

Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет Автоматики і комп'ютеризованих технологій
Кафедра Проектування та експлуатація електронних апаратів
Рівень вищої освіти другий (магістерський)
Спеціальність 172 – «Телекомунікації та радіотехніка
(код і повна назва)
Тип програми освітньо-професійна
(освітньо-професійна або освітньо-наукова)
Освітня програма Радіоелектронні апарати та засоби
(повна назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедри _____
(підпис)
« _____ » 20 ____ р.

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

здобувачу Бабіну Ростиславу Романовичу
(прізвище, ім'я, по-батькові)

1. Тема роботи «Метрологічні аспекти колориметричного методу»

Затверджена наказом університету від 14 . 11 . 20 22 р. № 1475Ст

2. Термін подання здобувачем роботи до екзаменаційної комісії 02.12.2022 р.

3. Вихідні дані до роботи Цифрові колориметри, ЕОМ типу ПК

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, що потрібно опрацювати в роботі)

4.1 Вступ; 4.2 Метрологічні аспекти колориметричного методу; 4.3 Аналіз існуючих варіанті побудови цифрових пристроїв для вирішення задач оптичного контролю та їх вдосконалення

4.3.1 Цифрові колориметри для вимірювання кольору; 4.3.2 Електронний колориметр з вбудованим АЦП; 4.3.3 Цифрові пристрої для вимірювання проникності оптичних середови

4.4 Дослідження можливостей застосування засобів спектроскопії для вимірювання кольорів об'єктів; 4.4.1 Вихідні припущення дисперсійного аналізу, що необхідно враховувати при побудові моделі факторного впливу; 4.4.2 Розробка моделі впливу при колориметричному контролі; 4.4.3 Розробка спрощеної моделі впливу при обмеженнях на об'єм вимірювань; 4.4.4 Аналіз властивостей спрощеної моделі впливу на показник колориметричного контрол

4.4.5 Перевірка статистичних висновків при використанні спрощеної моделі факторного впливу на лінійну функцію перетворення цих показників; 4.4.6 Застосування коваріаційного аналізу для визначення факторного впливу на функціональне перетворення параметра контролю при колориметричному дослідженні; 4.4.7 Оцінювання інформативності показників при колориметричному контролі з використанням моделей дискримінантного аналізу;

4.5 Охорона праці; 4.5.1 Аналіз умов праці; 4.5.2 Забезпечення виробничої санітарії за умов виробництва; 4.5.3 Безпека у надзвичайних ситуаціях у приміщенні наукової лабораторії;

4.6 Висновки; 4.7 Перелік джерел посилання; 4.8 Додаток А. Презентація

5. Перелік графічного матеріалу із зазначенням креслеників, схем, плакатів, комп'ютерних ілюстрацій (п.5 включається до завдання за рішенням випускової кафедри) Слайди презентації, що наведені в додатках, а також записані окремо на CD-диск.

6. Консультанти розділів роботи (п.6 включається до завдання за наявності консультантів згідно з наказом, зазначеним у п.1)

Найменування розділу	Консультант (посада, прізвище, ім'я, по-батькові)	Позначка консультанта про виконання розділу	
		підпис	дата

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів роботи	Терміни виконання етапів роботи	Примітка
1	Отримання завдання		
2	Аналіз завдання		
3	Огляд літератури з теми дослідження		
4	Проведення експериментів		
5	Розрахунки		
6	Оформлення пояснювальної записки		
7	Подання атестаційної роботи в ЕК		

Дата видачі завдання 01 вересня 20 22 р.

Студент

(підпис)

Бабін Р.Р.

(прізвище, ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Хорошайло Ю.Є.

(посада, прізвище, ініціали)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка має: 80 сторінок друкованого тексту, 12 рисунків, 13 таблиць, 16 використаних джерел інформації, 1 додаток

КОЛОРИМЕТРІЯ, СПЕКТРОСКОПІЯ, ЕКСПРЕС-КОНТРОЛЬ,
ЦИФРОВІ ПРИСТРОЇ, СВІТЛОФІЛЬТРИ, ПОРІВНЯННЯ

Мета дослідження – удосконалення методів і створення технічного засобу для колориметричного експрес-контролю якості матеріалів та виробів, підвищення точності та вірогідності отриманих результатів за рахунок використання методів статистичного аналізу результатів вимірювань.

Обґрунтування вибору теми дослідження. У сучасній промисловості колориметрія має цілу низку переваг перед іншими методами, наприклад перед ваговим аналізом.

Представлена атестаційна робота відповідає ДСТУ 3008:2015 – Звіти у сфері науки і техніки. Структура та правила оформлювання.[1]

ABSTRACT

The explanatory note has: 80 pages of printed text, 12 figures, 13 tables, 16 sources of information used, 1 appendices

COLORIMETRY, SPECTROSCOPY, EXPRESS CONTROL, DIGITAL DEVICES, LIGHT FILTERS, COMPARISON

The purpose of the research is to improve the methods and create a technical tool for colorimetric express quality control of materials and products, increase the accuracy and reliability of the results obtained through the use of methods of statistical analysis of measurement results.

Justification of the choice of research topic. In modern industry, colorimetry has a number of advantages over other methods, such as weight analysis.

The presented attestation work complies with DSTU 3008:2015 – Reports in the field of science and technology. Structure and design rules.

ЗМІСТ

Перелік скорочень, умовних познач, одиниць і термінів	8
Вступ.....	11
1 Метрологічні аспекти колориметричного методу	12
2 Аналіз існуючих варіантів побудови цифрових пристроїв для вирішення задач оптичного контролю та їх вдосконалення	19
2.1 Цифрові колориметри для вимірювання кольору	19
2.2 Електронний колориметр з вбудованим АЦП	24
2.3 Цифрові пристрої для вимірювання проникності оптичних середовищ.....	30
3 Дослідження можливостей застосування засобів спектроскопії для вимірювання кольорів об'єктів.....	41
3.1 Вихідні припущення дисперсійного аналізу, що необхідно враховувати при побудові моделі факторного впливу.....	41
3.2 Розробка моделі впливу при колориметричному контролі	42
3.3 Розробка спрощеної моделі впливу при обмеженнях на об'єм вимірювань.....	44
3.4 Аналіз властивостей спрощеної моделі впливу на показник колориметричного контролю	49
3.5 Перевірка статистичних висновків при використанні спрощеної моделі факторного впливу на лінійну функцію перетворення цих показників	52
3.6 Застосування коваріаційного аналізу для визначення факторного впливу на функціональне перетворення параметра контролю при колориметричному дослідженні.....	57
3.7 Оцінювання інформативності показників при колориметричному контролі з використанням моделей дискримінантного аналізу	63
4 Охорона праці.....	70
4.1 Аналіз умов праці.....	70

4.2 Забезпечення виробничої санітарії за умов виробництва.....	71
4.3 Безпека у надзвичайних ситуаціях у приміщенні наукової лабораторії	74
Висновки	76
Перелік джерел посилання	77
Додаток А. Презентація	79

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ, УМОВНИХ ПОЗНАК, ОДИНИЦЬ І ТЕРМІНІВ

Джерело типу А – джерело, відносний спектральний розподіл енергії якого у видимій області спектра відповідає випромінюванню абсолютно чорного тіла за температури 2856 К (ГОСТ 7721–89).

А – колір.

Джерело типу В – джерело, відносне спектральне розподілення енергії якого у видимій області спектра відповідає випромінюванню абсолютно чорного тіла при температурі 4874 К. Відтворює умови прямого сонячного освітлення (ГОСТ 7721-89).

c – швидкість світла ($3 \cdot 10^8$ м / с).

Джерело типу С – джерело, відносний спектральний розподіл енергії якого у видимій області спектра відповідає випромінюванню абсолютно чорного тіла за температури 6774 К. Відтворює умови освітлення розсіяним денним світлом (ГОСТ 7721–89).

CRI – повний індекс кольору.

CRI_i – визначений індекс кольору.

d – відстань від точки, що характеризує досліджуване джерело випромінювання, до найближчої ізотермічної лінії на колірній діаграмі стандарту МКО 1976 р.

Джерело типу D65 – джерело, відносний спектральний розподіл енергії якого у видимій області спектру відповідає випромінюванню абсолютно чорного тіла при температурі 6504 К. Відтворює умови освітлення усередненим денним світлом (ГОСТ 7721-89).

E – освітленість.

E – колір білої поверхні, що освітлена джерелом типу E .

Джерело типу E – джерело, спектральна щільність випромінювання якого у видимій області спектра стала.

$f_B(Q)$ – розподіл носіїв у дозволених зонах невідродженого напівпровідника.

h – стала Планка ($h = 6,6262 \cdot 10^{-34}$ Дж · с).

h_v – енергія кванта випромінювання.

I – сила випромінювання (сила світла).

K – ваговий коефіцієнт.

K_m – максимальна спектральна світлова ефективність випромінювання за умови, що $\lambda = 0,555$ мкм ($K_m = 683$ лм / Вт).

k – стала Больцмана ($k = 1,38067 \cdot 10^{-23}$ Дж / К).

k_c – множник.

k_v – квазіхвильовий вектор.

L – яскравість.

M – святість (світлість).

$M(\lambda)$ – спектральний розподіл світності джерела випромінювання.

m_e^* – ефективна маса електрона.

m_h^* – ефективна маса дірки.

m_r^* – наведена маса.

$\bar{n}_{air}$ – показник заломлення повітря.

$\bar{n}_s$ – показник заломлення напівпровідника.

$R_\lambda(\lambda)$ – розподіл спектральної густини випромінювання джерела за довжиною хвилі.

$R_{\lambda \max}$ – максимум розподілу спектральної густини випромінювання джерела.

Q – енергія.

Q_C – енергія екстремуму зони провідності.

Q_E – енергія електрона у зоні провідності.

Q_g – ширина забороненої зони.

Q_H – енергія дірок у валентній зоні.

Q_V – енергія екстремуму валентної зони.

RGB – триколірна система вимірювання кольору через три основні кольори $\vec{R}$, $\vec{G}$ та $\vec{B}$.

$R_i(\lambda)$ – спектральний розподіл відбивної здатності i -тої поверхні.

r – радіус.

$\bar{r}_0(\lambda)$, $\bar{g}_0(\lambda)$, $\bar{b}_0(\lambda)$ – фізіологічні криві додавання кольорів.

(r, f) – координати кольорів у колірному просторі Lu^*v^* , що характеризують адаптивний колірний зсув координат (u^*, v^*) при використанні досліджуваного джерела освітлення.

T – температура у градусах Кельвіна.

t – тангенс нахилу ізотермічної лінії.

T_c – колірна температура джерела випромінювання.

T_c' – корельована колірна температура джерела випромінювання.

t_s – час.

u', v' – координати кольоровостей на колірній діаграмі МКО 1976 р.

$V(\lambda)$ – відносна крива видимості ока (відносна спектральна світлова ефективність монохроматичного випромінювання).

x, y – координати кольоровостей на колірній діаграмі МКО 1931 р.

$\bar{x}, \bar{y}, \bar{z}$ – координати кольору колірного простору XYZ.

$\bar{x}(\lambda), \bar{y}(\lambda), \bar{z}(\lambda)$ – криві складання кольорів у XYZ системі вимірювання кольору.

$\bar{x}_w(\lambda), \bar{y}_w(\lambda), \bar{z}_w(\lambda)$ – координати кольору джерела білого світла у колірному просторі XYZ.

XYZ – триколірна система вимірювання кольору через три основні кольори $\bar{X}, \bar{Y}$ та $\bar{Z}$.

φ_c – критичний кут повного внутрішнього відбиття.

λ – довжина хвилі.

λ_{begin} – довжина хвилі «початку» спектрального розподілу.

λ_{dom} – домінуюча довжина хвилі.

λ_{end} – довжина хвилі «закінчення» спектрального розподілу.

λ_{max} – довжина хвилі максимуму спектрального розподілу.

$\rho(Q)$ – комбінована густина енергетичних станів залежно від енергії.

ВСТУП

Колориметрія (від лат. Color – колір і грец. Metreo – вимірюю) – це розділ метрології, в якому вивчаються методи вимірювання і кількісного вираження кольору[2].

Колориметричні визначення виконуються набагато швидше. Якщо у ваговому аналізі хімічна реакція є тільки початком визначення, за яким йде ряд тривалих операцій, то у колориметрії після хімічної реакції відразу проводять порівняння забарвлень.

Отже колориметричний метод належить до методів експрес-контролю, який є пріоритетним видом технічного контролю, який використовує швидкодіючі методи перетворення фізичних величин, що контролюються у електричні сигнали, особливо, якщо ці величини відображують складні комплексні властивості об'єкта технічного контролю, промислових вимірювань, технічної діагностики[3; 4].

Вирішення проблеми зменшення ймовірностей помилок контролю як першого, так і другого роду може бути досягнуто за рахунок ускладнення інформаційно-вимірювальних перетворень із урахуванням імовірнісних властивостей використовуваних вимірювальних сигналів, які здатні підвищити вірогідність контролю[4].

При створенні математичної моделі вимірювальних перетворень при колориметричному контролі матеріалів та виробів треба враховувати випадковий вплив ефектів факторної взаємодії, щоб не отримувати завищені ймовірності помилок контролю й не ускладнювати планування вимірювальних процедур.

Робота присвячена вдосконаленню методів параметричного контролю якості матеріалів та виробів за рахунок зниження випадкового факторного впливу при визначенні результату вимірювання одиничного показника колориметричного контролю, що є важливим науковим і практичним завданням.

1 МЕТРОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ КОЛОРИМЕТРИЧНОГО МЕТОДУ

Оскільки відчуття кольору цілком визначається складом світла тільки при дотриманні відомих стандартних умов спостереження, то для отримання порівняних між собою результатів необхідно фіксувати ці умови, усуваючи всі фактори, що можуть спотворити вимірювання.

Таких побічних впливів на виміри можна нарахувати чимало, хоча далеко не всі вони можуть спричинити великі помилки. У багатьох випадках, коли вимірювання не повинні бути дуже точними (технічні вимірювання), можна знехтувати одними з умов стандартного спостереження, а інші дотримуватися не такої суворості, як у вимірюваннях, що мають наукове значення.

Найбільш важливими факторами, що можуть вплинути на результати вимірювань, є наступні: розмір полів, що порівнюються, колір фону, на якому знаходяться ці поля; стан адаптації ока.

Крім того, коли вимірювальні еталони або предмети, що піддаються вимірюванню, не випромінюють власного світла, велике значення мають: спектральний склад світла, при якому виробляються вимірювання; кут, під яким освітлені поля, що порівнюються, і кут, під яким розглядаються ці поля. Цим обмежуються основні моменти, які треба брати до уваги при виробництві колірних вимірювань.

Всі інші перешкоди, які можуть зустрітися, не вносять суттєвих спотворень у результати виміру.

Вимога дотримання розмірів поля впливає із зазначеної вже вище (неоднорідності в будові сітківки ока, в якій поряд з колбочками знаходяться і палички, що реагують на колір дещо по-різному).

Палички практично зовсім не беруть участь у роботі ока, якщо зображення полів, що порівнюються повністю укладаються в межах жовтої плями сітківки, де є лише колбочки, ця вимога задовольняється, якщо кут, під яким ми бачимо порівнювані поля, не перевищує $0,85$ кутового градуса кожне,

втім, і при дещо більших розмірах зорового поля ухилення будуть невеликі, оскільки частини сітківки, прилеглі до жовтої плями, теж переважно складаються з колбочок, тільки більш ретельні вимірювання виявляють у цих випадках розбіжності, для дослідів ж технічного характеру вони великого значення мати не можуть. такий фон зазвичай знижує чутливість ока до кольорних відмінностей.

Дуже серйозним моментом є питання про фоні та адаптацію, особливо тому, що утримувати адаптацію на постійному рівні вкрай важко, оскільки вона змінюється у процесі самого виміру.

Розрізняється кілька видів впливу адаптації на виміри. По-перше, коли при вимірах порівнюються два різних за кольором поля і спостереження проводиться більш менш тривало, то на сусідніх ділянках сітківки створюються різні стани ока, внаслідок чого навіть абсолютно однакові кольори можуть здаватися різними. При триколірних вимірах це має особливого значення, оскільки, намагаючись встановити повне тотожність двох полів, ми завжди утримуємо під час виміру досить близькими за кольором, тому стан сусідніх ділянок сітківки буде настільки близьким, що не станеться помітних спотворень.

При гетерохромній фотометрії можливість різної адаптації сусідніх ділянок становить серйознішу небезпеку, а тому при тривалих спостереженнях рекомендується вести їх з перервами, під час яких слід дивитися деякий час на однорідно забарвлену поверхню (наприклад, сіру), щоб на всій сітківці встановилася однакова адаптація.

Окрім нерівномірної адаптації, тут певний вплив може мати і її рівень. З якісного боку такий самий вплив має і колір фону, на якому знаходяться порівнювані поля. Вплив фону частково саме і полягає у зміні адаптації ока. Оскільки око ніколи не є цілком нерухомим, то вимірюваний колір постійно потрапляє на ту ж ділянку сітківки слідом за впливом на нього кольору фону.

Характерною особливістю триколірних вимірів є повна їхня незалежність (принаймні, у тих випадках, коли поля не надто великі) від рівня адаптації та

фону за умови однаковості адаптації для двох порівнюваних полів та повсюдної однаковості фону.

Ця надзвичайно важлива особливість триколірних вимірювань може вважатися цілком доведеною у випадках, коли дотримано розмірів поля (чистий центральний зір), але і при великих розмірах поля помилка у визначенні коефіцієнтів колірних рівнянь настільки мала, що її можна знехтувати, принаймні при технічних вимірах. При виробництві гетерохромних установок, навпаки, дотримання стандартного фону та адаптації необхідно.

Набагато жорсткішими і щодо триколірних вимірів є вимоги стандартності джерела освітлення, оскільки за зміни спектрального складу змінюється і склад світла, відображаемого предметом.

При цьому, знаючи лише колір забарвленого предмета або світлофільтра при одному певному освітленні, але не знаючи всієї кривої відбиття або пропускання, принципово неможливо передбачити, який буде цей колір при іншому освітленні. Предмети, не помітні за кольором при одному освітленні, можуть дуже відрізнятися за іншого.

Наприклад, світлофільтр, що здається при денному світлі зеленим, при електричному світлі може здаватися червоним. Такі світлофільтри справді існують. Правда, застосовувані в приладах зразки зазвичай не змінюють кольору настільки різко, але ці зміни можуть виявитися значними, а головне, їх не можна заздалегідь передбачити.

Тому наявність постійного як за кольором, так і за спектральним складом освітлення одна із важливих умов вимірювання кольору. Вимірювання слід вважати цілком надійними, якщо кольорові зразки освітлені тим джерелом, у якому вони градуювались.

Користування природним денним освітленням для точних вимірювань тим самим виключається, оскільки воно є досить непостійним за спектральним складом. Втім, при технічних вимірах нерідко користуються і природним освітленням, причому часто розбіжності, одержувані внаслідок мінливості освітлення, виявляються у допустимих межах.

Практика, таким чином, показує, що при більш менш грубих вимірах можна задовільнитися природним освітленням, хоча в цьому випадку ми ніколи не можемо бути гарантовані від помилок, щоправда, рідкісних, але іноді дуже значних за розмірами. У всякому разі, при користуванні природним освітленням вимірювання не можна проводити під прямим сонячним промінням, а також слід звертати увагу на те, щоб поблизу не було великих однорідно забарвлених поверхонь.

Рефлекси від таких поверхонь іноді можуть дуже істотно змінити забарвлення предметів, причому людина зазвичай майже не помічає наявності рефлексу, якщо цей рефлекс захоплює велику площу і перед очима немає критерію для порівнянь.

Навпаки, нехтувати різницею у складі природного денного світла та штучного (напр. електричного) неприпустимо. Крім того, дуже важливими для вимірювань є розміри кута, під яким освітлена порівнювана за кольором поверхня, і кута, під яким проводиться спостереження.

Відомо, що поверхня завжди відображає дещо по-різному світло, що падає у різних напрямках. Особливо різко помітно це на глясових поверхнях, які «відсвічують», тобто здаються білими незалежно від їхнього забарвлення, при розгляданні їх під кутом, що дорівнює куту падіння світла. Навіть ідеально матові поверхні відбивають світло не на всі боки однаково, але завжди відбивають сильніше у напрямку кута, рівного куту падіння світла, ніж у інших напрямках.

Тільки для ідеально матових поверхонь характерною особливістю є незалежність відбиття від кута падіння світла, а також те, що відбиття від них тим менше, чим менше кут відбиття. Втім, ідеально матових поверхонь не існує, і всі вони більш-менш блищать. Тому в залежності від кута падіння світла і від кута, що утворюється поверхнею з направленням на спостерігача, колір поверхні може змінюватися іноді досить значно.

Зазвичай у житті ми розглядаємо предмети під різними кутами і характером зміни кольору залежно від кута дізнаємося ступінь його блиску чи

матовості. Це так звані фактурні особливості поверхні, які не є чимось незалежним від кольору, що й природно, оскільки око нічого, крім кольору, відчувати не може. Фактурні особливості поверхні визначаються змінами кольору при різних напрямках спостереження та освітлення (а також дрібними нерівномірностями у фарбуванні) та у відомих випадках можуть утруднити колірні вимірювання. Якщо припустити, що зразки, якими виробляється вимір, глянсові, а вимірювані зразки – матові.

У такому разі встановити їх тотожність за кольором дуже важко, оскільки колір тих та інших залежно від кута зору змінюється по-різному, і якщо під одним кутом зору ми встановимо тотожність, то під іншим кутом воно порушиться. Більше того, якщо навіть спостерігач нерухомий, але порівнювані поля великі, то від різних частин поля напрямком на спостерігача буде різним, а тому правильна установка буде дуже утруднена.

Для усунення цих великих незручностей необхідно проводити вимірювання за умов так званого безфактурного зору, тобто в умовах, за яких ми розрізняємо лише колір предмета, але не його фактуру.

Ці умови створюються за дотримання вимог:

- обмеженості розмірів полів, що порівнюються;
- певного кута між пофарбованою поверхнею та напрямком на спостерігача;
- напрями освітлення, причому кут падіння не повинен дорівнювати куту, під яким дивляться на поверхню.

Щодо способу освітлення поверхні робилися пропозиції двох умов:

- щоб освітлення було розсіяним, тобто рівномірним з усіх боків;
- щоб поверхня була освітлена під кутом 45° .

Перша з цих пропозицій дуже важко здійснити на практиці, тому освітлення під кутом 45° є в даний час загальноприйнятим. Спостереження ведеться під прямим кутом до поверхні, причому для обмеження розмірів полів, що порівнюються між ними і оком спостерігача поміщають екран з прорізом потрібної величини. Якщо користуватися описаною раніше окулярною

трубочкою, вона автоматично обмежує розміри поля. Тому користування окулярною трубочкою слід ще раз рекомендувати.

Стаціонарна установка цієї трубочки дає можливість здійснити і перпендикулярність спрямування спостереження до вимірюваної поверхні.

Якщо виконання стандартних умов спостереження чомусь важко, а самі виміри носять грубо наближений характер, то як паліатив висувається вимога, щоб фактура еталонів була найближчою до фактури вимірюваних предметів. Але до цього слід вдаватися тільки в крайніх випадках, при повній неможливості дотриматися умов спостереження, що зазвичай не становить великої труднощі.

Перелік умов, необхідних для отримання порівняних між собою результатів, був би не повний, якби ми не згадали про індивідуальні відхилення, що зустрічаються внаслідок тих чи інших відхилень у зір окремих осіб. Найбільш важливими є аномалії, які називають кольоровою сліпотю, про які сказано вище.

Колірні виміри, зроблені кольоросліпим, стануть незрозумілими для людини з нормальним зором. Тому кольоросліпі, яких зустрічається в середньому близько 4 % – 6 %, проводити колірні вимірювання не можуть. Справа дещо ускладнюється тим, що кольоросліпі зазвичай навчаються в житті правильно називати кольори, і нерідко трапляються випадки виявлення кольоросліпих, які і не підозрювали про наявність у них цього недоліку. Втім, перевірка кольорової сліпоти проводиться досить легко за допомогою спеціальних таблиць.

Крім колірної сліпоти, зустрічаються й інші, менш значні ухилення, що відбуваються від того, що в деяких осіб прозорі речовини очі мають те чи інше забарвлення. Найбільші аномалії цього роду приписують зазвичай більш менш сильному забарвленню жовтої плями, яке відіграє основну роль у кольоровому зорі. Особи з аномаліями цього роду дають найбільші відхилення при вимірах синіх та фіолетових кольорів; такі особи не повинні допускатися до відповідальних вимірів, але вони можуть брати участь у вимірах технічного

характеру, що не потребують великої точності. Крім того, недолік цього роду може бути виправлений спеціальними блакитними окулярами.

Описаний нами прилад з фотоелементами відтворює середній людський зір, і з таким приладом можуть однаково працювати люди з нормальним і аномальним зором.

2 АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ ВАРІАНТІВ ПОБУДОВИ ЦИФРОВИХ ПРИСТРОЇВ ДЛЯ ВИРІШЕННЯ ЗАДАЧ ОПТИЧНОГО КОНТРОЛЮ ТА ЇХ ВДОСКОНАЛЕННЯ

2.1 Цифрові колориметри для вимірювання кольору

Цифровий колориметр для вимірювання кольору був запропонований у роботі [3].

Задачею запропонованого колориметра [3] є підвищення швидкодії і точності вимірювання, а також розширення функціональних можливостей 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.

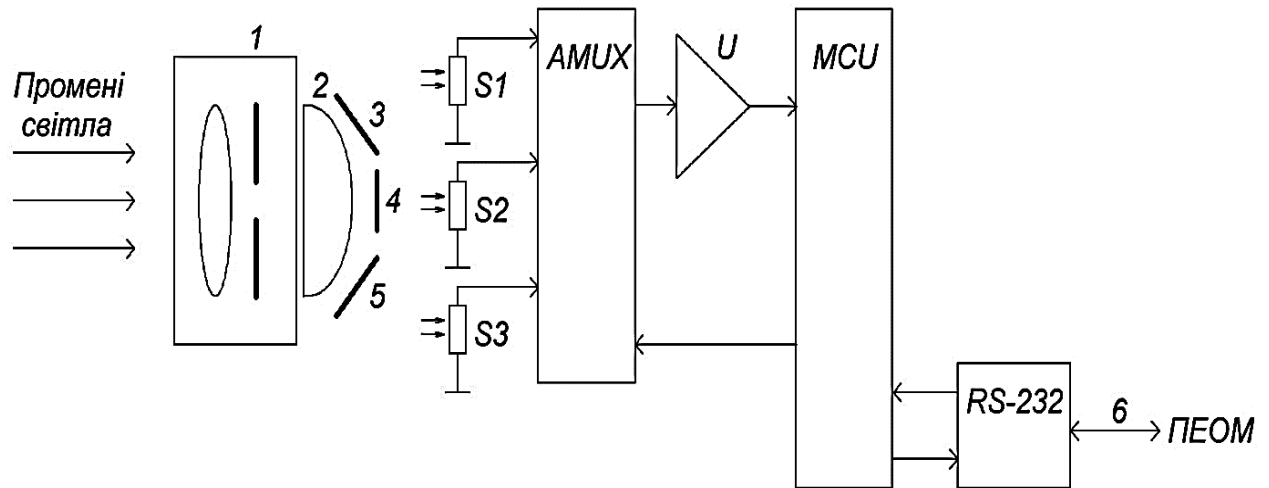
Поставлена задача вирішується тим, що цифровий колориметр містить об'єktiv з діафрагмою, світлоподільну призму, три світлофільтри, три фото резистори, світловий потік, що проходить через об'єktiv з діафрагмою, фокусується на світлоподільній призмі, розділяється нею на складові, та через червоний, зелений і синій світлофільтри надходить на фоторезистори, чутливі до видимого спектру випромінювання, згідно з корисною моделлю, в нього додатково введені нормувальний підсилювач, мікроконтролер, інтерфейс, ЕОМ і аналоговий мультиплексор, входи якого з'єднані з виходами фоторезисторів, 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 запропонованою схемою колориметра, як інтерфейс, використовують мікросхему інтерфейсу RS-232, як ЕОМ використовують персональний комп'ютер.

На рисунку 2.1 наведено схему реалізації запропонованого пристрою [3].

Цифровий колориметр [3] працює за рахунок того, що при попаданні на нього світла від поверхні, що освітлена, або світиться сама, світлове випромінювання проходить через об'єktiv з діафрагмою, який використовується для фокусування випромінювання та регулювання рівня його

яскравості, попадає на світлоподільну призму, яка розділяє світлове випромінювання на складові.



Структурна схема цифрового колориметру:

об'єктив з діафрагмою – 1; світлоподільна призма – 2;

три світлофільтри – 3, 4, 5; три фоторезистори – S1, S2, S3;

аналоговий мультиплексор – AMUX; нормувальний підсилювач – U;

мікроконтролер – MCU; мікросхема інтерфейсу – RS-232;

канал передачі даних до ПК – 6

Рисунок 2.1 – Структурна схема цифрового колориметру

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.

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 мультиплексору (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 мікроконтролеру (MCU). Нормувальний підсилювач призначений для приведення вхідного сигналу від датчиків освітленості до діапазону від 0 В 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 мультиплексору. 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 мультиплексору; оцифровка 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 типу RS-232, використовується перетворювач ADM232 виробництва фірми Analog Devices[5].

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.

Зовнішній вигляд вікна програми наведено на рисунку 2.2.

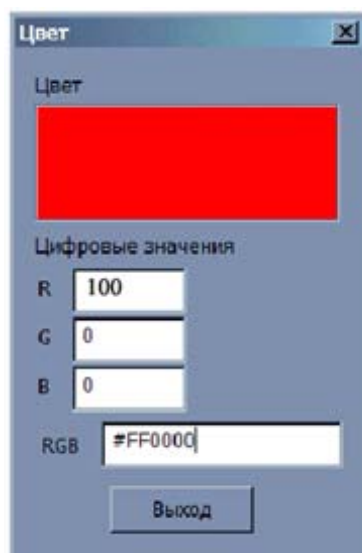


Рисунок 2.2 – Вікно програми відображення результатів

Зовнішній вигляд цифрового колориметра представлено на рисунку 2.3.



Рисунок 2.3 – Зовнішній вигляд цифрового колориметра

Параметри електронного колориметру наведено в таблиці 2.1.

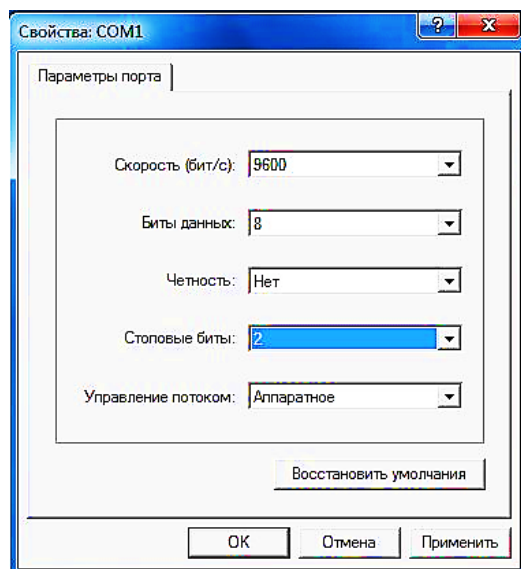
Таблиця 2.1 – Параметри електронного колориметра

Діапазон вимірювань, нм	380 – 780 (видиме випромінювання)
Робоча напруга, В	+5
Габаритні розміри, мм	324 x 190 x 220
Маса, кг	1,1

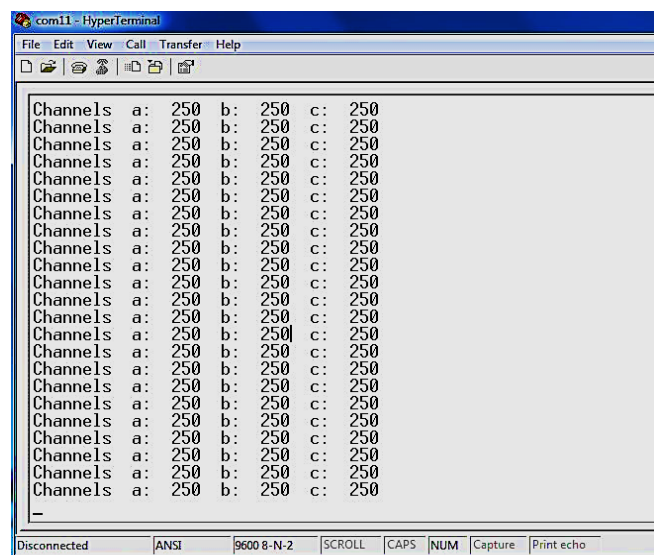
Електронний колориметр може бути підключений до персонального комп'ютера через *COM*-порт. За допомогою програмного забезпечення *HyperTerminal* відбувається вивід даних на монітор комп'ютера.

Для роботи з *HyperTerminal* необхідно створити нове підключення і встановити параметри нового з'єднання, як наведено на рисунку 2.4 а.

У програмі *HyperTerminal* «*Channel a*» – є каналом червоного фотодіода, «*Channel b*» – каналом синього фотодіода, а «*Channel c*» – каналом зеленого фотодіода, як наведено на рисунку 2.4 б.



а)



б)

Рисунок 2.4 – Вікна програми *HyperTerminal*

Для калібрування пристрою, що реалізує оптоелектронний метод вимірювання кольору використовувався набір світлофільтрів спектральні характеристики яких наведено в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Калібрування пристрою

№ світлофільтру	Довжина хвилі, що відповідає максимуму пропускання, нм	Ширина смуги пропускання, нм
1	315 ± 5	35 ± 15
2	364 ± 5	25 ± 10
3	400 ± 5	45 ± 10
4	440 ± 10	40 ± 15
5	490 ± 10	35 ± 10
6	540 ± 10	25 ± 10
7	590 ± 10	25 ± 10
8	670 ± 5	20 ± 5
9	750 ± 5	20 ± 5
10	870 ± 5	20 ± 5

До недоліків пристрою [5] належать: мала швидкодія внаслідок використання інертних елементів, що унеможливорює вимірювання світлового потоку, що швидко змінюється, недостатня точність вимірювання світлового потоку, що має невелику потужність (слабоосвітлені об'єкти), внаслідок низької чутливості фоторезисторів, неможливість розділення в просторі датчика та приладу, неможливість безпосереднього керування пристроєм внаслідок відсутності органів керування, неможливість автономного використання пристрою внаслідок відсутності засобів відображення інформації, потреба в додаткових електричних елементах внаслідок високого рівня опору фоторезисторів і неможливості їх безпосереднього підключення до мікросхем ТТЛ.

2.2 Електронний колориметр з вбудованим АЦП

Недоліки пристрою [5] враховані в приладі [6], завданням якого є 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 та y (для діаграми кольору CIExy, 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 [6] наступним чином.

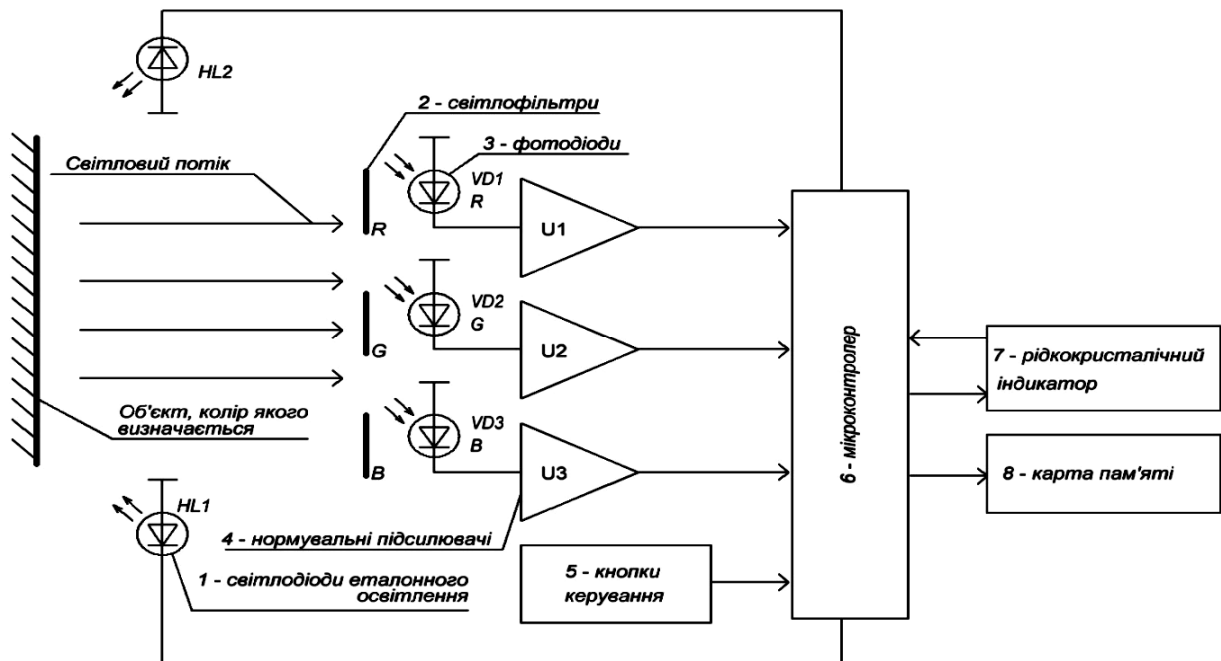
У цифровий пристрій вимірювання кольору додатково введені два нормувальні підсилювачі, входи котрих з'єднані з фотодіодами, а виходи з аналоговими входами мікроконтролера, світлодіоди еталонного освітлення, що підключені до виходів мікроконтролера, кнопки керування, що підключені до входів мікроконтролера, рідкокристалічний індикатор, що підключений до виходів мікроконтролера та карта пам'яті, що підключена до виходів мікроконтролера.

В таблиці 2.3 наведено порівняння прототипу [5] із новим пристроєм [6].

Таблиця 2.3 – Відмінності між прототипом та новим пристроєм

Елементи пристрою	
Прототип	Запропонований пристрій
1 Об'єktiv з діафрагмою.	1. Три світлофільтри.
2. Світлоподільна призма.	2. Два світлодіоди елементи еталонного освітлення.
3. Три світлофільтри.	3. Три нормувальні підсилювачі.
4. Три фото резистори.	4. Три фотодіоди.
5. Регістр стану.	5. Мікроконтролер
6. Аналоговий мультиплексор.	6. Рідкокристалічний індикатор.
7. Інтерфейс з'єднаний з ЕОМ.	7. Карти пам'яті.
	8. Кнопки керування.

На рисунку 2.5 наведено схему реалізації запропонованого пристрою [6].



Структурна схема цифрового портативного колориметру:

- світлодіоди еталонного освітлення – 1;
- три кольорових світлофільтри (R , G , B) – 2; фотодіоди ($VD1$ – $VD3$) – 3;
- три нормувальних підсилювача ($U1$ – $U3$) – 4; кнопки керування – 5;
- мікроконтролер – 6; рідкокристалічний індикатор – 7, карта пам'яті – 8

Рисунок 2.5 – Цифровий портативний колориметр

Розглянемо більш докладніше роботу пристрою, структурну схему якого наведено на рисунку 2.5.

Цифровий портативний пристрій вимірювання кольору працює за рахунок того, що при попаданні на нього світла від поверхні, що освітлена світлодіодами еталонного світла (1), або світиться сама, світлове випромінювання попадає на три кольорові світлофільтри R , G , B , які розділяють світловий промінь на три складові – червону (R), зелену (G) та синю (B), та через них попадає на фотодіоди (3).

Фотодіоди (3) працюють в 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, що потрібен для роботи АЦП мікроконтролера, після чого сигнал передається на аналогові входи мікроконтролера, за допомогою вбудованого в нього АЦП оцифровується, після чого засобами мікроконтролера відбувається його обробка.

Кнопки керування (5) призначені для вмикання/вимикання, налаштування та керування пристроєм. Результати роботи пристрою в цифровому та текстовому вигляді відображаються на рідкокристалічному індикаторі (7), а також записуються на карту пам'яті (8). Використання вбудованого АЦП мікроконтролера дозволяє зменшити затримку сигналу за рахунок виключення затримки на додаткових зовнішніх цифрових елементах, таких, як мікросхеми АЦП [6].

Програма керування пристроєм встановлюється у мікроконтролер. 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*.

Після чого X , Y , Z , що отримані в результаті розрахунків, перераховуються в координати кольору x та y для діаграми кольору *CIE_{xy}*.

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

Таким чином авторами запропонованого пристрою [6] досягнуто підвищення швидкодії, точності вимірювання, а також розширення функціональних можливостей приладу, а саме отримана можливість використання такого приладу при проведенні оптичного контролю якості зернових культур.

Спираючись на будову та функціонал приладу [6], було розроблено зменшену версію цифрового портативного пристрою експрес-контролю кольору.

На рисунку 2.6 наведено будову зменшеної версії цифрового портативного пристрою експрес-контролю кольору.

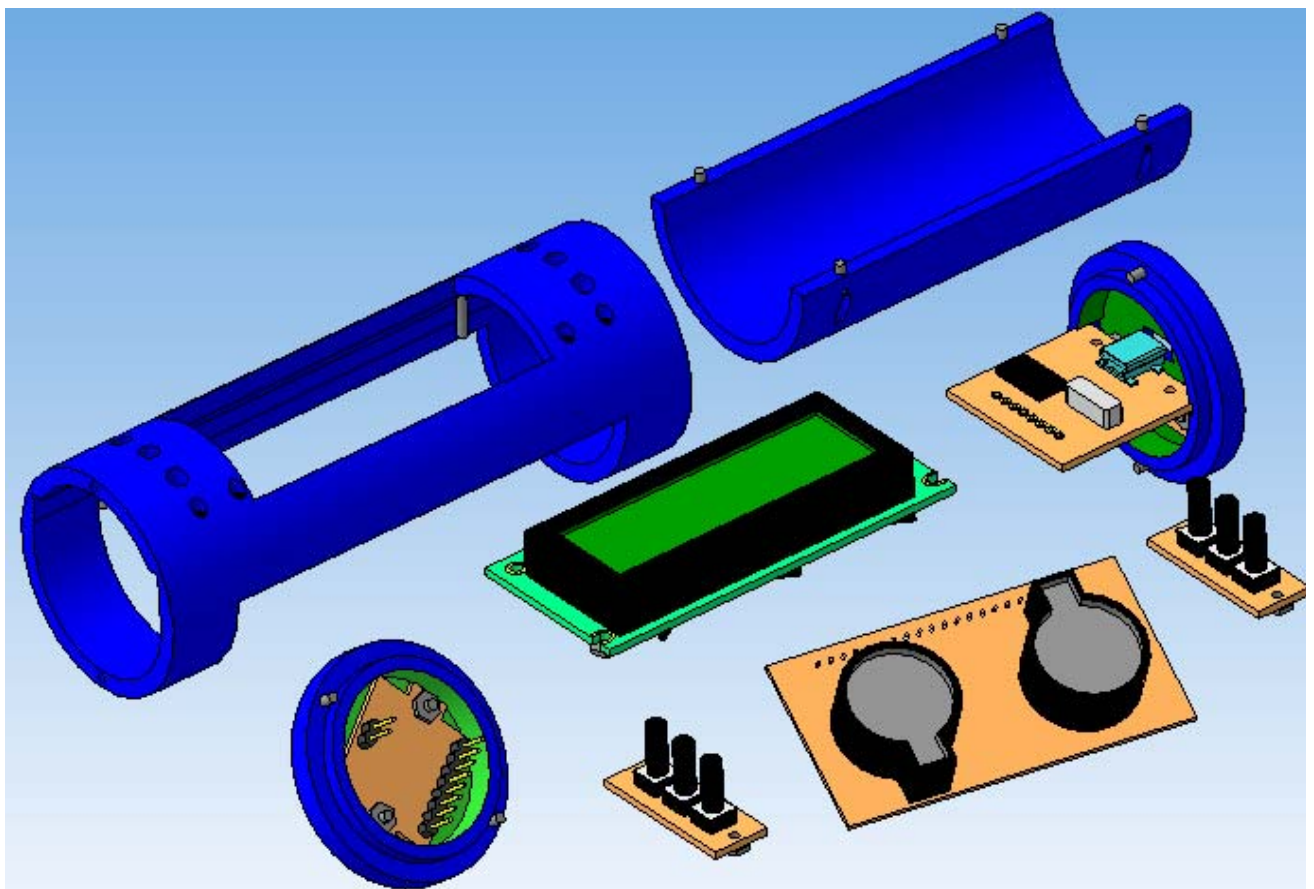


Рисунок 2.6 – Будова зменшеної версії
цифрового портативного пристрою експрес-контролю кольору

На рисунку 2.7 наведено зовнішній вигляд зменшеної версії цифрового портативного пристрою експрес-контролю кольору.



Рисунок 2.7 – Зовнішній вигляд зменшеної версії цифрового портативного пристрою 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 нм – 780 нм;
- живлення: 6 В (2 батареї CR2032);
- струм навантаження: не більше 50 мА;
- RS 232 інтерфейс;
- маса: 0,2 кг;
- габаритні розміри: 120 мм × 45 мм × 45 мм.

До складу портативного пристрою (рис. 3.8) входять наступні елементи:

- керуючий модуль;
- модуль датчика кольору;

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

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.

2.3 Цифрові пристрої для вимірювання проникності оптичних середовищ

Спираючись на будову та функціонал приладу [7] було запропоновано оновлений цифровий прилад для вимірювання проникності оптичних середовищ [8].

Цей прилад належить до пристроїв для вимірювання проникності оптичних середовищ і може бути використаний для точного визначення ступеню проникності оптичних середовищ (матеріалів) світлом та ступеню зміни кольору світла при проходженні через дані середовища (матеріали).

Пристрій [7] має низку недоліків: неможливість вимірювання проникності оптичних середовищ світловим потоком змінної яскравості; неможливість обробки даних безпосередньо пристроєм, без використання ПК; низька швидкодія за рахунок почергової передачі даних кожного з каналів вимірювання.

В основу пристрою [8] поставлена задача розширення функціональних можливостей пристрою [7] за рахунок додавання функції вимірювання ступеню проникності оптичних середовищ (будь-яких матеріалів, що пропускають світло) світловим потоком змінної яскравості; додавання функції обробки

даних безпосередньо пристроєм; підвищення швидкодії за рахунок використання 4-канального АЦП, мікроконтролера та інтерфейса *USB*.

На рисунку 2.8 наведено схему реалізації запропонованого пристрою [8].

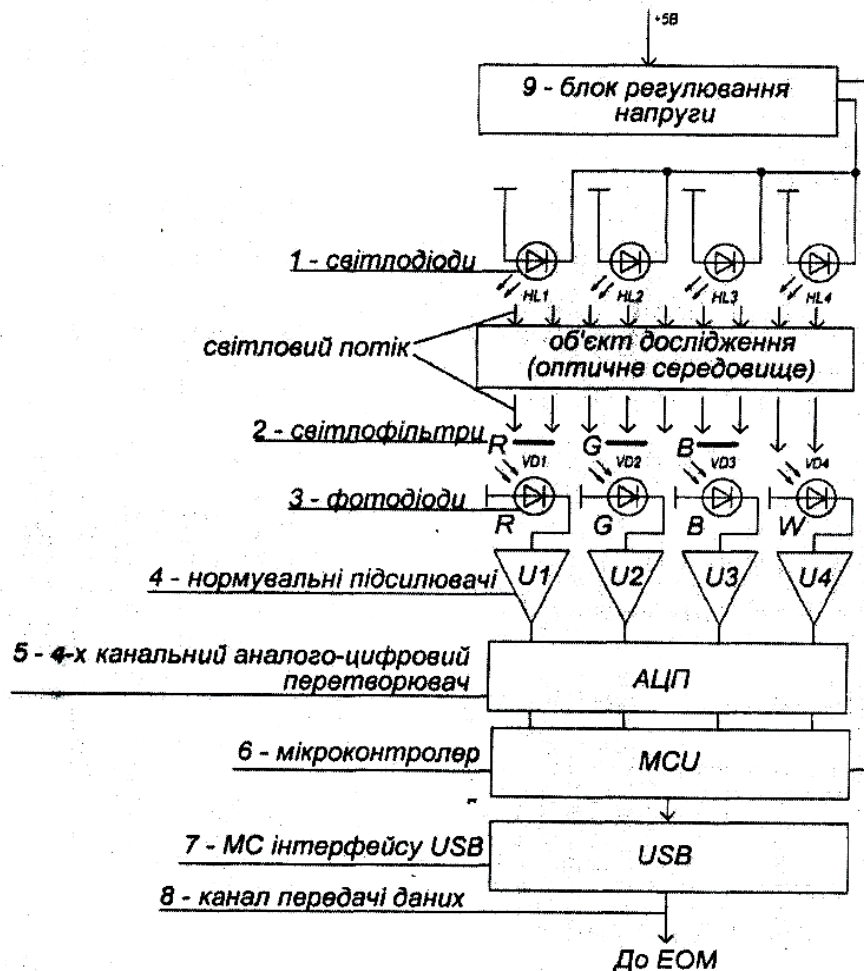


Схема цифрового пристрою

для вимірювання проникності оптичних середовищ:

світлодіоди *HL1 – HL4* – 1; три світлофільтри (*R, G, B*) – 2;

фотодіоди *VD1 – VD4* – 3; нормувальні підсилювачі *U1 – U4* – 4;

4-канальний АЦП – 5; мікроконтролер *MCU* – 6;

мікросхема інтерфейсу *USB* – 7;

канал передачі даних до ЕОМ (персональний комп'ютер тощо) – 8;

блок регулювання напруги – 9

Рисунок 2.8 – Схема реалізації цифрового пристрою для вимірювання проникності оптичних середовищ

В таблиці 2.4 наведено порівняння прототипу [7] із новим пристроєм [8].

Таблиця 2.4 – Порівняння прототипу [7] із новим пристроєм [8]

Елементи пристрою	
Прототип	Запропонований пристрій
1	2
1. Три світлофільтри. 2. Три світлочутливі елементи. 3. Три нормувальні підсилювачі. 4. Поляризаційний фільтр. 5. Три АЦП. 6. Регістр стану. 7. Інтерфейс з'єднаний з ЕОМ. 8. Світлочутливий елемент. 9. Нормувальний підсилювач, 10 АЦП. 11. Джерело еталонного освітлення, що складається з світлодіодів білого світіння з температурою світла 5600 К.	1. Чотири світлодіоди. 2. Три світлофільтри. 3. Чотири фотодіоди. 4. Чотири нормувальні підсилювачі. 5. Один 4-канальний АЦП. 6. Мікроконтролер. 7. Мікросхема інтерфейсу <i>USB</i> каналу передачі даних до ЕОМ (персональний комп'ютер тощо). 8. Блок регулювання напруги.

Фільтри *RGB* не повинні перекривати світловий потік, що падає на фотодіоди *W*. Для запобігання неточності в роботі датчика рекомендується використовувати світлодіоди *HL1* – *HL4* білого кольору з температурою 5600K. Для роботи датчика потрібне джерело живлення з напругою +5 В.

Розглянемо більш докладніше роботу датчика. Датчик працює за рахунок того, що еталонний світловий потік (ЕСП) від джерела еталонного світла, колір та інтенсивність якого виміряні заздалегідь, до початку тесту, проходить через оптичне середовище, проникність якого вимірюється,

частина ЕСП попадає на три кольорові фільтри R , G , B (2), які розділяють світловий промінь на три складові – червону, зелену та синю, та через них попадає на фотодіоди R , G , B (3), а частина ЕСП на пряму попадає на фотодіоди W (3). Фотодіоди (3) працюють в фотоперетворювальному режимі, тобто в залежності від інтенсивності світла відповідного каналу, змінюють величину струму, що проходить через них. Струм з фотодіодів (3) по чотирьох каналах передається на чотири нормувальні підсилювачі постійного струму (4), що призначені для нормалізації вхідного сигналу від фотодіодів до рівня, достатнього для роботи 4-канального АЦП (5), після чого сигнал передається на АЦП (5). Аналоговий сигнал, що перетворений за допомогою АЦП (5) в цифровий, передається по чотирьох каналах одночасно на мікроконтролер (6), де за допомогою програмного забезпечення, що в нього встановлено, обробляється. Отримані дані передаються на мікросхему інтерфейса *USB* (7) і далі по каналу передачі даних (8) на ПК. При необхідності проведення вимірювань ступеню проникності оптичних середовищ світловим потоком змінної яскравості, мікроконтролер подає відповідну команду на блок регулювання напруги (9), який зменшуючи або збільшуючи рівень напруги живлення світлодіодів (1) тим самим зменшує або збільшує яскравість світлового потоку, і виконується декілька вимірювань в залежності від кількості ступенів зміни яскравості світлового потоку [8].

В мікроконтролері відбувається перетворення вхідного сигналу від фотодіодів R , G , B у систему XYZ , що стандартизована міжнародною комісією по освітленню СІЕ.

Після чого X , Y , Z , що отримані в результаті розрахунків, перераховуються в координати кольору x та y для діаграми кольору СІЕ xy .

Отримані координати x та y визначають розташування кольору на площині діаграми кольору СІЕ xy , що дозволяє однозначно ідентифікувати колір світлового променя, що пройшов через оптичне середовище, що досліджується.

В разі, якщо отримані результати відповідатимуть результатам, що отримані при вимірюванні ЕСП перед проходженням тесту, можна зробити висновок, що оптичне середовище не спотворює світловий потік і не вносить в нього будь-якого забарвлення. Якщо ж результат відрізнятиметься від еталонного, то можна буде зробити висновок про те, що оптичне середовище змінює світловий потік за рахунок внесення в нього забарвлення, а ступінь та колір забарвлення можна визначити, виходячи з отриманих результатів.

Для обчислення ступеню проникності оптичного середовища, тобто ступеню зменшення інтенсивності світлового потоку, що пройшов через оптичне середовище, використовується сигнал від фотодіодів W (3).

Фотодіоди W (3) працюють у фотоперетворювальному режимі, тобто в залежності від інтенсивності світлового потоку, що пройшов через оптичне середовище, змінюють величину струму, що проходить через них. Порівнявши цю величину з величиною, що була отримана при вимірюванні ЕСП перед проходженням тесту, можна однозначно визначити ступінь проникності оптичного середовища [8].

Проте у випадку значного забарвлення світлового потоку після проходження ним оптичного середовища, даний варіант вимірювання може мати суттєву похибку.

Порівнявши цю величину з величиною, що була отримана при вимірюванні ЕСП перед проходженням тесту, можна однозначно визначити ступінь проникності оптичного середовища у випадку забарвлення світлового потоку [8].

Таким чином авторами запропонованого пристрою [8] досягнуто розширення функціональних можливостей пристрою за рахунок додавання функції вимірювання ступеню проникності оптичних середовищ (матеріалів) світловим потоком змінної яскравості; додавання функції обробки даних безпосередньо пристроєм та підвищення швидкодії за рахунок використання 4-канального АЦП, мікроконтролера та інтерфейса USB [8].

Але даний прилад [8] теж має ряд недоліків.

До недоліків даного пристрою належать обмежені функціональні можливості, а саме:

- неможливість вимірювання рівномірності оптичної проникності оптичних середовищ;
- неможливість вимірювання оптичної проникності оптичних середовищ по всій площі, якщо середовища реалізовані, наприклад, у вигляді листового матеріалу [8].

Для усунення вказаних недоліків був розроблений прилад [9].

На рисунку 2.9 наведено схему реалізації запропонованого пристрою.

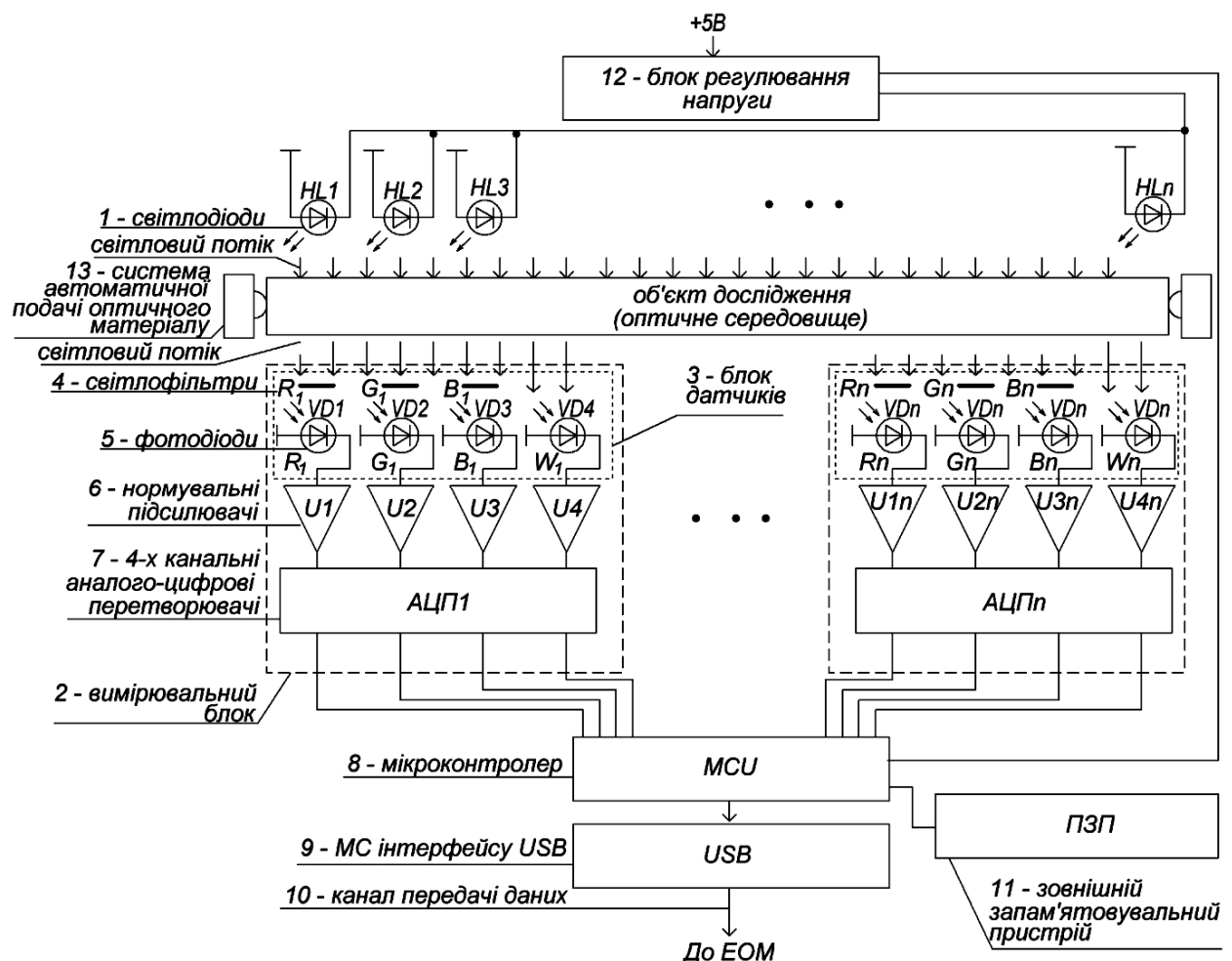


Рисунок 2.9 – Схема реалізації цифрового пристрою для вимірювання рівномірності проникності оптичних середовищ

Прилад належить до пристроїв вимірювання проникності оптичних середовищ і може бути використана для точного визначення ступеня проникності оптичних середовищ (матеріалів) світлом, ступеня зміни кольору світла при проходженні через дані середовища (матеріали), а також рівномірності оптичної проникності оптичних середовищ.

Технічною задачею запропонованого пристрою [9] є розширення функціональних можливостей пристрою за рахунок використання додатково внесених до схеми пристрою вимірювального блока з масивом датчиків, зовнішнього запам'ятовувального пристрою та системи автоматичної подачі матеріалу, що дає можливість вимірювання рівномірності оптичної проникності оптичних середовищ та побудови схеми зон з однорідною проникністю, а також одночасного вимірювання великої площі матеріалу.

В таблиці 2.5 наведено порівняння прототипу [8] із новим пристроєм [9].

Таблиця 2.5 – Порівняння прототипу [8] із новим пристроєм [9]

Елементи пристрою	
Прототип [8]	Запропонований пристрій [9]
1	2
1. Чотири світлодіоди. 2. Три світлофільтри. 3. Чотири фотодіоди. 4. Чотири нормувальні підсилювачі. 5. Один 4-канальний АЦП. 6. Мікроконтролер. 7. Мікросхема інтерфейсу <i>USB</i> каналу передачі даних до ЕОМ (персональний комп'ютер тощо). 8. Блок регулювання напруги.	1. <i>n</i> світлодіодів. 2. Блок датчиків. 3. Три світлофільтри. 4. Чотири фотодіоди. 5. Чотири нормувальні підсилювачі. 6. Один 4-канальний АЦП. 7. Мікроконтролер. 8. Мікросхема інтерфейсу <i>USB</i> каналу передачі даних до ЕОМ (персональний комп'ютер тощо). 9. Блок регулювання напруги. 10. Зовнішній запам'ятовувальний пристрій.

Продовження таблиці 2.5

1	2
	11. Система автоматичної подачі оптичного матеріалу. 12. n вимірювальних блоків, де n може бути від $n = 1$ до N в залежності від розмірів об'єкта дослідження, причому датчики розташовані в одну лінію, щільно один до одного та мають кількість n. 13. Вимірювальний блок.

Розглянемо більш докладніше роботу пристрою [9].

Для його роботи необхідно, щоб виконувались наступні умови:

- світлофільтри RGB не повинні перекривати світловий потік, що падає на фотодіоди $W1 - Wn$;
- для запобігання неточності в роботі датчика рекомендується використовувати світлодіоди $HL1 - HLn$ білого кольору з температурою не менше 5600 К;
- для роботи пристрою потрібне джерело живлення з напругою + 5 В;
- система автоматичної подачі оптичного матеріалу має бути рівномірною за швидкістю подачі та не перекривати матеріал, що досліджується;
- пристрій працює за рахунок того, що еталонний світловий потік (ЕСП) від джерела еталонного світла, що забезпечується світлодіодами $HL1 - HLn$, проходить через оптичний матеріал, рівномірність проникності якого вимірюють, частина ЕСП падає на кольорові світлофільтри $R1, G1, B1 - Rn, Gn, Bn$ (4), які розділяють світловий промінь на три складові – червону, зелену та синю, та через них падає на фотодіоди $R1, G1, B1 - Rn, Gn, Bn$ (5), а частина ЕСП напряму падає на фотодіоди $W1 - Wn$ (5).

Фотодіоди (5) працюють в фотоперетворювальному режимі, тобто в залежності від інтенсивності світла відповідного каналу, змінюють величину струму, що проходить через них. Струм з фотодіодів (5) по чотирьом каналам передається на чотири нормувальні підсилювачі постійного струму (6), що призначені для нормалізації вхідного сигналу від фотодіодів до рівня, достатнього для роботи 4-канальних АЦП1 – АЦПn (7), після чого сигнал передається на АЦП1 – АЦПn (7).

Аналоговий сигнал, що перетворений за допомогою АЦП1-АЦПn (7) в цифровий, передається по каналам одночасно на мікроконтролер (8), де за допомогою програмного забезпечення, що в нього встановлено, обробляється. Отримані дані передаються на мікросхему інтерфейсу USB (9) і далі по каналу передачі даних (10) на ПК.

При необхідності проведення вимірювань ступеня проникності оптичних середовищ світловим потоком змінної яскравості, мікроконтролер подає відповідну команду на блок регулювання напруги (12), який зменшує або збільшує рівень напруги живлення світлодіодів (1), тим самим зменшує або збільшує яскравість світлового потоку, і виконує декілька вимірювань в залежності від кількості ступенів зміни яскравості світлового потоку.

При цьому, матеріал, що досліджується, рівномірно проходить через блок датчиків (3) за допомогою системи автоматичної подачі оптичного матеріалу (13), що являє собою наприклад роликову систему подачі або будь-яку аналогічну систему, а пристрій виконує ряд вимірювань, частота яких залежить від швидкості подачі матеріалу та площі матеріалу, що може бути досліджена за одне вимірювання, тим самим забезпечуючи рівномірне дослідження всієї площі матеріалу.

В мікроконтролері відбувається перетворення вхідного сигналу від фотодіодів R1, G1, B1 – Rn, Gn, Bn в систему XYZ, що стандартизована міжнародною комісією по освітленню CIE.

Після цього значення X, Y, Z, що отримані в результаті розрахунків, перераховують в координати кольору x та y для діаграми кольору CIExy [9].

Отримані координати x та y визначають розташування кольору на площині діаграми кольору CIE_{xy}, що дозволяє однозначно ідентифікувати колір світлового променя, що пройшов через оптичне середовище, що досліджується.

Дані, що отримані для кожного дослідження, зберігаються в зовнішньому запам'ятовувальному пристрої (11) та порівнюються мікроконтролером між собою.

В разі, якщо отримані результати відповідають результатам, що отримані при вимірюванні ЕСП перед проходженням тесту, то можна зробити висновок, що оптичне середовище не спотворює світловий потік і не вносить в нього будь-якого забарвлення. Якщо ж результат відрізнятиметься від еталонного, то можна буде зробити висновок про те, що оптичне середовище змінює світловий потік за рахунок внесення в нього забарвлення, а ступінь та колір забарвлення можна визначити, виходячи з отриманих результатів. А у випадку виявлення відхилення результатів, що отримані, при будь-якому з вимірювань від інших – можна зробити висновок про нерівномірність оптичної проникності матеріалу, що досліджується [9].

Для обчислення ступеня проникності оптичного середовища, тобто ступеня зменшення інтенсивності світлового потоку, що пройшов через оптичне середовище, використовують сигнал від фотодіодів W (5). Фотодіоди W (5) працюють в фотоперетворювальному режимі, тобто в залежності від інтенсивності світлового потоку, що пройшов через оптичне середовище, змінюють величину струму, що проходить через них. Порівнявши цю величину з величиною, що була отримана при вимірюванні ЕСП перед проходженням тесту, можна однозначно визначити ступінь проникності оптичного середовища [9].

Проте, у випадку значного забарвлення світлового потоку після проходження ним оптичного середовища, даний варіант вимірювання може мати суттєву похибку. Для виключення даної похибки, у випадку вимірювання забарвленого світлового потоку, слід провести розрахунок його інтенсивності [9].

Порівнявши цю величину з величиною, що була отримана при вимірюванні ЕСП перед проходженням тесту, можна однозначно визначити ступінь проникності оптичного середовища у випадку забарвлення світлового потоку.

Дані, що отримані, після їх обробки мікроконтролером передаються через інтерфейс USB (9) по каналу передачі даних (10) до ПК, де на їх підґрунті будується схема зон з однорідною проникністю.

Механізм побудови даної схеми працює наступним чином: кожному з датчиків пристрою в програмі ЕОМ відповідає зона з декількох пікселів зображення (ЗПЗ), що по своїй формі та розміру пропорційна зоні вимірювання датчику. Ступінь забарвлення зони, в свою чергу, пропорційний ступеню проникності оптичного середовища. Матеріал, що досліджується, проходить через пристрій, пристрій передає дані на ПК, де програма будує на підґрунті даних, що отримані, схему поверхні ліній за лінією. Кожна з ліній формується з ЗПЗ, а враховуючи, що ступінь забарвлення ЗПЗ пропорційна ступеню проникності оптичного середовища, то отримувана картина буде відповідати фактичному рівню проникності оптичного середовища, де відповідно зменшення або збільшення ступеня забарвленості зображення відповідає зменшенню або збільшенню ступеня оптичної проникності матеріалу [9].

Таким чином, авторами запропонованого пристрою [9] досягнуто розширення функціональних можливостей пристрою за рахунок використання додатково внесених до схеми пристрою вимірювального блока з масивом датчиків, зовнішнього запам'ятовувального пристрою та системи автоматичної подачі матеріалу, що дає можливість вимірювання рівномірності оптичної проникності оптичних середовищ та побудови схеми зон з однорідною проникністю, а також одночасного вимірювання великої площі матеріалу.

3 ДОСЛІДЖЕННЯ МОЖЛИВОСТЕЙ ЗАСТОСУВАННЯ ЗАСОБІВ СПЕКТРОСКОПІЇ ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ КОЛЬОРІВ ОБ'ЄКТІВ

3.1 Вихідні припущення дисперсійного аналізу, що необхідно враховувати при побудові моделі факторного впливу.

Дисперсійний аналіз заснований на ряді припущень про випадкові величини й параметри, що формують помилку експерименту [11] – [13]:

- 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 або вимога гомоскедастичності. На жаль, це припущення виконується далеко не завжди й 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 й 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.

3.2 Розробка моделі впливу при колориметричному контролі

При багатофакторному 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 [12]; [14] – [15] 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 й упорядкування всіх взаємодій у цьому випадку, на відміну від ієрархічної класифікації, неможливо [13].

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 [14]:

$$(Спостережуване\ значення) = \sum (Параметри, що описують ефекти, що визначаються) + \sum (Випадкові величини, що описують залишкові ефекти)$$

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 [14]:

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

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.

Початкові умови для моделі (3.1) наведено в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Початкові умови для моделі (3.1)

1	$\sum_a \delta_a = 0$	$\sum_b \alpha_b = 0$	$\sum_c \beta_c = 0$
---	-----------------------	-----------------------	----------------------

Продовження таблиці 3.1

2	$\sum_a (\delta\alpha)_{ab} = 0$	$\sum_b (\delta\alpha)_{ab} = 0$	$\sum_a (\delta\beta)_{ac} = 0$
	$\sum_c (\delta\beta)_{ac} = 0$	$\sum_b (\alpha\beta)_{bc} = 0$	$\sum_c (\alpha\beta)_{bc} = 0$
3	$\sum_a (\delta\alpha\beta)_{abc} = 0$	$\sum_b (\delta\alpha\beta)_{abc} = 0$	$\sum_c (\delta\alpha\beta)_{abc} = 0$
4	$\sum_a \sum_b \sum_c \sum_q d_{abcq} = 0$		

Крім цих умов на випадковий залишок накладені обмеження:

- 1) усі d_{abcq} взаємно незалежні;
- 2) $M[d_{abcq}^2] = \sigma^2$;
- 3) випадкові величини d_{abcq} розподілені по нормальному закону.

Що стосується виду відхилень $\delta_a, \alpha_b, \beta_c$, то:

- 1) δ_a – є випадковою величиною, оскільки вона відображає ефект апріорно невизначених рівнів параметру контролю Z ;
- 2) α_b, β_c – є метрологічно визначеними параметрами показників контролю K .

Модель (3.1) не є виключно параметричною, із-за випадкових рівнів параметру колориметричного контролю Z . Її слід віднести до змішаних моделей.

3.3 Розробка спрощеної моделі впливу при обмеженнях на об'єм вимірювань

Отримана багатofакторна модель (3.1) потребує для свого аналізу об'єм вибірки $p^3 \cdot n$, де p – число рівнів по кожному фактору, а n – число багаторазових спостережень для усіх сполучень рівнів факторів, що впливають

[14]. Для статистичної значущості отриманих у ході дисперсійного аналізу результатів величина P повинна відповідати умовам $P > 3$, $n > 1$ [14].

Отже при $P = 4$, а $n = 2$ мінімальний об'єм числа спостережень показника контролю K повинен дорівнювати $4^3 \cdot 2 = 128$ значень. Технічно забезпечити таку кількість нестандартних проб при збереженні однорідності вимірювального експерименту досить складно. Щоб цього уникнути зробимо спрощення моделі (4.1), залишивши у ній лише основні відхилення $\delta_a, \alpha_b, \beta_c$, та відхилення, зумовлені парними взаємодіями $(\delta\alpha)_{ab}, (\delta\beta)_{ac}$. Така модель буде мати підвищений залишок h_{abcv} у який входить випадковий залишок d_{abcq} та відхилення, обумовлені дією трьох факторів, що впливають $(\delta\alpha\beta)_{abc}$, а також парним відхиленням $(\alpha\beta)_{bc}$:

$$K_{abcv} = \bar{K} + \delta_a + \alpha_b + \beta_c + (\delta\alpha)_{ab} + (\delta\beta)_{ac} + h_{abcv} \quad (3.2)$$

Також є можливість знизити складність моделі (4.1) якщо звести її до двох двофакторних моделей перехресної класифікації:

$$K_{abv} = \bar{K} + \delta_a + \alpha_b + (\delta\alpha)_{ab} + h_{(\alpha)abv}; \quad c = q = v \quad (3.3)$$

$$K_{acv} = \bar{K} + \delta_a + \beta_c + (\delta\beta)_{ac} + h_{(\beta)acv}; \quad b = q = v, \quad (3.4)$$

де v – номер багаторазових вимірювань показника K у комірці таблиць вихідних даних моделей (3.3) та (3.4).

Порівняння залишків цих моделей з залишками моделей (3.1) та (3.2) показує, що спрощення моделі знижує її точність, оскільки ці залишки більше ніж d_{abcq} .

Проведемо дослідження умови, що дозволяє синтезувати модель (3.2) на основі моделей (3.3) та (3.4), для кожної з яких має місце одне і теж основне

відхилення δ_a , додаткові відхилення α_b, β_c , та відхилення, зумовлені ефектами парної взаємодії.

Першою умовою є забезпечення рівності один одному основних відхилень у моделях (3.3) та (3.4). Для цього, число груп результатів спостереження значень показника контролю K повинно бути однаковим для усіх моделей. Це відповідає однаковій кількості рядків у таблиці вихідних даних [4]; [14].

Число значень показника контролю K у кожній з груп повинно бути таким же самим g , а значення K_{abc} у кожній групі повинно залишатися незмінним N/g для будь якої з моделей (3.3) або (3.4). Групування величин K_{abcq} повинно проводитись по заданих групах значень параметру колориметричного контролю Z . Спосіб формування підгруп (стовбців) у таблиці вихідних даних, повинен визначатися обраним додатковим фактором, що впливає та передбачати одну й ту саму процедуру вибору значень K_{abc} для кожної із підгруп групи з фіксованим номером $a, a = \overline{1, n}$. Кількість підгруп у кожній групі також повинно бути однаковим l , для кожної з моделей (3.3) або (3.4). У кожній підгрупі будь якої з груп (комірці таблиці вихідних даних) буде однакове $m = N/g \cdot l$ число спостережень [4]; [14].

Для моделювання додаткового факторного впливу (по стовбцях вихідних даних) на показник K будемо використовувати наступні дії:

- ранжируємо по зростанню внутрішньогрупові значення показника контролю K_i , що відповідає обраному додатковому фактору, що впливає;
- розіб'ємо ранжировані (по усім g групам) ряди значень показника K_i на i груп;
- у кожній підгрупі відбираємо n значень інформаційного показника K , що відповідає n значенням показника K_i та занесемо їх до комірки вихідних даних.

Отримана $g \times l$ таблиця результатів спостережень значень показника контролю K із n багаторазовими спостереженнями у кожній з $g \times l$ комірок

може бути використано для дисперсійного аналізу будь якої з моделей (3.3) або (3.4) перехресних класифікацій, що відповідають заданому додатковому фактору, що впливає K_i , $i = \overline{1,2}$.

Позначимо ці фактори як K_α , K_β . У загальному випадку будь який з цих факторів буде позначатись як $K_{(i)}$ та будь яка з моделей (4.3) або (4.4) може бути представлена у вигляді:

$$K_{adv} = \bar{K} + \delta_a + i_d + (\delta i)_{ad} + h_{adv} \quad (3.5)$$

Повне розкладання суми квадратів відхилень величин K_{adv} від $\bar{K}$, із виконанням початкових умов та обмежень моделі (3.1) має наступний вигляд:

$$\Sigma = \Sigma_\delta + \Sigma_a + \Sigma_{\delta a} + \Sigma_{ea} \quad (3.6)$$

Результати дисперсійного аналізу моделі (3.5) наведено в таблиці 3.2 [14], де $\bar{K}_a$, $\bar{K}_d$, $\bar{K}_{ad}$ – середні по рядках, стовбцях та у комірках.

Таблиця 3.2 – Результати дисперсійного аналізу моделі (3.5)

Джерело мінливості	Число ступенів свободи	Сума квадратів відхилень
Основний фактор Z	$k = g - 1$	$\Sigma_\delta = nl \sum_{a=1}^g (\bar{K}_a - \bar{K})^2$
Додатковий фактор K_i	$k = l - 1$	$\Sigma_a = ng \sum_{d=1}^l (\bar{K}_d - \bar{K})^2$
Взаємодія між Z та K_i	$k = (g-1)(l-1)$	$\Sigma_{\delta a} = n \sum_{a=1}^g \sum_{d=1}^l (\bar{K}_{\delta a} - \bar{K}_\delta - \bar{K}_a + \bar{K})^2$
Залишок (у середині комірки)	$k = gl(n-1)$	$\Sigma_{ea} = \sum_{a=1}^g \sum_{d=1}^l \sum_{v=1}^n (K_{adv} - \bar{K}_{ad})^2$

Продовження таблиці 3.2

Загальний	$k = N - 1$	$\Sigma = \sum_{a=1}^g \sum_{d=1}^l \sum_{v=1}^n (K_{adv} - \bar{K})^2$
-----------	-------------	---

Враховуючи, що для моделей (3.3) та (3.4) однаковим є $\bar{K}$ та суми Σ та Σ_δ представимо суму квадратів відхилень K_{abc} від K моделі (4.2) як об'єднання суми (4.6), $i = \overline{1,2}$ із фіктивною залишковою сумою Σ_e^f :

$$\Sigma = \Sigma_\delta + \Sigma_\alpha + \Sigma_\beta + \Sigma_{\delta\alpha} + \Sigma_{\delta\beta} + \Sigma_e^f \quad (3.7)$$

Отримане співвідношення (3.7) дозволяє спростити модель (3.2) до наступного виду:

$$K_{abcv} = \bar{K} + \delta_a + \alpha_b + \beta_c + (\delta\alpha)_{ab} + (\delta\beta)_{ac} + h_{abcv}^f \quad (3.8)$$

Розрахунок сум правої частини виразу (3.7) здійснюється за рівняннями сум квадратів таблиць результатів дисперсійного аналізу моделей (3.3) та (3.4), аналогічних табл. 3.2 (окрім Σ_e^f), проводячи заміну фактору $K_{(i)}$ на конкретний додатковий фактор, що впливає K_α , K_β .

Суму Σ_e^f можна розрахувати з будь якого рівняння:

$$\begin{cases} \Sigma_e^f = \Sigma_{e\alpha} - \Sigma_\beta - \Sigma_{\delta\beta}; \\ \Sigma_e^f = \Sigma_{e\beta} - \Sigma_\alpha - \Sigma_{\delta\alpha}; \end{cases} \quad (3.9)$$

$$\Sigma_e^f = \Sigma_{e\alpha} + \Sigma_{e\beta} + 2\Sigma_\delta - 2\Sigma \quad (3.10)$$

У таблиці 3.3 наведено результати дисперсійного аналізу спрощеної моделі (3.8), випадковий залишок якої є фіктивним (визначає суму Σ_e^f у рівнянні (3.7)) [14].

Таблиця 3.3 – Результати дисперсійного аналізу спрощеної моделі (3.8), випадковий залишок якої є фіктивним (визначає суму Σ_e^f у рівнянні (3.7))

Джерело мінливості	Число ступенів свободи	Сума квадратів відхилень
Основний фактор Z	$k_Z = g - 1$	$\bar{\Sigma}_\delta = \Sigma_\delta / k_Z$
Додатковий фактор K_α	$k_\alpha = l - 1$	$\bar{\Sigma}_\alpha = \Sigma_\alpha / k_\alpha$
Додатковий фактор K_β	$k_\beta = l - 1$	$\bar{\Sigma}_\beta = \Sigma_\beta / k_\beta$
Взаємодія ZK_α	$k_{\delta\alpha} = (g - 1)(l - 1)$	$\bar{\Sigma}_{\delta\alpha} = \Sigma_{\delta\alpha} / k_{\delta\alpha}$
Взаємодія ZK_β	$k_{\delta\beta} = (g - 1)(l - 1)$	$\bar{\Sigma}_\delta = \Sigma_{\delta\beta} / k_{\delta\beta}$
Залишок	$k_e = N - g(2l - 1)$	$\bar{\Sigma}_e = \Sigma_e^f / k_e$
Загальний	$k = N - 1$	$\bar{\Sigma} = \Sigma / k$

3.4 Аналіз властивостей спрощеної моделі впливу на показник колориметричного контролю

Проведемо аналіз спрощеної моделі (3.2). Ця модель, що використовується для результатів спостережень значень K_{abcv} інформаційного параметру K займає проміжне положення між моделлю (3.1) та моделями (3.3) і (3.4).

З (3.9) випливає, що залишкова сума спрощеної моделі (3.10) менше ніж залишкові суми моделей (3.3) та (3.4). Це говорить про підвищену точність такої моделі у порівнянні з моделями перехресної класифікації (3.3) і (3.4).

З табл. 3.3 можна зробити висновок про те, що число ступенів свободи залишкової суми Σ_e^f зменшується з підвищенням числа g груп (по рівням параметру колориметричного контролю Z) та числа l підгруп (по рівню додаткових факторів, що впливають K_α, K_β).

Напишемо k_e із табл. 3.3 у вигляді:

$$k_e = N - gl \left(2 - \frac{g}{l} \right) \quad (3.11)$$

Із співвідношення (3.11) видно, що число ступенів свободи тим більше, при $g \cdot l = \text{const}$, чим більше співвідношення g/l .

Такий висновок дає змогу планувати число груп та підгруп у таблицях вихідних даних моделей (3.3) і (3.4). Число g груп (піддіапазонів вимірювання параметру K колориметричного контролю Z) бажано збільшувати, а число підгруп бажано зменшити, зводячи l до мінімуму. Це дасть змогу підвищити число ступенів свободи залишкової суми Σ_e^f .

Головною перевагою спрощеної моделі є можливість одночасної перевірки гіпотези H_0 : вплив факторів Z, K_α, K_β на інформаційний показник K . Він є відсутнім, тому $H_0: \delta_h = \dots = \delta_g = 0$ [14].

Складові цієї основної гіпотези мають вид:

$$H_0^\alpha : \alpha_h = \dots = \alpha_l = 0;$$

$$H_0^\beta : \beta_h = \dots = \beta_l = 0;$$

$$H_0^{\delta\alpha} : (\delta\alpha)_h = \dots = (\delta\alpha)_{gl} = 0;$$

$$H_0^{\delta\beta} : (\delta\beta)_h = \dots = (\delta\beta)_{gl} = 0.$$

Перевірка перелічених гіпотез по відношенням відповідних середніх квадратів $(\bar{\Sigma}_\delta, \bar{\Sigma}_\alpha, \bar{\Sigma}_\beta, \bar{\Sigma}_{\delta\alpha}, \bar{\Sigma}_{\delta\beta})$ до середнього залишкового квадрату $\bar{\Sigma}_e$ із

подальшим порівнянням отриманих F – статистик із відповідними відсотковими точками для F – розподілів [14].

Дана перевага спрощеної моделі (4.8) дає можливість оцінити кількість очікуваної інформації про рівні параметру колориметричного контролю Z для інформаційного показника K при урахуванні рівнів як факторів, що впливають так і їх взаємодії [4; 14].

$$I = \log \sqrt{1 + \left(\frac{\sigma_K}{\sigma_{\Delta K}} \right)^2} \quad (3.12)$$

де $\sigma_K^2 = \bar{\Sigma}_\delta$, а $\sigma_{\Delta K}^2$ – є функцією суми квадратів відхилень $(\bar{\Sigma}_\delta, \bar{\Sigma}_\alpha, \bar{\Sigma}_\beta, \bar{\Sigma}_{\delta\alpha}, \bar{\Sigma}_{\delta\beta}, \bar{\Sigma}_e^f)$ у табл. 3.2 та табл. 3.3.

Зведемо у табл. 3.4 рівняння для розрахунку $\sigma_{\Delta K}^2$ для спрощеної моделі при різних сполученнях факторів, що впливають на інформаційний показник K .

Таблиця 3.4 – Рівняння для розрахунку $\sigma_{\Delta K}^2$ для спрощеної моделі при різних сполученнях факторів, що впливають на інформаційний показник K

Факторні впливи	$\sigma_{\Delta K}^2$
Додатковий фактор K_α	$\Sigma_\beta + \Sigma_{\delta\alpha} + \Sigma_{\delta\beta} + \Sigma_e^f / k_\beta + k_{\delta\alpha} + k_{\delta\beta} + k_e$
Додатковий фактор K_β	$\Sigma_\alpha + \Sigma_{\delta\alpha} + \Sigma_{\delta\beta} + \Sigma_e^f / k_\alpha + k_{\delta\alpha} + k_{\delta\beta} + k_e$
K_α, K_β	$\Sigma_{\delta\alpha} + \Sigma_{\delta\beta} + \Sigma_e^f / k_{\delta\alpha} + k_{\delta\beta} + k_e$
$K_\alpha, K_\beta, ZK_\alpha$	$\Sigma_{\delta\beta} + \Sigma_e^f / k_{\delta\beta} + k_e$
$K_\alpha, K_\beta, ZK_\beta$	$\Sigma_{\delta\alpha} + \Sigma_e^f / k_{\delta\alpha} + k_e$
$K_\alpha, K_\beta, ZK_\alpha, ZK_\beta$	$\bar{\Sigma}_e$

Якщо нехтують урахуванням всіх факторів, що впливають (що відповідає отриманню інформації при багатфакторному впливі), то

$$\sigma_{\Delta K}^2 = \frac{\Sigma_{\delta} + \Sigma_{\alpha} + \Sigma_{\beta} + \Sigma_{\delta\alpha} + \Sigma_{\delta\beta} + \Sigma_e^f}{N - g - 2} \quad (3.13)$$

3.5 Перевірка статистичних висновків при використанні спрощеної моделі факторного впливу на лінійну функцію перетворення цих показників

Для перевірки статистичних висновків напишемо модель K_{abcv} (3.8) у вигляді однофакторної моделі односторонньої класифікації [18], коли вплив додаткових факторів визначає тільки величину випадкового залишку h_{ad}

$$K_{ad} = \bar{K} + \delta_a + h_{ad} \quad (3.14)$$

де $a = \overline{1, j}$; $h = \overline{1, n}$; $n = N/j$.

Величина j багатфакторних спостережень у кожній з n груп однакова.

Модель (3.14) у силу невизначеності рівнів параметру колориметричного контролю Z відноситься до моделей компонент дисперсій [14].

Використовуючи формальний аналіз моделі (3.14) [14] напишемо вираз повної суми квадратів відхилень Σ через суму двох доданків

$$\Sigma_{\delta} = n \sum_{d=1}^g (\bar{K}_a - \bar{K})^2 \quad (3.15)$$

$$\Sigma_h = \sum_{a=1}^g \sum_{b=1}^n (K_{ab} - \bar{K}_a)^2 \quad (3.16)$$

Розглянемо відношення середніх квадратів для сум Σ_{δ} та Σ_h :

$$F = \frac{\Sigma_{\delta} / (j - 1)}{\Sigma_h / (N - j)} \quad (3.17)$$

Статистика F може бути використана для перевірки однієї з гіпотез:

$$H_0 : M[\bar{K}_1] = \dots = M[\bar{K}_g],$$

$$H_1 : M[\bar{K}_1] \neq \dots \neq M[\bar{K}_g].$$

З теорії [15] відомо, якщо статистичні висновки свідчать про справедливість основної гіпотези H_0 то параметр Z не впливає на зміну показника контролю K . Відомо, що показник K не несе інформацію про зміну рівнів параметру колориметричного контролю Z . Якщо справедлива гіпотеза H_1 , то показник K є інформативним по відношенню до параметра контролю Z . Рішення ξ_0 (справедлива гіпотеза H_0) та ξ_1 (справедлива гіпотеза H_1) приймають, порівнюючи статистику F із критичним значенням $F_{кр}$.

Умовні щільності розподілу ймовірності статистики F являють собою лінійно перетворену випадкову величину із центральним $F_{g-1, N-g}$, розподілом [15]:

$$f(F/H_0) \approx F_{g-1, N-g} \quad (3.18)$$

$$f(F/H_1) \approx \left(1 + n \frac{\sigma_\delta^2}{\sigma^2}\right) \cdot F_{g-1, N-g} \quad (3.19)$$

Дисперсії σ_δ^2 та σ^2 відносяться до випадкових відхилень δ_a і h_{ad} відповідно у моделі (3.14).

Дисперсію σ_δ^2 можна розписати як суму

$$\sigma_\delta^2 = \sigma_Z^2 + \sigma_R^2 \quad (3.20)$$

де σ_Z^2 – дисперсія параметру контролю Z , що зумовлена невизначеністю його значень у діапазоні вимірювань X_Z ;

σ_R^2 – дисперсія результату вимірювання значень параметру колориметричного контролю Z , що зумовлена невизначеністю відтворення значень Z технічними засобами контролю, тобто це дисперсія результату вимірювань.

Таким чином, якщо показник контролю K чутливий до зміни рівня параметра колориметричного контролю Z у всьому діапазоні його вимірювань, то статистика F буде характеризуватися щільністю розподілу (4.19) для всіх рівнів вимірювання показника Z .

Виходячи з отриманих результатів розглянемо завдання одностороннього тестування параметру Z у рамках виконання альтернативної гіпотези H_1 . Цю гіпотезу необхідно представити як складну, що перевіряє відповідність між дійсним значенням δ параметра колориметричного контролю Z і контрольним значенням δ_0 :

$$H_1^0 : \delta \leq \delta_0 \text{ (параметр } Z \text{ у нормі);}$$

$$H_1^1 : \delta > \delta_0 \text{ (параметр } Z \text{ не у нормі).}$$

Це має відповідати вибору рішення:

$$\xi_0 : F \leq F_{кр}; \quad (3.21)$$

$$\xi_1 : F > F_{кр}. \quad (3.22)$$

Введемо позначення, що P_1 та P_2 це ймовірності помилок першого та другого роду [16]:

$$p_1 = P(\xi_1 / \delta \leq \delta_0); \quad (3.23)$$

$$p_2 = P(\xi_0 / \delta > \delta_0). \quad (3.24)$$

Ймовірність вибору рішень ξ_0 , ξ_1 відповідно визначаються:

$$P[F > F_{kp}] \geq 1 - p_2, \quad (3.25)$$

$$P[F > F_{kp}] \leq p_1. \quad (3.26)$$

Оскільки F має розподіл (4.19), то з (4.25) і (4.26) витікає

$$\begin{cases} P[F_{g-1, N-g} > F_{kp} (1 + n\gamma_1^2)^{-1}] \geq 1 - p_2; \\ P[F_{g-1, N-g} > F_{kp} (1 + n\gamma_0^2)^{-1}] > p_1, \end{cases} \quad (3.27)$$

$$\text{де} \quad \begin{cases} \gamma_1^2 = \frac{\sigma_Z^2 + \sigma_R^2}{\sigma^2}; \\ \gamma_0^2 = \frac{\sigma_R^2}{\sigma^2}. \end{cases} \quad (3.28)$$

Із (3.27) можна знайти F_{kp} , що задовольняє обом цим співвідношенням.

Для цього треба щоб виконувалась умова

$$\frac{F_{g-1, N-g, 1-p_1}}{F_{g-1, N-g, p_2}} \leq \frac{1 + n\gamma_1^2}{1 + n\gamma_0^2} \quad (3.29)$$

Чисельник і знаменник лівої частини нерівності (4.29) це $(1 - p_1)$ та p_2 відсоткові точки центрального F – розподілу з $(g - 1)$ та $(N - g)$ ступенями свободи [15].

Зазначимо, що (4.29) відповідає нерівності

$$\frac{\chi_{g-1, 1-p_1}^2}{\chi_{g-1, p_2}^2} \leq \frac{\gamma_1^2}{\gamma_0^2} \quad (3.30)$$

де $\chi^2_{g-1, 1-p_1}$, χ^2_{g-1, p_2} – відсоткові точки центрального χ^2 розподілу із $(g-1)$ ступенями свободи [15].

Із (3.30) витікає, що по заданому числу рівнів g параметру колориметричного контролю Z (груп результатів спостережень параметру K моделі (3.14)) та заданому співвідношенню $\gamma_1^2/\gamma_0^2 = \Theta$ можливо оцінити достовірність прийняття рішень ξ_0 та ξ_1

$$A = 1 - \frac{p_1 + p_2}{2} \quad (3.31)$$

зафіксувавши, наприклад, величину p_1 (критерій Наймена – Пірсона) та розрахувавши p_2 , як інтервал[4]; [17]:

$$p_2 = \frac{1}{2^{\frac{g-1}{2}} \cdot \Gamma\left(\frac{g-1}{2}\right)} \int_0^{z_{min}} \chi^{\left(\frac{g-1}{2}-1\right)} \cdot e^{-\frac{\chi}{2}} d\chi \quad (3.32)$$

де $z_{min} = \chi^2_{g-1, 1-p_1} / \Theta$;

$\Gamma\left(\frac{g-1}{2}\right)$ – гама-функція [17].

Відношення Θ визначають із (4.28):

$$\Theta = 1 + \frac{\sigma_R^2}{\sigma^2} \quad (3.33)$$

3.6 Застосування коваріаційного аналізу для визначення факторного впливу на функціональне перетворення параметра контролю при колориметричному дослідженні

Особливості коваріаційного аналізу.

Дисперсійний аналіз можна визначити як параметричний, статистичний метод, призначений для оцінки впливу різних категоріальних предикторів (факторів) на результат експерименту, а також для подальшого планування експериментів [17].

На відміну від дисперсійного та регресійного аналізу коваріаційний аналіз ставить собі за мету дослідити характер взаємозв'язку між залежною величиною – відгуком і набором кількісних і якісних незалежних величин – предикторів і побудувати регресійну модель, тобто він є як би синтезом регресійного і дисперсійного аналізу. Незалежні кількісні змінні, що відносяться до інтервальної шкали або до шкали відносин (метричної), називаються коваріатами. Якщо в дисперсійному аналізі оцінюється ступінь випадкової мінливості відгуку з боку ефектів – категоріальних предикторів і їх комбінацій, то у коваріаційному аналізі оцінюється ступінь мінливості відгуку також і з боку безперервних предикторів, званих коваріатами. Відносно коваріат робляться припущення про те, що вони поряд з ефектами обумовлюють деяку частку варіації (мінливості) залежної змінної. Якщо ступінь мінливості відгуку від коваріат велика, то робимо висновок про статистично значущий вплив коваріат на відгук [17].

У кваліфікаційній роботі будемо розглядати вимірювальне перетворення параметра колориметричного контролю Z у значення показника контролю K у формі лінійної регресійної моделі

$$\hat{K} = y + k \cdot Z. \quad (3.34)$$

Коефіцієнти y і k даної моделі є випадковими величинами, математичні очікування яких є невідомими функціями рівнянь факторів, що впливають.

Побудуємо таблицю 3.5 вихідних даних для моделі (3.5) перехресних класифікацій при одному факторі, що впливає K_1 , інформаційному показнику K та параметрі Z .

Таблиця 3.5 – Вихідні дані для моделі (3.5) перехресних класифікацій при одному факторі, що впливає K_1 , інформаційному показнику K та параметрі Z

Параметр контролю Z	Рівні фактору, що впливає K_1					
	1	2	...	d	...	l
Z_{1dm}	K_{11m}	K_{12m}	...	K_{1dm}	...	K_{1lm}
Z_{2dm}	K_{21m}	K_{22m}	...	K_{2dm}	...	K_{2lm}
Z_{adm}	...	...	...	K_{adm}	...	...
Z_{gdm}	K_{g1m}	K_{g2m}	...	K_{gdm}	...	K_{gdm}

Примітка:

- $m = \overline{1, n}$ – індекс нумерації у середині комірок;
- індекси a та d задають рівні, відповідно, параметра, що контролюється та фактору, що впливає.

З метою проведення аналізу взаємозв'язку та міжгрупової мінливості величин Z та K_1 використаємо модель дисперсійного аналізу у формі лінійної регресії виду (3.34), побудованої по парним значенням (Z_{adm}, K_{adm}) спостережень для усіх комірок табл. 3.5. Кількість стовбців зводимо до мінімуму.

Будуємо для кожної з комірок табл. 3.5 S регресії $(S = g \cdot l)$:

$$\hat{K}_{adm} = y_{ad} + k_{ad} \cdot Z_{adm} \quad (3.35)$$

Кожна з регресії будується по n парним значенням (Z_{adm}, K_{adm}) .

Відповідно до [15] існує лінійна, порядку $2(k-1)$ гіпотеза, що передбачає повний збіг усіх k регресій (3.35) та їх тотожність регресії (3.34).

$$H_0 : y_{1d} = \dots = y_{a1} = \dots = y_{ad} = y, \quad k_{1d} = \dots = k_{a1} = \dots = k_{ad} = k$$

Із [15] відомо, що повне розкладання суми Σ квадратів відхилень усіх N значень $\hat{K}_{adm}$ від загального середнього $\bar{K}$ містить п'ять складових:

$$\Sigma = \Sigma_{\delta} + \Sigma_{\alpha\beta} + \Sigma_{\alpha} + \Sigma_{\beta} + \Sigma_e. \quad (3.36)$$

Результати дисперсійного аналізу лінійної регресії (3.35) у відповідності до розкладання (3.36) зведено до табл. 3.6.

Такий аналіз і називають коваріаційним [15].

Використовуючи табл. 3.6 є можливість представити результат K_{adm} вимірювання значень показника контролю K у формі функціональної моделі односторонньої класифікації при двомірних спостереженнях:

$$K_{adm} = \bar{K} + L_{\delta}(Z_{adm} - \bar{Z}) + (L_r - L_u)(\bar{Z}_{ad} - \bar{Z}) + \phi_{ad} + \eta_{ad} + \mu_{ad}. \quad (3.37)$$

Таблиця 3.6 – Результати коваріаційного аналізу

Джерело мінливості	Число ступенів свободи	Сума квадратів відхилень
Параметр Z	$k_{\delta} = 1$	$\Sigma_{\delta} = \Psi_{\delta} L_{\delta}$
Середньозважений кутовий коефіцієнт порівнянні внутрішньо груповим кутовим коефіцієнтом	$k_{\alpha\beta} = 1$	$k_{\alpha\beta} = \frac{\Psi_r \cdot \Psi_u}{\Psi_{\delta}} (L_r - L_u)^2$

Продовження таблиці 3.6

Відносна лінійна регресія групових середніх	$k_{\alpha} = g - 2$	$\Sigma_{\alpha} = n \sum_{a=1}^g \sum_{d=1}^l [\bar{K}_{ad} - \bar{K} - L_u (\bar{Z}_{ad} - \bar{Z})]^2$
Між кутовими коефіцієнтами усередині групи	$k_{\beta} = g - 1$	$\Sigma_{\beta} = \sum_{a=1}^g \sum_{d=1}^l \psi_{ad} (L_{ad} - L_r)^2$
Залишок	$k_e = N - 2g$	$\Sigma_e = \sum_{a=1}^g \sum_{d=1}^l \sum_{m=1}^n [K_{adm} - \bar{K}_{ad} - L_{ad} (Z_{adm} - \bar{Z}_{ad})]^2$
Загальний	$k = N - 1$	$\Sigma = \sum_{a=1}^g \sum_{d=1}^l \sum_{m=1}^n (K_{adm} - \bar{K})^2$

Примітка:

$$- \quad \psi_{\delta} = \sum_{a=1}^g \sum_{d=1}^l \sum_{m=1}^n (Z_{adm} - \bar{Z})^2$$

$$- \quad \psi_u = n \sum_{a=1}^g \sum_{d=1}^l (Z_{ad} - \bar{Z})^2$$

$$- \quad \psi_r = \sum_{a=1}^g \sum_{d=1}^l \sum_{m=1}^n (Z_{adm} - \bar{Z}_{ad})^2$$

– $\bar{Z}, \bar{Z}_{ad}$ – загальні середні та групові середні значення параметру

контролю Z ;

– $\bar{K}, \bar{K}_{ad}$ – загальні середні та групові середні значення показника

контролю K ;

– L_{ad} – оцінки кутових коефіцієнтів k_{ad} ;

$$- \quad \psi_{ad} = \sum_{m=1}^n (Z_{adm} - \bar{Z}_{ad})^2$$

$$- \quad L_r = \psi_r^{-1} \sum_{a=1}^g \sum_{d=1}^l \psi_{ad} \cdot L_{ad}$$

$$- \quad L_u = \psi_u^{-1} \cdot n \sum_{a=1}^g \sum_{d=1}^l (\bar{Z}_{ad} - \bar{Z})(\bar{K}_{ad} - \bar{K})$$

$$- \quad L_{\delta} = \psi_{\delta}^{-1} \cdot (\psi_r L_r + \psi_u L_u)$$

Співвідношення між складовими правої частини (3.36) та відхиленнями правої частини моделі (3.37) зведемо у табл. 3.7.

Таблиця 3.7 – Відповідність елементів функціональної моделі і суми квадратів відхилень

Сума квадратів	Відхилення
Σ_{δ}	$L_{\delta} \cdot (Z_{adm} - \bar{Z})$
$\Sigma_{\alpha\beta}$	$(L_r - L_u) \cdot (Z_{ad} - \bar{Z})$
Σ_{α}	ϕ_{ad}
Σ_{β}	η_{ad}
Σ_e	μ_{ad}

Для оцінювання впливу фактору K_1 на групові регресії (3.35) потрібно розділити його вплив на дві складові [4]; [15]:

- вплив на кутові коефіцієнти k_{ad} ;
- вплив на вільні члени групових регресій y_{ad} .

При цьому форма коваріаційного аналізу залежить від прямої моделі впливу на параметри k_{ad} і y_{ad} :

$$K_{adm} = y_{ad} + L(Z_{adm} - \bar{Z}) + \mu_{ad} . \quad (3.38)$$

$$K_{adm} = y_{ad} + L_{ad}(Z_{adm} - \bar{Z}) + \mu_{ad} \quad (3.39)$$

Модель 2 більш відповідає випадку великої апріорної невизначеності параметра контролю, коли

$$k_{1d} \neq \dots \neq k_{a1} \neq \dots \neq k_{ad} \quad (3.40)$$

Для моделі 1 маємо:

$$k_{1d} = \dots = k_{a1} = \dots = k_{ad} \quad (3.41)$$

Для кожної із моделей є можливість перевірити гіпотезу про вплив факторів на вільні члени групових регресій [15]

$$H_0^y : y_{1d} = \dots = y_{a1} = \dots = y_{ad}; \quad (3.42)$$

Якщо гіпотеза не підтверджується, то має місце факторний вплив на адитивну складову похибки вимірювання параметра колориметричного контролю Z .

Вплив на мультиплікативну складову похибки вимірювання можливий, якщо не виконується гіпотеза

$$H_0^k : k_{1d} \neq \dots \neq k_{a1} \neq \dots \neq k_{ad}. \quad (3.43)$$

Для того, щоб перевірити гіпотези будемо використовувати вирази для статистик F , що наведено в табл. 3.8.

Таблиця 3.8 – Тестові F-статистики

№	H_0^y	H_0^k
1	$F_{g-1, N-g-1}^y = \left(\frac{\Sigma_{\alpha\beta} + \Sigma_{\beta}}{\Sigma_e + \Sigma_{\alpha}} \right) \cdot \left(\frac{N-g-1}{g-1} \right)$	$F_{g-1, N-2g}^k = \frac{\Sigma_{\beta}}{\Sigma_e} \cdot \left(\frac{N-2g}{g-1} \right)$
2	$F_{g-1, N-2g}^y = \left(\frac{\Sigma_{\delta} + \Sigma_{\alpha\beta} + \Sigma_{\alpha} + \Sigma_{\beta} - \Sigma_{\varphi}}{\Sigma_e} \right) \cdot \left(\frac{N-2g}{g-1} \right)$	

Примітка до табл. 3.8:

$$\Sigma_{\varphi} = \psi_{\delta} \sum_{a=1}^g \sum_{d=1}^l \left[\frac{\sum_{m=1}^n (Z_{adm} - \bar{Z}) \cdot (K_{adm} - \bar{K})}{\sum_{m=1}^n (Z_{adm} - \bar{Z})^2} \right]. \quad (3.44)$$

Для оцінювання кількості очікуваної інформації про рівні параметра контролю Z необхідно використати одну з двох F – статистик [14]:

1) при багатofакторному впливі на показник контролю K не враховуючи фактори, що впливають

$$F_0^{yk} = \frac{\Sigma_{\delta}(N-2)}{\Sigma_{\alpha\beta} + \Sigma_{\alpha} + \Sigma_{\beta} + \Sigma_e} \quad (3.45)$$

2) при врахуванні усіх факторів, що впливають

$$F_0 = \frac{\Sigma}{\Sigma_e}(N-2g) \quad (3.46)$$

Якщо потрібно отримати інформацію про рівні впливу на коефіцієнти y_{ad} та k_{ad} моделі (4.35), то слід використовувати табл. 4.7.

Кількість інформації по варіантам впливу отримують з рівняння (3.12) замінивши відношення $\sigma_K/\sigma_{\Delta K}$ на відповідну F – статистику [15]:

– для оцінювання достовірності висновків про факторні впливи на перетворення параметра контролю, слід враховувати, що метрологічна невизначеність впливає на адитивний зсув функції перетворення, тому для оцінювання відношення дисперсій рівняння (3.33) слід використовувати модель $2 - F_{g-1, N-2 \cdot g}^y$ [3].

3.7 Оцінювання інформативності показників при колориметричному контролі з використанням моделей дискримінантного аналізу

Основні положення дискримінантного аналізу.

Дискримінантний аналіз – це статистичний метод вирішення завдань розрізнення (дискримінації) об’єктів спостереження за сукупністю ознак. Всі процедури дискримінантного аналізу можна розбити на дві групи. Перша група

процедур дозволяє інтерпретувати відмінності між існуючими класами, друга – проводити класифікацію нових об’єктів в тих випадках, коли невідомо заздалегідь, до якого з існуючих класів вони належать [18].

Моделі дискримінантного аналізу використовують при односторонньому параметричному контролі при відомих ймовірностях першого та другого роду [4]. Статистикою тестування є відношення максимальної правдоподібності, що мінімізує повну ймовірність помилки контролю [4].

Повна ймовірність такої оцінки складається із ймовірностей помилок P_1 і P_2 та апіорних ймовірностей належності параметра контролю Z області припустимих значень ε та області критичних значень μ .

$$\hat{P} = P_A^{(1)} p_1 + P_A^{(2)} p_2, \quad (3.47)$$

де $P_A^{(1)}$ та $P_A^{(2)}$ – апіорні ймовірності належності параметра контролю Z області припустимих значень ε та області критичних значень μ [4].

Розглянемо гіпотези, що необхідно перевірити:

$$\begin{cases} H_0 : Z = Z_0 \\ H_1 : Z = Z_1, (Z_1 < Z_0) \text{ або } (Z_1 > Z_0) \end{cases} \quad (3.48)$$

Будемо розглядати показник контролю K , що характеризує один з двох можливих станів об’єкту колориметричного контролю:

$$G_0 : Z \in (z_{\min}, z_0);$$

$$G_1 : Z \in (z_0, z_{\max}).$$

Ширину діапазону вимірювань значень z_a , $a = \overline{1, N}$ визначимо як

$$W_z = z_{\max} - z_{\min}.$$

Тоді гіпотеза (4.48) приймає вигляд:

$$\begin{cases} H_0 : Z = \bar{z}_0; \\ H_1 : Z = \bar{z}_1, \end{cases} \quad (3.49)$$

де

$$\begin{aligned} \bar{z}_0 &= M[Z/z_a \in (z_{min}, z_0)]; \\ \bar{z}_1 &= M[Z/z_a \in (z_0, z_{max})]. \end{aligned}$$

Апріорні ймовірності гіпотез H_0 і H_1 будемо вважати однаковими, що відповідає випадку коли $P_A^{(1)} = P_A^{(2)} = 0,5$ [18].

Знайдемо вираз для кількості інформації, що отримаємо під час вимірювального колориметричного контролю станів G_0 та G_1 при використанні показника K .

Зробимо таке припущення, що $m = 2$ – число станів об'єкту контролю, тоді вихідна ентропія значень показника колориметричного контролю K

$$\begin{aligned} \bar{k}_0 &= M[K/Z = \bar{z}_0]; \\ \bar{k}_1 &= M[K/Z = \bar{z}_1]. \end{aligned}$$

визначається за формулою Шинона [10]

$$H_1 = \sum_{b=1}^m P_b \log P_b \quad (3.50)$$

Залишкова ентропія значень показника колориметричного контролю K після проведення вимірювань дорівнює [13]:

$$H_{c/b} = - \sum_{b=1}^m \sum_{c=1}^m P_{bc} \log \frac{P_{bc}}{P_c} \quad (3.51)$$

$$b = \begin{cases} 1, & \text{якщо } Z = \bar{z}_0; \\ 2, & \text{якщо } Z = \bar{z}_1, \end{cases}$$

$$c = \begin{cases} 1, & \text{якщо } K = \bar{k}_0; \\ 2, & \text{якщо } K = \bar{k}_1, \end{cases}$$

де P_{bc} – ймовірність випадку коли настануть дві події $Z = z_b$ та $K = \bar{k}_c$

P_c – ймовірність випадку коли $K = \bar{k}_c$

Враховуючи, що кількість очікуваної інформації $I = H_1 - H_{c/b}$ та, що

$$\sum_{b=1}^m P_b = \sum_{b=1}^m \sum_{c=1}^m P_{bc}, \text{ отримаємо}$$

$$I = \sum_{b=1}^m \sum_{c=1}^m P_{bc} \log \frac{P_{bc}}{P_b \cdot P_c} \quad (3.52)$$

Для прийняття моделі альтернативного тестування параметру колориметричного контролю Z по виміряним значенням показника K , тестовою статистикою буде вважатися відношення максимальної правдоподібності [16]

$$Q = \frac{f(K/Z = \bar{z}_0)}{f(K/Z = \bar{z}_1)}. \quad (3.53)$$

У чисельнику та знаменнику стоять одномірні функції правдоподібності, що є тотожні умовним щільностям розподілу ймовірностей значень показника колориметричного контролю K .

Використовуючи набір рішень

$$\xi_0 : Z = \bar{z}_0 \text{ якщо } Q \geq 1,$$

$$\xi_1 : Z = \bar{z}_1 \text{ якщо } Q < 1,$$

умовні щільності розподілу статистики Q , визначимо ймовірності помилок першого та другого родів наступним чином:

$$p_1 = \int_{Z \in \mu} f(Q/Z = \bar{z}_0) \partial Q \quad (3.54)$$

$$p_2 = \int_{Z \in \varepsilon} f(Q/Z = \bar{z}_1) \partial Q \quad (3.55)$$

У такому випадку, враховуючи, що $P_b = P_c = 0,5$ для усіх b і c , та, що $P_{11} = 0,5 \cdot (1 - p_1)$; $P_{12} = 0,5 \cdot p_1$; $P_{21} = 0,5 \cdot p_2$; $P_{22} = 0,5 \cdot (1 - p_2)$, отримаємо, використовуючи (3.52), вираз для оцінки кількості очікуваної інформації про значення параметру колориметричного контролю Z по виміряним значенням показника K

$$I = 1 + 0,5[p_1 \log p_1 + p_2 \log p_2 + (1 - p_1) \log (1 - p_1) + (1 - p_2) \log (1 - p_2)] \quad (3.56)$$

Рівняння (3.56) вказує на те, що I підвищується від 0 до 1, якщо p_1 і p_2 відповідно зменшуються від 0,5 до 0, причому

$$I = \begin{cases} 0, & \text{якщо } p_1 = p_2 = 0,5; \\ 1, & \text{якщо } p_1 = p_2 = 0. \end{cases}$$

Таким чином рівняння (3.56) може бути використано для ранжирування показників колориметричного контролю K_1, K_2, K_3 за інформативністю (за ступенем зменшення кількості очікуваної інформації про рівні $\bar{z}_0$ або $\bar{z}_1$ показника колориметричного контролю Z).

Оцінки ймовірностей p_1 і p_2 для кожного з показників колориметричного контролю знаходять використовуючи дискримінацію при нормальному законі розподілу по оцінках умовних середніх ϑ_0, ϑ_1 та умовних дисперсій σ_0^2 та σ_1^2 показника контролю та обраної одномірної моделі дискримінантної функції [3; 68].

Для лінійної дискримінантної функції ($\sigma_0^2 = \sigma_1^2 = \sigma^2$) [4]; [11].

$$\hat{p}_1 = \hat{p}_2 = 1 - \Phi\left(\lambda = \frac{|\hat{\vartheta}_0 - \hat{\vartheta}_1|}{2\sqrt{\hat{\sigma}^2}}\right),$$

де
$$\hat{\sigma}^2 = \frac{\hat{\sigma}_0^2 + \hat{\sigma}_1^2}{2}$$

$\Phi(\cdot)$ – інтеграл ймовірності [15];

$\hat{p}_1, \hat{p}_2$ – оцінки ймовірностей помилок.

Для квадратичної дискримінантної функції ($\hat{\sigma}_0^2 \neq \hat{\sigma}_1^2$) [4]; [11]

$$\hat{p}_1 = \begin{cases} \Phi(\lambda_1) - \Phi(\lambda_2), & \text{якщо } \hat{\sigma}_0^2 > \hat{\sigma}_1^2; \\ 1 - \Phi(\lambda_1) + \Phi(\lambda_2), & \text{якщо } \hat{\sigma}_0^2 < \hat{\sigma}_1^2. \end{cases} \quad (3.57)$$

$$\hat{p}_2 = \begin{cases} 1 + \Phi(\lambda_3) - \Phi(\lambda_4), & \text{якщо } \hat{\sigma}_0^2 > \hat{\sigma}_1^2; \\ 1 - \Phi(\lambda_4) - \Phi(\lambda_3), & \text{якщо } \hat{\sigma}_0^2 < \hat{\sigma}_1^2. \end{cases} \quad (3.58)$$

Значення $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \lambda_4$ визначаються із рівнянь:

$$\lambda_1 = \frac{x_2 - \hat{\vartheta}_0}{\sqrt{\hat{\sigma}_0^2}}; \quad \lambda_2 = \frac{x_1 - \hat{\vartheta}_0}{\sqrt{\hat{\sigma}_0^2}}; \quad \lambda_3 = \frac{x_1 - \hat{\vartheta}_1}{\sqrt{\hat{\sigma}_1^2}}; \quad \lambda_4 = \frac{x_2 - \hat{\vartheta}_1}{\sqrt{\hat{\sigma}_1^2}},$$

де $\hat{\vartheta}_0, \hat{\vartheta}_1, \hat{\sigma}_0^2, \hat{\sigma}_1^2$ – оцінки умовних моментів показника K .

Величини x_1, x_2 визначаються наступним чином:

$$x_1 = \frac{a - c}{b}, \quad x_2 = \frac{a + c}{b};$$

$$a = \frac{\hat{\vartheta}_0}{\hat{\sigma}_0^2} - \frac{\hat{\vartheta}_1}{\hat{\sigma}_1^2}; \quad b = \frac{1}{\hat{\sigma}_0^2} - \frac{1}{\hat{\sigma}_1^2};$$

$$c = \sqrt{a^2 - b \cdot \left(\frac{\hat{\vartheta}_0^2}{\hat{\sigma}_0^2} - \frac{\hat{\vartheta}_1^2}{\hat{\sigma}_1^2} + \ln \frac{\hat{\sigma}_0^2}{\hat{\sigma}_1^2} \right)}.$$

Таким чином, отримане рівняння (4.56) дозволяє провести розрахунок кількості очікуваної вимірювальної інформації про рівень параметру колориметричного контролю Z для кожного з трьох обраних показників контролю, а саме температури, вологості та освітленості, та ранжувати ці показники у порядку зменшення кількості цієї інформації.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ

4.1 Аналіз умов праці

Науково-дослідна лабораторія (НДЛ) має розміри: довжина 14 м, ширина 8,5 м, висота 4 м. Кількість робочих місць 12. У приміщенні встановлені 6 апаратів для паяння, оскільки при проведенні досліджень проводиться монтаж та паяння різних елементів [31]. Також на інших робочих місцях встановлено ПК: монітори LCD; споживана потужність 400 Вт; ЦПУ – Intel Core i7 (4790); оперативна пам'ять типу DDR3 (1833 МГц) – 16 Гб. На кожну людину припадає площа 9,91 м² та об'єм 39,6 м³, що відповідає вимогам ДСанПІН 3.3.2–007–98 «Державні санітарні правила і норми» .

Гігієнічні вимоги до організації роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин»: на одного працівника у приміщенні, оснащеному ЕОМ, площа не менше 6 м² та об'єм не менше 20 м³ та 4,5 м² та 15 м³ відповідно для робочих місць без ПК.

На рисунку 5.1 наведено функціональну схему обладнання на робочому місці працівника лабораторії.



Рисунок 4.1 – Функціональна схема обладнання
на робочому місці інженера

Технічні характеристики обладнання: паяльник – вхідна напруга – 220 В, потужність – 25 Вт; Осцилограф "Rigol" – вхідна напруга – 220 В, споживана потужність – 50 Вт.

Все це обладнання, при досягненні своїх функціональних характеристик здатне виділяти зайве тепло, що, своєю чергою, впливає негативно на стан працівника наукової лабораторії.

Внаслідок гігієнічної оцінки умов праці визначили, що робоче місце працівника НДЛ належить до третього класу першого ступеня шкідливості. Одним із шкідливих факторів є напруженість аналізаторських функцій – зору. Для усунення необхідно дотримуватись раціонального режиму праці та відпочинку працівників з наданням їм регламентованих перерв для проведення спеціальної зорової та загальної гімнастики з урахуванням зорово-напружених робіт за комп'ютером.

Переважаючий небезпечний фактор – підвищене значення напруги в електричному ланцюзі, замикання якого може статися через тіло людини.

4.2 Забезпечення виробничої санітарії за умов виробництва

Технічний та організаційний рівень робочих місць відповідає умовам, що описані в ГОСТ 12.2.032–78 ССБП. «Робоче місце під час виконання робіт сидячи. Загальні ергономічні вимоги (2.2.032–78)». Робочі місця відносно світлових отворів розташовуються так, що природне світло падає з лівого боку, розташовані на відстані 1 м від стін зі світловими отворами.

Конструкція робочого місця повинна забезпечувати підтримку оптимальної робочої пози з такими ергономічними характеристиками:

- стопи ніг – на підлозі або на підставці для ніг;
- стегна – у горизонтальній площині;
- передпліччя – вертикально;
- лікті – під кутом $70^{\circ}\text{C} - 90^{\circ}\text{C}$ до вертикальної площини;
- зап'ястя – зігнуті під кутом трохи більше 20°C відносно горизонтальної площини;
- нахил голови – $15^{\circ}\text{C} - 20^{\circ}\text{C}$ відносно вертикальної площини.

У лабораторії метеорологічні параметри підтримуються відповідно до ДСН 3.3.6.042–99 «Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень» та становлять:

- у холодний період: температура повітря в межах 22 °С – 24 °С, відносна вологість 40 % – 60 % та швидкість руху повітря близько 0,1 м / с;
- у теплий період: температура повітря в межах 23 °С – 25 °С, відносна вологість 40 % – 60 % і швидкість руху повітря близько 0,1 м / с.

Підтримка значень метеорологічних параметрів на оптимальних значеннях забезпечується за рахунок радіаторів центрального опалення в холодний період та припливно-витяжної вентиляції у теплий період [34].

Рівень шуму в приміщенні лабораторії становить близько 50 дБ, що не виходить за межі допустимого значення згідно ДСН 3.3.6.037–99 «Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку».

Приміщення мають природне та штучне освітлення, рівень якого відповідає ДБН В.2.5–28:2018 «Природне і штучне освітлення».

Природне висвітлення забезпечує коефіцієнт природного висвітлення не нижче 1,5 %, штучне висвітлення має бути оснащено системою загального рівномірного висвітлення та давати освітленість на робочому місці 300 лк. Природне освітлення до лабораторії проникає через віконний отвір. Штучне освітлення реалізується за допомогою світильників із люмінесцентними лампами типу ЛБ.

Відповідно до ДСанПІН 3.3.2–007–98 «Державні санітарні правила і норми. Гігієнічні вимоги до організації роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин» встановлюються такі внутрішньозмінні режими праці та відпочинку при роботі з ЕОМ: при 8 – годинній денній робочій зміні, залежно від характеру, слід призначати регламентовані перерви для відпочинку тривалістю 15 хвилин через кожну годину роботи.

4.3 Безпека у надзвичайних ситуаціях у приміщенні наукової лабораторії

В університеті за безпеку при НС відповідає штаб цивільної оборони, йому підпорядковуються територіальні штаби цивільної оборони, спеціальні підрозділи міністерств та інших центральних органів державної виконавчої влади, залучені до виконання завдань захисту населення та надання допомоги у НС, та на штатних працівників організації.

На рисунку 4.3 наведено структурну схему штабу цивільної оборони Харківського національного університету радіоелектроніки.

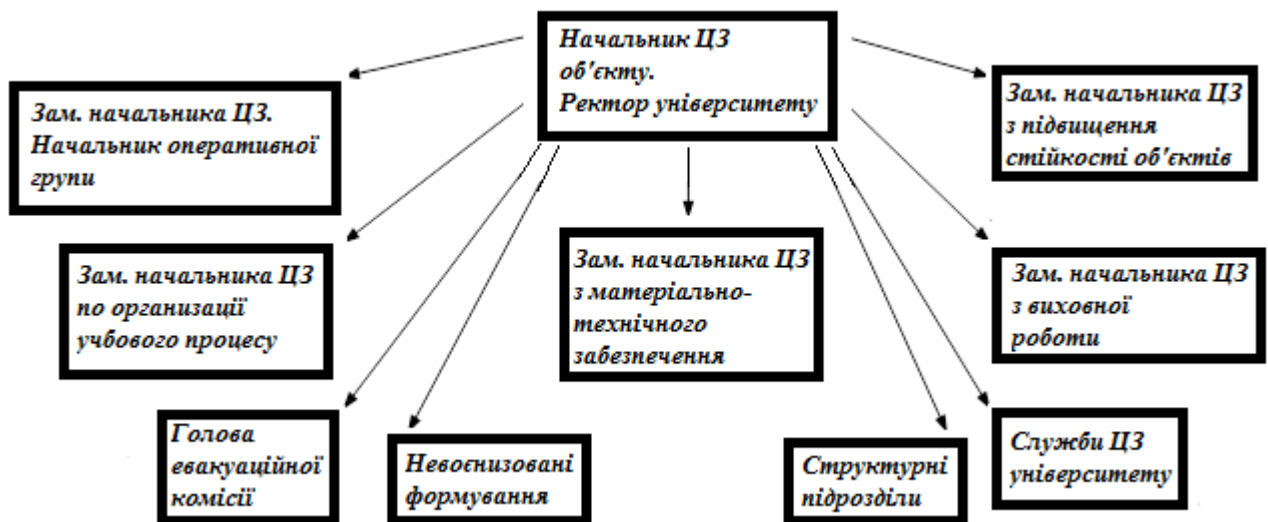


Рисунок 4.3 – Структурна схема штабу цивільного захисту ХНУРЕ

Як правило, в більшості випадків, основною надзвичайною ситуацією в приміщенні наукової лабораторії є загроза виникнення пожежної ситуації.

Науково-дослідна лабораторія розташована в будівлі, виконаній із залізобетонних конструкцій, при роботі тут застосовуються тверді вогнетривкі матеріали. Тому згідно з ДБН В.1.1–7:2016 «Пожежна безпека об'єктів будівництва» будівля має I ступінь вогнестійкості, виробництво в НДЛ з пожежо-вибухобезпеки відноситься до категорії В, а за НПАОП 40.1–1.21–98 (ДНАОП 0.00–1.21–98) «Правила безпечної експлуатації електроустановок

споживачів» приміщення відноситься до класу П–Па. Вимоги щодо пожежо-вибухобезпеки виконані.

Причиною пожежі в НДЛ може бути коротке замикання електропроводки; несправність ПЕОМ та іншого електрообладнання; нагрівання провідників; куріння в недозволеному місці.

Відповідно до вимог ГОСТ 12.1.004–91 «Система стандартів безпеки праці. Пожежна безпека. Загальні вимоги» та ДБН В.2.5–56:2010 «Інженерне обладнання будинків і споруд. Пожежна автоматика будинків і споруд. Зі зміною № 1», приміщення НДЛ має бути оснащено [35]:

- димовими пожежними сповіщувача у кількості 12 одиниць (з розрахунку 2 сповіщувача на кожні 20 м² площі приміщення);

- вуглекислотними переносними вогнегасниками ємністю не менше 2 л у кількості 5 одиниць (з розрахунку 1 вогнегасник на 20 м² площі, але не менше 2 на приміщення). Тип обраного вогнегасника ВЛК–3,5;

- кошмою.

Необхідно проводити наступні організаційні заходи:

- призначити відповідального за НДЛ за пожежну безпеку;
- включати питання щодо пожежної профілактики у всі інструктажі з техніки безпеки;

- заборонити куріння в недозволеному місці, а також використання в НДЛ нестандартних (саморобних) електроприладів, насамперед нагрівальних, призначити заходи адміністративної відповідальності за порушення цих заборон;

- контролювати ізоляцію та стан електропроводки та електрообладнання.

У приміщенні 12 осіб, тож, згідно з ДБН В.1.1–7:2016 «Пожежна безпека об'єктів будівництва» та ГОСТ 12.1.004–91 «Система стандартів безпеки праці. Пожежна безпека. Загальні вимоги», евакуацію під час пожежі можна проводити через робочий вихід.

Схему евакуації розмістити на чільному місці біля виходу з приміщення.

Схему евакуації наведено на рисунку 4.2.

ВИСНОВКИ

В ході виконання атестаційної роботи були виконані всі поставлені задачі.

Виконано аналіз та запропоновано спрощену модель перехресних класифікацій, що враховує ефекти одночасної взаємодії трьох факторів (температури, вологості, освітленості) на результат вимірювання одиничного показника колориметричного контролю; проведено її дослідження.

Визначено обмеження на кількість рівнів основного параметра контролю та факторів, що впливають на результат колориметричного контролю при заданій метрологічній невизначеності параметра контролю.

Отримано рівняння для оцінювання достовірності статистичних висновків про інформаційну значимість показників колориметричного контролю для спрощеної моделі перехресної класифікації.

Отримано аналітичні співвідношення, що дають змогу оцінити кількість інформації для кожного з показників колориметричного контролю при факторному впливі на лінійну функцію перетворення цих показників.

Розглянуто основні положення дискримінантного аналізу та запропоновано моделі для оцінювання кількості інформації по ймовірностям помилок першого та другого роду від параметру контролю; представлені рівняння, що дозволяють ранжувати показники за зменшенням їх чутливості до зміни рівнів параметра колориметричного контролю.

Цілком безпечних та нешкідливих виробництв не існує.

Проте завдання охорони праці – підвищення продуктивності та культури праці на обчислювальних центрах з одночасним забезпеченням комфортних умов, забезпечення безпеки праці, вирішення проблем гігієни та фізіології праці, попередження професійних захворювань, виробничого травматизму.

Виходячи з цього, найважливішим фактором безпеки праці є виконання всіх норм і правил при будівництві приміщень, їх оснащенні, монтажі та підключенні апаратури, а також неухильне дотримання правил безпеки усіма працівниками ВЦ.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. ДСТУ 3008-15. Документація. Звіти у сфері науки і техніки. Структура і правила оформлення[Текст]. – Введ.22.06.2015. – К.:ДП«УкрНДНЦ», 2015.– 26 с.;
2. Колориметрия. URL: <https://www.lkmportal.com/enc/kolorimetriya>.
3. Пат. u2019 10509 Україна, МПК G01J 3/46, G01R 21/133, G02B 5/20, F21V 9/00 Цифровий пристрій для вимірювання рівномірності покриття оптичних середовищ / Хорошайло Ю. Є, Семенов С. Г, Лимаренко В. В., Подгайко О. І., Єфименко С. А. ; заявник і патентовласник Харківський національний університет радіоелектроніки. № 142432 ; заявлено 21.10.2019 ; опубл. 10.06.2020, Бюл. № 11 (2020).
4. Єфименко С. А. Аналіз впливу невизначеності результатів вимірювань на достовірність колориметричного контролю. Метрологія та прилади. Харків, 2020. № 6.(86) С. 52–58.
5. Дуда Р., Харт П. Распознавание образов и анализ сцен. Пер. с англ. под ред. В. Л. Стефанюк. Москва : Мир, 1976. 512 с.
6. ДСТУ-Н РМГ 43:2006 Метрологія. Застосування «Настанови з оцінювання невизначеності у вимірюваннях» (РМГ 43-2001, IDT). Вид. офіц. Уведено вперше; чинний від 2007-01-01. Київ : Держаспоживстандарт України, 2007. 7 с. (Національний стандарт України).
7. Левин Б. Р. Теоретические основы статистической радиотехники : в 3 кн. Кн. третья. Москва : Советское радио, 1976. 288 с.
8. Захаров И. П. Неопределённость измерений для чайников и начальников : учеб. пособие. Харьков, 2015. 52 с.
9. Y. Horoshajlo, G. Suchkov, S. Efimenko V. Lymarenko. Estimation of standard determinations of the results of measurement 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.

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

11. Путятин Е. П. Математические модели статистических процессов зрения и их использование в технике ввода оптической информации : автореф. дис. канд. техн. наук., Харьков, 1967. 178 с.

12. I. Khoroshaylo, S. Yefymenko I. Sezonova Mathematical model of color optoelectronic measurement. Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Інноваційні технології та обладнання обробки матеріалів у машинобудуванні та металургії. 2018. №31(1307). С. 95–99.

13. Висковатых А. В., Пожар В. Э. Высокоскоростная оптическая когерентная томография.: НТЦ УП РАН, ГТУ, 2013. 16 с.

14. Пчелинов В. П. Математические модели спектральной чувствительности органа зрения человека и их технические приложения : дис. канд. техн. наук., Харьков, 1979. 186 с.

15. Рисс Ф., Секефальви-Надь Б. Лекции по функциональному анализу. : Мир, 1979. 587 с.

16. Хорошайло Ю. Є., Єфименко С. А., Семенов С. Г. Комп'ютерна система вимірювання кольору. Інформаційні системи і технології V Междунар. науч.-техн. конф. «ИСТ 2016» (Коблево-Харьков, 12–17 сентября 2016 г.). Харьков, 2016. С. 262.