

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ТЕРНОПІЛЬСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ІМЕНІ ІВАНА ПУЛЮЯ  
ФАКУЛЬТЕТ ПРИКЛАДНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ТА  
ЕЛЕКТРОІНЖЕНЕРІЇ  
КАФЕДРА ЕЛЕКТРИЧНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ

**ДВУЛІТ ТАРАС ВАСИЛЬОВИЧ**

УДК 535.651

**КОЛОРИМЕТРИЧНІ ВИМІРЮВАННЯ НЕСАМОСВІТНИХ ОБ'ЄКТІВ З  
ДОПОМОГОЮ ФОТОКАМЕР З МАТРИЧНИМИ ПЕРЕТВОРЮВАЧАМИ**

141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

**Автореферат**  
дипломної роботи магістра

Тернопіль  
2018

Роботу виконано на кафедрі електричної інженерії Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя Міністерства освіти і науки України

**Керівник роботи:** кандидат технічних наук, доцент, кафедри світлотехніки та електротехніки  
**Осадца Ярослав Михайлович,**  
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

**Рецензент:** доктор технічних наук, професор, завідувачка кафедри автоматизації технологічних процесів та виробництв  
**Марущак Павло Орестович,**  
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Захист відбудеться 24 грудня 2018 р. о 9<sup>00</sup> годині на засіданні екзаменаційної комісії № 39 у Тернопільському національному технічному університеті імені Івана Пулюя за адресою: 46006, м. Тернопіль, вул. Микулинецька, 46а, навчальний корпус №7, ауд. 504.

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** Широке впровадження у світлотехнічну галузь нових технологій та підходів до одержання координат колірності поверхонь ставить нові вимоги до вимірювальних комплексів, що зумовлює необхідність розробки сучасних високоточних систем для вимірювання колірних характеристик. У зв'язку з цим виникає задача розробки інформаційно-вимірювальних систем з використанням сучасних інформаційних технологій.

Перевагами сучасних вимірювальних цифрових колориметричних приладів є оперативність та можливість отримання великої кількості даних одночасно, а також можливість збереження та відтворення інформації. Проте найбільш суттєвим недоліком таких колориметрів є їх вартість, що робить їх використання недосяжним.

Звідси виникає задача пошуку інших методів вимірювання, які пов'язані із застосуванням більш доступніших пристроїв, використання яких дало б змогу із достатньою точністю отримувати інформацію про колірні характеристики об'єктів.

Одним із методів вирішення такої задачі є застосування цифрових фотокамер, давачами зображень в яких є матричні фотоперетворювачі. Вимірювання з допомогою таких пристроїв зводяться до розрахунку й аналізу отриманих масивів даних. Тому основними питаннями при використанні цифрових фотокамер у колориметричних вимірюваннях є розробка моделей розрахунку колориметричних характеристик по цифрових зображеннях досліджуваних поверхонь, а також аналіз відхилень отриманих координат кольоровості від реальних.

Тому тематика досліджень, пов'язана з використанням цифрових фотокамер у колориметричних вимірюваннях є **актуальною** проблемою, яка потребує свого вирішення.

**Мета роботи:** проведення вимірювань координат колірності поверхонь з використанням цифрових фотокамер на основі матричних фотоперетворювачів.

### **Завдання:**

- розробка моделі розрахунку колірних характеристик по отриманих зображеннях поверхонь несамосвітніх об'єктів;
- розробка програмного забезпечення для отримання колірних характеристик поверхонь по отриманих зображеннях їх цифрових "негативів".
- аналіз результатів вимірювання координат кольоровості об'єктів по цифрових зображеннях їх поверхонь та порівняння цих координат із реальними розрахунковими.

**Об'єкт дослідження:** процес вимірювання колориметричних характеристик поверхонь.

**Предмет дослідження:** цифрові фотокамери як пристрої для реєстрації координат кольору поверхонь.

**Методи дослідження:** методи інтерполяції функцій; методи розрахунку фотоприймачів для колориметричних приладів; методи математичної статистики; методи обробки двовимірних зображень; методи розрахунку координат колірності несамосвітніх об'єктів.

### **Наукова новизна отриманих результатів:**

- розроблено модель для розрахунку координат кольоровості по зображеннях поверхонь несамосвітніх об'єктів;
- отримано аналітичні вирази для розрахунку коефіцієнтів пропорційності між реальними координатами кольору та отриманими на основі розрахунку цифрових зображень поверхонь.

### **Практична цінність результатів дослідження:**

- запропоновано методика визначення координат колірності освітлених поверхонь по їх зображеннях, отриманих з допомогою фотокамер з матричними фотоперетворювачами.
- розроблено програмне забезпечення для обчислення координат кольору та кольоровості поверхонь несамосвітніх об'єктів по їх цифрових зображеннях.
- проведено розрахунок коефіцієнтів пропорційності між реальними координатами кольору та координатами кольору для фотокамери Canon 6D.

**Апробація.** Окремі результати роботи публікувалися у збірнику тез VII Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів. «Актуальні задачі сучасних технологій», Тернопіль, ТНТУ, 28-29 листопада 2018 р.

**Структура роботи.** Робота складається з розрахунково-пояснювальної записки та графічної частини. Розрахунково-пояснювальна записка складається з вступу, 8 частин, висновків, переліку посилань, додатків. Обсяг роботи: розрахунково-пояснювальна записка – 111 арк. формату А4, графічна частина – 11 аркушів формату А4.

## **ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ**

У вступі обґрунтовано актуальність теми роботи, наведено мету, задачі, об'єкт, предмет та методи досліджень.

В аналітичній частині проведено аналіз систем відображення кольорів. Встановлено, що найбільш поширеною є система XYZ. Проведено огляд основних методів та засобів координат кольоровості. Проведено порівняння порівнянні цифрових систем відображення кольорів.

У науково-дослідній частині Проведено розрахунок координат кольору та колірності дифузно відбиваючих поверхонь атласу системи «Радуга», освітлених світлодіодом білого свічення, а також розрахунок координат кольору та колірності зображення цієї поверхні, отриманого з допомогою цифрової фотокамери. На основі аналізу результатів розрахунку встановлено, що похибки при вимірюванні за допомогою цифрової фотокамери суттєво перевищують допустимі значення. Розроблено модель розрахунку координат кольору та колірності по цифрових зображеннях дифузно-відбиваючих поверхонь, освітлених джерелами світла із відомим спектральним розподілом. Розглянуто принцип лінійної інтерполяції вихідних даних розрахунку, якими є функції спектральних чутливостей приймачів випромінювання та спектральних розподілів джерел світла.

**У технологічній частині** для проведення вимірювань координат кольоровості несамосвітніх об'єктів було вибрано фотокамеру марки Canon 6D і описано її основні характеристики. За допомогою автоматизованих установок на базі спектрофотометрів СФ-46 та СФ-10 проведено вимірювання відповідно спектрального розподілу світлодіода білого кольору свічення потужністю 1 Вт та спектрів відбивання досліджуваних поверхонь, якості яких вибрано поверхні атласу «Радуга 2» з номерами 5-5, 10-4, 27-4.

**У проектно-конструкторській частині** запропоновано методику вимірювань координат колірності з використанням пристроїв з матричними фотоперетворювачами. Проведено аналіз та порівняння програмних засобів для розрахунку та обробки двовимірних цифрових зображень, в результаті якого було вибрано пакет MATLAB. Проведено розрахунок коефіцієнтів пропорційності  $k_x$ ,  $k_y$ ,  $k_z$  між реальними координатами кольору та координатами кольору, отриманих з допомогою фотокамери Canon 6D.

**У спеціальній частині** розроблено програмне забезпечення для розрахунку координат колірності дифузно-відбиваючих поверхонь по їх зображеннях, отриманих з допомогою фотокамери. Проведено аналіз результатів вимірювань координат колірності поверхні, отриманих з допомогою цифрової фотокамери та порівняння із координатами колірності цієї поверхні, отриманих шляхом розрахунку

**У частині «Обґрунтування економічної ефективності»** здійснено техніко-економічне обґрунтування ефективності проекту та проведено аналіз продуктивності приладу.

У частині «Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях» розглянуто питання особливостей надання першої допомоги людині, яка уражена електричним струмом, наведено загальні вимоги безпеки з охорони праці для користувачів ПК, здійснено оцінку стійкості роботи підприємств електротехнічної та світлотехнічної галузі до впливу вражаючих факторів ядерної зброї.

У частині «Екологія» обґрунтовано актуальність охорони навколишнього середовища, встановлено види забруднення довкілля, що виникнуть в результаті реалізації технологічного процесу виготовлення корпусу фотокамери та описано заходи щодо їх зменшення.

**У загальних висновках щодо дипломної роботи** описано результати роботи по вимірюваннях координат кольоровості поверхонь атласу системи «Радуга» за допомогою цифрової фотокамери.

**У графічній частині** подано спектральні характеристики випромінювання світло діода, який використовується при вимірюваннях, а також спектральні характеристики відбивання поверхонь атласу системи «Радуга». Наведено порівняння результатів вимірювання та розрахунку координат кольоровості поверхонь атласу. Подано модель вимірювального пристрою та результати розрахунків коефіцієнтів пропорційності між реальними координатами кольору поверхні та координатами, отриманими шляхом вимірювання за допомогою цифрової фотокамери з матричним фотоперетворювачем.

## ВИСНОВКИ

1. Проведено аналіз систем відображення кольорів. Встановлено, що найпоширенішою є система XYZ. Особливостями цієї системи є: жоден реальний колір не має негативних координат кольору, тому всі кольоровості розташовуються всередині колірного трикутника; кількісна оцінка випромінювань здійснюється на основі значень координати Y; одиничний колір Y має світловий потік 683 лм, а одиничні кольори X і Z не мають світлових потоків; для джерела E з рівноенергетичним спектром всі три координати кольору рівні, тому його кольоровість розташовується в центрі колірного трикутника; для спектральних кольорів в діапазоні 575-700 нм координата Z дорівнює нулю; всі реальні кольоровості розташовуються всередині замкнутої лінії колірного графіка системи. При порівнянні існуючих цифрових систем відображення кольорів виявлено, що найбільш широко використовується система кольорів sRGB з 8-бітними зображеннями.

2. Проведено огляд основних методів та засобів вимірювання координат кольоровості. Найкращими вимірювальними характеристиками володіють цифрові колориметри, проте основним їх недоліком є їх висока вартість. Це вимагає створення нових більш доступніших засобів вимірювання.

3. За допомогою автоматизованих установок на базі спектрофотометрів СФ-46 та СФ-10 проведено вимірювання відповідно спектрального розподілу світлодіода білого кольору свічення потужністю 1 Вт та спектрів відбивання досліджуваних поверхонь, якості яких вибрано поверхні атласу «Радуга 2» з номерами 5-5, 10-4, 27-4. Такий вибір зумовлений тим, що на відтворення їх кольору в поліграфічному виробництві використовуються лише фарби одних марок.

4. Для проведення вимірювань координат кольоровості несамосвітніх об'єктів було вибрано фотокамеру марки Canon 6D. Запропоновано методику вимірювань координат колірності з використанням пристроїв з матричними фотоперетворювачами. За допомогою даної методики та фотокамери проведено вимірювання координат кольору та кольоровості поверхонь атласу системи «Радуга 2».

5. Проведено аналіз та порівняння програмних засобів для розрахунку та обробки двовимірних цифрових зображень, в результаті якого було вибрано пакет MATLAB. Розроблено програмне забезпечення для розрахунку координат колірності дифузно-відбиваючих поверхонь несамосвітніх об'єктів по їх зображеннях, отриманих з допомогою фотокамери.

6. Проведено розрахунок координат кольору та колірності дифузно відбиваючих поверхонь атласу системи «Радуга», освітлених світлодіодом білого свічення, а також розрахунок координат кольору та колірності зображення цієї поверхні, отриманого з допомогою цифрової фотокамери. На основі аналізу результатів розрахунку встановлено, що похибки при вимірюванні за допомогою цифрової фотокамери суттєво перевищують допустимі значення. Тому було розроблено модель розрахунку координат кольору та колірності по цифрових зображеннях дифузно-відбиваючих поверхонь, освітлених джерелами світла із відомим спектральним розподілом.

7. Розраховано коефіцієнти пропорційності  $k_x$ ,  $k_y$ ,  $k_z$  між реальними координатами кольору та координатами кольору, отриманих з допомогою фотокамери Canon 6D. Використання цих коефіцієнтів дозволяє вносити поправку до результатів вимірювань на спектральних склад випромінювання, спектральну чутливість матричного перетворювача фотокамери, а також на стандарт, в якому представлено зображення.

8. Проведено аналіз результатів вимірювань координат колірності поверхні, отриманих з допомогою цифрової фотокамери та порівняння із координатами колірності цієї поверхні, отриманих шляхом розрахунку, в результаті чого встановлено, що абсолютна похибка вимірювань, яка становить 0,01 забезпечується при перетворенні зображення із системи RGB в систему XYZ із застосуванням елементів стандартної матриці переходу  $M$ . Встановлено, що при врахуванні коефіцієнтів пропорційності абсолютна похибка при вимірюванні координат кольоровості зменшується в середньому в 12,64 рази.

10. Здійснено техніко-економічне обґрунтування ефективності проекту та проведено аналіз продуктивності приладу. Також описано заходи щодо підвищення рівня охорони праці, безпеки в надзвичайних ситуаціях та екології.

## СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ АВТОРОМ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ РОБОТИ

1. Двуліт Т.В. Дистанційні колориметричні вимірювання (постановка задачі) / Т.В. Двуліт, Я.М. Осадца, Р.Б. Кріль // зб. тез доповідей міжнар. наук.-техн. конф. Молодих учених та студентів, (Тернопіль, 28–29 листоп. 2018.) / М-во освіти і науки України, Терн. націон. техн. ун-т ім. І. Пулюя [та ін]. – Тернопіль : ТНТУ, 2018. – С. 23.

## АНОТАЦІЯ

Двуліт Т.В. Колориметричні вимірювання несамоосвітних об'єктів з допомогою фотокамер з матричними перетворювачами.

141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка». – Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя. – Тернопіль, 2018.

У дипломній роботі проведено вимірювання координат кольоровості поверхонь атласу кольорів системи «Радуга 2» з допомогою цифрової фотокамери Canon 6D. Проведено співставлення та аналіз розбіжностей між отриманими результатами та реальними координатами кольору поверхонь.

**Ключові слова:** ФОТОКАМЕРА, КООРДИНАТИ КОЛЬОРОВОСТІ, СПЕКТРАЛЬНА ЧУТЛИВІСТЬ, МАТРИЧНИЙ ФОТОПЕРЕТВОРЮВАЧ, ЦИФРОВЕ ЗОБРАЖЕННЯ.

## ANNOTATION

Dvulit T.V. Colorimetric measurements of non-self emitting objects with the help of photocaleras with matrix converters.

141 "Electricpower, electrical engineering and electromechanics". –Ternopil Ivan Pul'uj National Technical University - Ternopil, 2018.

In the thesis the color coordinates of surfaces of atlas had been measured with the using of Canon 6D digital camera. Comparison and analysis of the differences between the obtained results and the real coordinates of the surfaces color are made.

**Keywords:** PHOTOCAMERA, COLORING COORDINATES, SPECTRAL SENSITIVITY, MATRIX PHOTO-CONVERTER, DIGITAL IMAGE.