегрального відхилення теоретичного й експериментального законів розподілу в усьому діапазоні результатів спостережень), складений критерій забезпечує перевірку відповідності поблизу центра розподілу (критерій I) і на краях розподілу (критерій II). Якщо хоча б один із двох критеріїв не задовольняється, то гіпотеза про нормальність розподілу результатів спостережень відкидається.

Отже, обробку здійснюють у наступній послідовності.

1. З результатів спостережень U_i виключають систематичні складові похибки, якщо можливо їх виявити. Одержують виправлені результати U_i серії спостережень.

Якщо систематичні похибки виключити не вдається, їх відносять до невиключених систематичних похибок. Робимо оцінку границь Θ_j кожної j -тої (або сумарної) невиключеної систематичної похибки, або їхніх залишків. Аналізуємо серію результатів спостережень на наявність промахів. Якщо вони є, то їх виключаємо з подальшої обробки.

Вихідні дані для розрахунків наведено у табл. 3.1.

Таблиця 3.1 - Вихідні дані з каналу червоного фотодіоду

№	U_i , мВ	№	U_i , мВ
1	149	17	151
2	149	18	150
3	150	19	150
4	150	20	149
5	149	21	150
6	148	22	149
7	150	23	150
8	150	24	150

9	149	25	149
10	150	26	148
11	149	27	150
12	150	28	148
13	149	29	150
14	150	30	150
15	230	31	149
16	150		

Результат №15 є промахом і вилучається з подальшої обробки.

2. Перевіряємо відповідність експериментального закону розподілу результатів спостережень U_i нормальному. Для цього використовують різні критерії згоди, серед яких найбільш широкое застосування знаходять складений критерій і критерій W . При виконанні роботи використовуємо складений критерій.

Складений критерій містить у собі два незалежних критерії. Їх позначають I і II. Перший із цих критеріїв (критерій I) забезпечує перевірку відповідності розподілу експериментальних даних нормальному закону розподілу, а другий критерій (критерій II) – на краях розподілу. Якщо при перевірці не задовольняється хоча б один із цих критеріїв, то гіпотеза про нормальність розподілу результатів спостережень відкидається.

а) для перевірки гіпотези про нормальність розподілу вихідної серії результатів спостережень за критерієм I обчислюють параметр (показник) d , обумовлений співвідношенням

$$d = \frac{\sum_{i=1}^n |U_i - \bar{U}|}{n\hat{\sigma}_U^*}, \quad (3.2)$$

де

$$\bar{U} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n U_i, \quad (3.3)$$

\bar{U} – середнє арифметичне результатів спостережень U_i , $i = 1, n$;

$$\hat{\sigma}_U^* = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (U_i - \bar{U})^2}, \quad (3.4)$$

$\hat{\sigma}_U^*$ – зміщена оцінка середньоквадратичного відхилення (СКВ) результатів спостережень U_i . Результати спостережень U_i вважаються розподіленими за нормальним законом, якщо виконується умова

$$d_{(1-\frac{1}{2}\alpha_1)} < d < d_{(\frac{1}{2}\alpha_1)}, \quad (3.5)$$

де $d_{(\frac{1-\frac{1}{2}\alpha_1}{2}, 1)}$, $d_{(\frac{1}{2}\alpha_1, 1)}$ – квантілі розподілу параметра d .

Їх знаходять по табл. з [26] значень α – процентних крапок розподілу параметра d по заданому обсягу вибірки n і прийнятому для критерію I рівню значимості α_1 .

Рівні значимості α_1 (для критерію I) і α_2 (для критерію II) вибираються з умови, щоб рівень значимості складеного критерію α ($\alpha = 1 - P$) при тих самих експериментальних даних не перевищував суми рівнів значимості α_1 й α_2 , тобто $\alpha \leq \alpha_1 + \alpha_2$.

Результати обчислень зводимо в табл. 3.2.

Таблиця 3.2 – Результати обчислень

№	$U_i, мВ$	$\bar{U}, мВ$	$ U_i - \bar{U} , мВ$	$(U_i - \bar{U})^2, мВ$
1	2	3	4	5
1	149	149,5	0,5	0,25
2	149		0,5	0,25
3	150		0,5	0,25
4	150		0,5	0,25
5	149		0,5	0,25
6	148		1,5	2,25
7	150		0,5	0,25

8	150		0,5	0,25
9	149		0,5	0,25
10	150		0,5	0,25
11	150		0,5	0,25
12	150		0,5	0,25
13	149		0,5	0,25
14	150		0,5	0,25
15	150		0,5	0,25
16	151		1,5	2,25
17	150		0,5	0,25
18	150		0,5	0,25
19	149		0,5	0,25
20	150		0,5	0,25
21	149		0,5	0,25
22	150		0,5	0,25
23	150		0,5	0,25
24	149		0,5	0,25
25	148		1,5	2,25

Продовження таблиці 3.2

1	2	3	4	5
26	150		0,5	0,25
27	148		1,5	2,25
28	150		0,5	0,25
29	150		0,5	0,25
30	149		0,5	0,25
			$\sum_{i=1}^n U_i - \bar{U} = 19$	$\sum_{i=1}^n (U_i - \bar{U})^2 = 15,5$

Графічне відображення процесу представлено на рисунку 3.1.

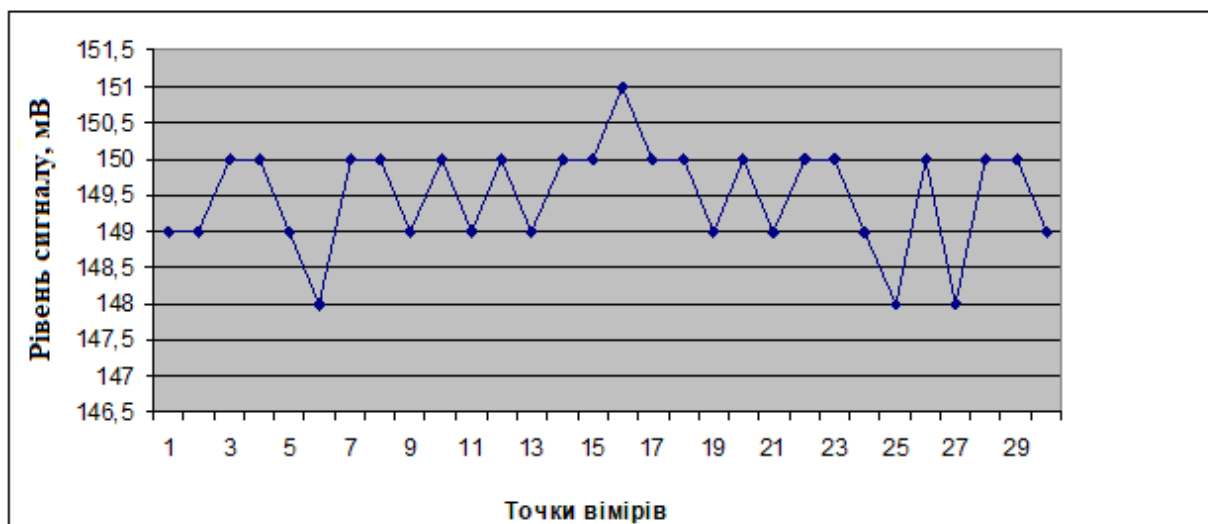


Рисунок 3.1 - Результати спостережень за зміною напруги у каналі червоного діода

Зміщена оцінка середньоквадратичного відхилення (СКВ) результатів спостережень U_i :

$$\hat{\sigma}_U^* = \sqrt{\frac{15,5}{30}} = 0,719 \text{ мВ}, \quad (3.6)$$

$$d = \frac{19}{30 \cdot 0,719} = 0,8808.$$

Оскільки за умовою рівень значимості $\alpha = 0,04$, приймаємо α_1 и α_2 рівними 0,02, що не суперечить умові $\alpha \leq \alpha_1 + \alpha_2$. Визначаємо значення $d_{(\frac{1}{2}\alpha_1)} = d_{(0,01)}$.

Оскільки в табл. [26] немає числа вимірів рівне 30, то скористаємося інтерполяцією.

X_1	X	X_2
Y_1	Y	Y_2

$$Y = \left| \frac{(X_2 - X) \cdot (Y_2 - Y_1)}{(X_2 - X_1)} - Y_2 \right|, \quad (3.7)$$

26	30	31
0,8901	Y	0,8827

$$Y = d_{(0,01)} = \left| \frac{(31 - 30) \cdot (0,8827 - 0,8901)}{(31 - 26)} - 0,8827 \right| = 0,8841.$$

Визначаємо значення $d_{(1-\frac{1}{2}\alpha_1)} = d_{(0,99)}$.

Оскільки в табл. [26] немає числа вимірів рівне 30, то скористаємося інтерполяцією.

26	30	31
0,7040	Y	0,7110

$$Y = d_{(0,99)} = \left| \frac{(31 - 30) \cdot (0,7110 - 0,7040)}{(31 - 26)} - 0,7110 \right| = 0,7096.$$

$$0,7096 < 0,8808 < 0,8841.$$

Отже, умова (3.5) виконується.

б) відповідно до критерію II результати спостережень U_i належать нормальному закону розподілу, якщо не більше m різниць $|U_i - \bar{U}|$ перевершили значення:

$$\frac{z_{1+P_2}}{2} \cdot \hat{\sigma}_U,$$

де

$$\hat{\sigma}_U = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (U_i - \bar{U})^2} \quad (3.8)$$

$\hat{\sigma}_U$ – незміщена оцінка СКВ результатів спостережень U_i ;

$\frac{z_{1+P_2}}{2}$ – верхня квантіль розподілу інтегральної функції нормованого

нормального розподілу, що відповідає довірчій ймовірності P_2 . Значення m і P_2 знаходять по числу спостережень n і рівню значимості α_2 для критерію II по табл. [26].

$$\text{Потім обчислюють } \frac{1+P_2}{2} = \Phi\left(z_{\frac{1+P_2}{2}}\right)$$

і по табл. [26] інтегральної функції нормованого нормального розподілу знаходять $z_{\frac{1+P_2}{2}}$.

Це відповідає обчисленому значенню функції $\Phi\left(z_{\frac{1+P_2}{2}}\right)$.

Після цього перевіряють виконання критерію II.

$$\hat{\sigma}_U = \sqrt{\frac{1}{30-1} \cdot 15,5} = 0,7311 \text{ мВ.}$$

Визначаємо значення P_2 . $P_2 = 0,98$, $m = 2$, отже

$$\frac{1+0,98}{2} = \Phi\left(z_{\frac{1+P_2}{2}}\right) = 0,99$$

При цьому $Z = 2,58$, тоді

$$z_{\frac{1+P_2}{2}} \cdot \hat{\sigma}_U = 2,58 \cdot 0,7311 = 1,89.$$

Жодна різниця $|U_i - \bar{U}|$ не перевищує значення 1,89. Отже друга умова виконується. Закон розподілу нормальний.

3. Проводимо перевірку грубих похибок результатів спостережень, або, по іншому, оцінку аномальності окремих результатів спостережень. Для цього:

а) формуємо впорядкований ряд результатів спостережень, розташувавши вихідні елементи в порядку зростання й виконавши їхню перенумерацію: $U_1 \leq U_2 \leq \dots \leq U_n$ (табл. 3.3)

Таблиця 3.3.- Впорядкований ряд вимірювань

№	U_i , мВ	№	U_i , мВ
1	148	17	150
2	148	18	150
3	148	19	150
4	149	20	150
5	149	21	150
6	149	22	150
7	149	23	150
8	149	24	150
9	149	25	150
10	149	26	150
11	149	27	150
12	149	28	150
13	149	29	150
14	150	30	151
15	150		
16	150		

б) для крайніх членів (результатів спостережень) упорядкованого ряду U_1 й U_n , які найбільш віддалені від центра розподілу (обумовленого як середнє арифметичне \bar{U} цього ряду) і тому з найбільшою ймовірністю можуть містити грубі похибки, знаходять модулі різниць $|U_1 - \bar{U}|$, $|U_n - \bar{U}|$ і для більшого з них обчислюють параметр

$$t_l = \frac{\max(|U_i - \bar{U}|)}{\hat{\sigma}_U}, \quad (3.9)$$

де $\max(|U_i - \bar{U}|)$ – найбільше значення $|U_i - \bar{U}|$ при $i = 1, n$;

$$t_l = \frac{\max(|U_i - \bar{U}|)}{\hat{\sigma}_U} = \frac{1,5}{0,7311} = 2,0517.$$

в) по таблиці t_T [26], входом якої є число елементів вибірки n і задана довірна ймовірність P (або рівень значимості α), знаходять теоретичне або граничне значення параметра t_T і порівнюють його з обчисленим фактичним значенням t_l .

Критерієм аномальності результату спостережень U_i є умова $t_i \square t_T$.

Тому, якщо виявиться, що $t_i \geq t_T$, то даний елемент вибірки U_i або U_n повинен бути виключений з подальшої обробки, як утримуючий грубу похибку;

г) потім по п.п. 4.а,б,в повторюють для $(n-1)$, $(n-2)$ і т.д. елементів вибірки доти, поки умова $t_i \square t_T$ не перейде в умову $t_i < t_T$.

Остаточне значення середнього арифметичного \bar{U} , отримане для ряду без аномальних (грубих) результатів спостережень, представляє найбільш достовірне значення вимірюваної величини, а значення незміщеної оцінки СКВ цього ряду спостережень використовують для обчислення довірчого інтервалу випадкової складової похибки багаторазових спостережень.

Оскільки $t_i < t_T$, тобто $2,05 < 2,7$, робимо висновок про те, що вибірка не містить грубих похибок.

4. Обчислюють незміщену оцінку СКВ результатів вимірювань відповідно до виразу:

$$\hat{\sigma}_{\bar{U}} = \frac{\hat{\sigma}_U}{\sqrt{n'}}, \quad (3.10)$$

де значення незміщеної оцінки СКВ $\hat{\sigma}_{\bar{U}}$ результатів спостережень U_i , що розраховано для об'єму вибірки n' , яка не містить аномальних (грубих) результатів спостережень ($n' \leq n$).

$$\hat{\sigma}_{\bar{U}} = \frac{0,7311}{\sqrt{30}} = 0,133 \text{ мВ.}$$

5. Визначають довірчі границі випадкової складової похибки вимірів з багаторазовими спостереженнями залежно від числа спостережень n у вибірці, що не містить аномальних результатів, границі довірчого інтервалу обчислюють по одній з наступних формул:

– при $n > 30$ по формулі

$$\Delta_{\bar{x}_0} = \pm z \hat{\sigma}_x, \quad (3.11)$$

де z знаходять по таблиці [26] інтегральної функції нормованого нормального розподілу відповідно до заданої довірчої ймовірності P ;

– при $n \leq 30$ по формулі

$$\Delta_{\bar{x}_0} = \pm t_s \hat{\sigma}_{\bar{x}}, \quad (3.12)$$

де t_s – коефіцієнт Стюдента, обумовлений на підставі розподілу Стюдента по заданій довірчій ймовірності P або рівню значимості α і числу ступенів свободи $K_s = n - 1$.

Значення коефіцієнту Стюдента знаходимо методом інтерполяції:

0,95	0,96	0,98
2,045	Y	2,462

$$Y = t_s = \left| \frac{(0,98 - 0,96) \cdot (2,462 - 2,045)}{(0,98 - 0,95)} - 2,462 \right| = 2,184$$

$$\Delta_{\bar{v}_0} = \pm t_s \hat{\sigma}_{\bar{v}} = 2,184 \cdot 0,133 = 0,29 \text{ мВ.}$$

6. Визначають довірчі границі Θ_0 сумарної невиключеної систематичної складової похибки результатів вимірювань з багаторазовими спостереженнями.

$$\Theta_0 = 0,9 \cdot 0,133 = 0,1197 \text{ мВ.}$$

7. Визначають довірчі границі Δ_0 сумарної (повної) похибки вимірювань з багаторазовими спостереженнями.

Обчислення Δ_0 засноване на співвідношенні між СКВ, випадковою складовою і довірчими границями Θ_0 невиключеної систематичної складової похибки вимірювань з багаторазовими спостереженнями. При цьому можливі три випадки:

а) $\Theta_0 / \hat{\sigma}_{\bar{x}} < 0,8$

систематичною складовою похибки нехтують і приймають $\Delta_0 = \Delta_{\bar{x}_0}$

б) $\Theta_0 / \hat{\sigma}_{\bar{x}} > 8$

зневажають випадковою складовою похибки і приймають $\Delta_{\theta} = \Theta_{\theta}$

$$в) \quad 0,8 \leq \Theta_{\theta} / \hat{\sigma}_{\bar{x}} \leq 8$$

довірчі границі сумарної похибки вимірювань з багаторазовими спостереженнями визначають по формулі:

$$\Delta_{\theta} = \pm \frac{\Theta_{\theta} + \Delta_{\bar{x}_{\theta}}}{\hat{\sigma}_{\bar{x}} + (\Theta_{\theta} / \sqrt{3})} \cdot \sqrt{\sigma_{\bar{x}}^2 + \left(\frac{\Theta_{\theta}}{\sqrt{3}}\right)^2} \quad (3.13)$$

У формулі (3.13) використане рекомендоване ДСТУ припущення про те, що, якщо закон розподілу невиключеної систематичної похибки вимірювань невідомий, то він приймається рівномірним. Звідси СКВ невиключеної систематичної похибки дорівнює:

$$\sigma_{\Theta} = \frac{\Theta_{\theta}}{\sqrt{3}}.$$

Отже, маємо справу із третім випадком(в), тобто:

$$\Delta_{\theta} = \pm \frac{0,1197 + 0,29}{0,133 + (0,1197/\sqrt{3})} \cdot \sqrt{0,133^2 + \left(\frac{0,1197}{\sqrt{3}}\right)^2} = \pm 0,304 \text{ мВ.}$$

8. Записують результат вимірювань з багаторазовими спостереженнями. Його представляють у вигляді:

$$X = \bar{X} \pm \Delta_{\theta}; P = \dots$$

$$U = (149,5 \pm 0,3) \text{ мВ}; P = 0,96$$

Аналогічні розрахунки проводимо для вихідних даних з каналу синього фотодіоду та з каналу зеленого фотодіоду і отримаємо наступні результати відповідно:

$$U = (91,8 \pm 0,3) \text{ мВ}; P = 0,96; \quad U = (97,1 \pm 0,4) \text{ мВ}; P = 0,96.$$

3.2.2 Оцінювання стандартної невизначеності за типом А

Оскільки при проведенні вимірювань з багаторазовими спостереженнями за залежністю вихідної напруги зі схем каналів червоного, синього та зеленого фотодіодів електронного колориметру від яскравості світлового випромінювання одержано ряди результатів повторних спостережень, то при цьому за результат вимірювання приймають середнє

арифметичне x_i . Тоді стандартна невизначеність типу А може бути розрахована як статистична оцінка стандартного відхилення середнього арифметичного.

Стандартна невизначеність вимірювань типу А вхідної величини x_i розраховується за формулою:

$$u_A(\bar{x}_i) = \sqrt{\frac{\sum_{q=1}^{n_i} (x_{iq} - \bar{x}_i)^2}{n_i(n_i - 1)}}, \quad (3.14)$$

де n_i – кількість спостережень проведених при вимірюванні x_i .

Стандартна невизначеність вимірювань типу А вихідної величини – напруги зі схеми каналу червоного діоду розраховується за формулою (3.14):

$$u_A(\bar{U}_i)_{red} = \sqrt{\frac{15,5}{30 \cdot (30 - 1)}} = 0,133, \text{ мВ.}$$

Стандартна невизначеність вимірювань типу А вихідної величини – напруги зі схеми каналу синього діоду розраховується за формулою (3.14):

$$u_A(\bar{U}_i)_{blue} = \sqrt{\frac{18,8}{30 \cdot (30 - 1)}} = 0,147, \text{ мВ.}$$

Стандартна невизначеність вимірювань типу А вихідної величини – напруги зі схеми каналу зеленого діоду розраховується за формулою (3.14):

$$u_A(\bar{U}_i)_{green} = \sqrt{\frac{26,7}{30 \cdot (30 - 1)}} = 0,03, \text{ мВ.}$$

3.2.3 Оцінювання стандартної невизначеності за типом В

Оцінювання стандартної невизначеності за типом В зводиться до застосування апріорного закону розподілу. Наприклад, для результату вимірювання, який описується нормальним розподілом, стандартна невизначеність типу В оцінюється за формулою

$$u_B(x) = \frac{b-a}{6}, \quad (3.15)$$

де a і b – ліва та права границі розподілу відповідно.

Отже, розрахунок стандартної невизначеності за типом В можливий в разі наявності певної інформації про величину, для якої здійснюється оцінювання. Такою інформацією є знання виду закону розподілу та його границь. Ці знання ми можемо отримати із певних джерел, а саме: з даних попередніх вимірювань; з документації виробника на прилади та матеріали, що застосовуються протягом вимірювань та ін..

Частіше розглядають такі випадки, коли відомі границі розподілу, а інформація про розподіл величини в межах границь відсутня. У таких випадках при розрахунку стандартної невизначеності користуються формулою для рівномірного розподілу, яка має наступний вигляд:

$$u_B(x) = \frac{b-a}{2\sqrt{3}}. \quad (3.16)$$

Рівень сигналу вихідної напруги зі схеми каналу червоного діода змінюється у діапазоні від 148 мВ до 151 мВ, отже стандартна невизначеність (тип В) результатів вимірювання дорівнює:

$$u_B(U)_{red} = \frac{151-148}{6} = 0,5 \text{ мВ.}$$

Рівень сигналу вихідної напруги зі схеми каналу синього діода змінюється у діапазоні від 90 мВ до 93 мВ, отже стандартна невизначеність (тип В) результатів вимірювання дорівнює:

$$u_B(U)_{blue} = \frac{93-90}{6} = 0,5 \text{ мВ.}$$

Рівень сигналу вихідної напруги зі схеми каналу зеленого діода змінюється у діапазоні від 95 мВ до 99 мВ, отже стандартна невизначеність (тип В) результатів вимірювання дорівнює:

$$u_B(U)_{green} = \frac{99-95}{6} = 0,667 \text{ мВ.}$$

3.2.4 Оцінювання сумарної стандартної невизначеності

Сумарна стандартна невизначеність вихідної величини у матиме такий вигляд:

$$u_c(y) = \sqrt{\sum_{i=1}^m u_i^2(y)}. \quad (3.17)$$

В результаті розрахунку по кожному з вимірювальних каналів одержуємо такі значення:

- по каналу червоного діода

$$u_c(U)_{red} = \sqrt{(u_A(\bar{U})_{red})^2 + (u_B(U)_{red})^2} = \sqrt{0,133^2 + 0,5^2} = 0,383 \text{ мВ},$$

- по каналу синього діода

$$u_c(U)_{blue} = \sqrt{(u_A(\bar{U})_{blue})^2 + (u_B(U)_{blue})^2} = \sqrt{0,147^2 + 0,5^2} = 0,521 \text{ мВ},$$

- по каналу зеленого діода

$$u_c(U)_{green} = \sqrt{(u_A(\bar{U})_{green})^2 + (u_B(U)_{green})^2} = \sqrt{0,03^2 + 0,667^2} = 0,475 \text{ мВ}.$$

ВИСНОВКИ

У даній магістерській роботі було проведено аналіз показників якості пшениці в світлі прийняття нового стандарту ДСТУ 3768:2019 «Пшениця. Технічні умови», метою якого є оптимізація та удосконалення нормативної бази у сферах виробництва, заготівлі, зберігання, переробки, торгівлі та визначення якості зерна пшениці м'якої та твердої на продовольчі і непродовольчі потреби відповідно до структури її вирощування в Україні.

Встановлено, що одним із важливих показників якості зерна є колір. Зерно зі зміненим кольором вирізняється іншим хімічним складом і деформованою структурою, що знижує якість усієї партії. Зерно кожної культури (роду), виду, різновиду, а частіше і сорту має властивий йому колір. Колір і зовнішній вигляд зерна можуть змінюватися при несприятливих умовах вирощування і порушеннях в технології обробки чи зберігання. Сортність (класність) зерна визначає жовтизна зерна пшениці. Також було проаналізовано методи визначення показників якості зерна, зокрема жовтизни. Проведений аналіз показав, що сучасні пристрої контролю жовтизни працюють за двома принципами: візуальному і фотоелектричному. Візуальні колориметри простоті, але похибки порівняння кольорів із зразком залежать від особливостей зору оператора. Для фотометричних вимірювань використовують дві великі групи приладів: фотоколориметри і спектрофотометри. Фотоелектричні колориметри працюють з високою точністю і не залежать від об'єктивного сприйняття людини.

Тому і постала задача проведення аналізу точності колориметричного експрес-контролю якості зернових культур. Для аналізу засобу з проведення контролю був обраний колориметр з трьома каналами діодів різного кольору, які при накладанні двох не дають третього кольору.

На першому етапі проведення аналізу точності колориметричного експрес-контролю якості зернових культур було розглянуто модель впливу на результат вимірювань показника контролю K при трьох факторах, що

впливають (Z та факторах, рівні яких кількісно відображені значеннями двох показників контролю, що залишилися (вологість, освітленість).

У такий спосіб можна досліджувати джерела складових похибки, проводити необхідні експерименти, в тому числі допоміжні вимірювання, і, як наслідок, визначити властивості похибки та з необхідною точністю оцінити її складові.

На підставі даних, отриманих з опублікованих результатів натурних вимірювань вихідної напруги зі схем каналів червоного, синього та зеленого фотодіодів електронного колориметру від яскравості світлового випромінювання були проведені розрахунки стандартних невизначеностей по типам А та В, а також сумарної стандартної невизначеності.

Отримані значення сумарної стандартної невизначеності по кожному з каналів вимірювання не перевищує 1 мВ, що свідчить про достатньо високу достовірність отриманих результатів вимірювань кольору досліджуваних середовищ розглянутим колориметричним засобом для експрес-контролю жовтизни пшениці.

та представлено характеристику супутнього газу як складної суміші, яка відрізняється за складом від природного: у ньому містить менше метану (30-59% за об'ємом), але більше етану, пропану, бутану, пентану (7-20% за об'ємом) і вищих вуглеводнів, ніж у природному газі. Супутній нафтовий газ (далі – СНГ) є цінним вуглеводневим компонентом, що виділяється з нафти у процесі видобування, транспортування і переробки.

До недавнього часу супутній газ в переважній більшості випадків просто спалювався на факелах, що завдавало значної шкоди навколишньому середовищу і призводило до значних втрат цінної вуглеводневої сировини.

Зараз до основних напрямів утилізації СНГ можна віднести поставку газу на газопереробні заводи для глибокої хімічної переробки, поставку газу в магістральну газотранспортну систему, а також використання для

вироблення електроенергії. Таким чином, на сьогоднішній день облік СНГ є важливою задачею для всіх підприємств нафтогазового комплексу.

Далі у роботі у результаті проведених теоретичних досліджень був проведений аналіз можливості застосування витратомірів різних принципів вимірювання для обліку СНГ на етапі промислового обліку. За результатами аналізу систематизовано матеріал щодо можливості застосування різного обладнання для обліку СНГ, виявлено основні переваги та недоліки досліджених приладів обліку та запропонований узагальнюючий результат аналізу у вигляді зведеного експлуатаційного ряду.

На другому етапі досліджень було перевірено можливість застосування методики звіряння і перевірено результати вимірювань з метою доведення ефективності застосування даної методики при виборі оптимального витратоміра для обліку СНГ.

Також у роботі було досліджено можливість проведення обліку СНГ без попередньої сепарації, для чого було досліджено процес вимірювання продукції свердловини за одержаними даними окремих результатів вимірювання витрати газової і рідкої складових добутої суміші.

Шляхом комплексного аналізу даних і проведеної оцінки похибки методу послідовного ввімкнення витратомірів у вимірювальний трубопровід було встановлено, що запропонований метод може розглядатися як окремий незалежний метод вимірювання кількості СНГ, або як оціночний метод для порівняльного аналізу традиційно одержаних результатів вимірювань витрати СНГ.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ НА ДЖЕРЕЛА

1. ДСТУ 3768:2019. Пшениця. Технічні умови. URL:
http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=82765.
2. <https://institut-zerna.com/>
3. В.І. Дробот. Технологія хлібопекарського виробництва. - К.: Логос, 2002. - С. 72.- 365 с.
4. ДСТУ ISO 3093:2019. Пшениця, жито та борошно з них, пшениця тверда й манні крупи з твердої пшениці. Визначення числа падіння методом Хагберга-Пертена (Hagberg-Perten) (ISO 3093:2009, IDT).
5. Варга Є.Б., Кононенко М.А. Аналіз розвитку фотоколориметрів для контролю якості зерна пшениці //Управління якістю в освіті та промисловості: досвід, проблеми та перспективи: тези доповідей VI Міжнародної науково-практичної конференції, 16–17 листопада 2023 року, м. Львів. С.239.
6. Хорошайло Ю.Е., Сезонова И.К., Ефименко С.А. Оптоелектронний експрес-контроль якості зерна. Міжнародний науковий журнал «Інтернаука». 2018. № 21 (61). Т. 3. С. 82–87.
7. Показники якості зерна. URL: <http://www.tsatu.edu.ua/rosl/wp-content/uploads/sites/20/pr.1.pokaznyky-jakosti-standartyzacija-i-sertyfikacija-zerna.pdf>.
8. Хорошайло Ю.Е., Сезонова И.К., Ефименко С.А. Электронная колориметрия: монография. Харків: ТОВ «Оберіг», 2020. 176 с.
9. Колориметр. Види і застосування. Як вибрати і особливості. URL: <https://tehpribory.ru/glavnaia/pribory/kolorimetr.html>
10. Вимірювальні прилади. Колориметри. URL.:
<https://www.pce-instruments.com>
11. Артюшина Л.Ф. Колір у науці і техніці. Пер. с англ. М: Мир, 1978. - 592 с.

12. Кривошесєв М.І., Кустарьов А.К. Світлові вимірювання у телебаченні. Київ, 1990. 224 с.

13. ДСТУ EN ISO 11664-1:2018 Колориметрія. Часть 1. Колориметричні спостерігачі, стандартизовані МКО (EN ISO 11664- 1:2011, IDT; ISO 11664-1:2007, IDT). Вид. офіц. Уведено вперше; чинний від 2018–10–01. Київ: Держаспоживстандарт України, 2010. 18 с. (Національний стандарт України).

14. Horoshaylo Y.E., Yarmak I.N., Efimenko S.A. The device for measuring colour. Вісник НТУ «ХП». Серія: Електроенергетика та перетворювальна техніка. 2018. № 8 (1284). С. 14–17.

15. Пат. u2017 09934 Україна, МПК G01J 3/46 Цифровий портативний пристрій вимірювання кольору / Хорошайло Ю.Є, Семенов С.Г, Лимаренко В.В., Єфименко С.А., Мєняйло О.Д.; заявник і патентовласник Харківський національний університет радіоелектроніки. № 123485; заявлено 13.10.2017; опубл. 26.02.2018, Бюл. № 4 (2018).

16. ДСТУ ISO 712:2007 Зерно і зернопродукти. Визначання вологості (робочий контрольний метод). Вид. офіц. Уведено вперше; чинний від 2007–09–08. Київ: Держаспоживстандарт України, 2007. 28 с. (Національний стандарт України).

17. ДСТУ 2422-94. Зерно заготівельне і постачальне. Терміни та визначення. Вид. офіц. Уведено вперше; чинний від 1995–01–01. Київ: Держаспоживстандарт України, 1995. 26 с. (Національний стандарт України).

18. ДСТУ 4117:2007. Зерно та продукти його переробки. Визначення показників якості методом інфрачервоної спектроскопії. Вид. офіц. Уведено вперше; чинний від 2007-08-01. Київ: Держаспоживстандарт України, 2007. 3с. (Національний стандарт України).

19. 125. Y. Khoroshaylo, S. Efimenko, A. Menyaylo. Estimation of the influence of disturbance on the metrological characteristics of the electronic colorimeter VI Международная научно-техническая конференция «Метрология, информационно-измерительные технологии и системы»

МІИТС-2017. Харків, 2017. С. 142–143.

20. Володарський Є.Т., Малиновський Б.Н., Туз Ю.М. Планування і організація вимірювального експерименту. Київ: Вища школа, 1987. 280 с.

21. Малайчук В.П., Мозговой А.В. Обробка інформації у засобах і системах неруйнівного контролю. Дніпропетровськ: Вид-во ДГУ, 1992. 168 с.

22. Малайчук В.П., Мозговой О.В., Петренко О.М. Інформаційно-вимірювальні технології неруйнівного контролю: навчальний посібник. Дніпропетровськ: РВВ ДНУ, 2001. 240 с.

23. Маєвський С.М., Бабак В.П., Щербак Л.П. Основи побудови систем аналізу сигналів у неруйнівному контролі. Київ: Либідь, 1993. 200 с.

24. Єфименко С.А. Аналіз впливу невизначеності результатів вимірювань на достовірність колориметричного контролю. Метрологія та прилади. Харків, 2020. № 6.(86) С. 52–58.

25. Давиденко А.П. Организация и планирование научных экспериментов, патентоведение: учеб. пособие. Харків: НТУ «ХПИ», 2004. 320 с.

26. Чинков В.М. Основи метрології та вимірювальної техніки: навч. посіб. 2-е вид., перероб. і доп. Харків: НТУ «ХПИ», 2005. 524 с.

27. Y. Horoshajlo, G. Suchkov, S. Efimenko V. Lymarenko. Estimation of standard determinations of the results of vimiryuvan different by additional electronic colorimeter *29-th International scientific symposium «Metrology and metrology assurance 2019» Proceedings of the symposium September 6-10, 2019, Sozopol, Bulgaria. Sozopol, 2019. P. 78-82.*