НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»
Приладобудівний факультет
Кафедра приладів і систем неруйнівного контролю

«До захисту допущено»
Завідувач кафедри
_____ Анатолій ПРОТАСОВ
«___» _____ 20_21_ р.

Дипломний проєкт

на здобуття ступеня бакалавра
за освітньо-професійною програмою «Комп'ютерно-інтегровані системи та технології неруйнівного контролю та діагностики»
спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»
на тему: «Прилад для дистанційного контролю високовольтного обладнання»

Виконала:
студентка IV курсу, групи ПК – 71
Мамчур Наталія Дмитрівна _____

Науковий керівник:
старший викладач, к.т.н.
Муравйов Олександр Володимирович _____

Консультант з графічної частини
старший викладач, к.т.н.
Богдан Галина Анатоліївна _____

Консультант з розробки принципової електричної схеми
доцент, к.т.н.
Баженов Віктор Григорович _____

Рецензент:
к.т.н., доц.
Мокійчук Валентин Михайлович _____

Засвідчую, що в цьому дипломному проєкті немає запозичень з праць інших авторів без відповідних посилань
Студент _____

Київ – 2021 року

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Приладобудівний факультет

Кафедра приладів та систем неруйнівного контролю

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Спеціальність 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»
Освітньо-професійна програма «Комп'ютерно-інтегровані системи та технології неруйнівного контролю та діагностики»

ЗАТВЕРЖДУЮ
Завідувач кафедри
_____ Анатолій ПРОТАСОВ
«___» _____ 2021_ року

ЗАВДАННЯ
на дипломний проєкт студентці
Мамчур Наталії Дмитрівні

1. Тема проєкту «Прилад для дистанційного контролю високовольтного обладнання», керівник проєкту Муравйов Олександр Володимирович, к.т.н., старший викладач, затверджені наказом по університету від «__26__» травня 2021 року №__1347-с__.

2. Строк подання студентом проєкту: «_11__» _червня_____ 2021 року.

3. Вихідні дані до проєкту: кут поля зору $2\omega = 15^{o}$, робочій спектральний діапазон $\Delta\lambda$ = 230 – 650 нм, діаметр вхідної зіниці оптичної системи $D_{вх.зін.}$ = 20 мм.

4. Зміст пояснювальної записки: Розділ 1. Огляд літератури за темою роботи; Розділ 2. Проєктування електронно-оптичного дефектоскопа; Розділ 3. Підбір комплектуючих для електронно-оптичного дефектоскопа.

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслеників, плакатів, презентацій тощо): схема оптична, функціональна схема, принципова електрична схема, складальний кресленик, презентація доповіді.

6. Консультанти розділів проєкту

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Принципова електрична схема	Баженов В.Г., доц., к.т.н.		
Графічна частина	Богдан Г.А., ст. викладач, к.т.н.		

7. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проєкту	Строк виконання етапів проєкту	Примітка
1.	Огляд літератури за темою роботи	28.04.2021	
2.	Систематизація теоретичного матеріалу	08.05.2021	
3.	Розробка функціональної схеми приладу	09.05.2021	
4.	Моделювання оптичної системи та її оптимізація	22.05.2021	
5.	Моделювання фокусуючої системи	28.05.2021	
6.	Підбір компонентів для конструкції приладу	30.05.2021	
7.	Розробка складального креслення	02.06.2021	
8.	Формування загальних висновків	03.06.2021	
9.	Остаточне оформлення дипломного проєкту	05.06.2021	

Студентка Наталія МАМЧУР

Керівник Олександр МУРАВЙОВ

ВІДОМІСТЬ ДИПЛОМНОГО ПРОЄКТУ

№ з/п	Формат	Позначення	Найменування	Кількість листів	Примітка
1	А4		Завдання на дипломний проєкт	2	
2	А4	ПК 7108.00.000 ПЗ	Пояснювальна записка	70	
3	А2	ПК 7108.01.000 ФС	Функціональна схема	1	
4	А1	ПК 7108.02.000 ЕП	Схема електрична принципова	1	
5	А1	ПК 7108.03.000 СК	Складальний кресленик	1	
6	А2	ПК 7108.04.000 ОС	Схема оптична	1	

				ПК 7108.00.000.00		
	ПІБ	Підп.	Дата			
Розробн.	Мамчур Н.Д.			Відомість дипломного проєкту	Лист	Листів
Керівник	Муравйов О.В.				1	1
Консульт.	Богдан Г.А.				КПІ ім. Ігоря Сікорського Каф. ПСНК Гр. ПК-71	
Консульт.	Баженов В.Г.					
Н/контр.	Лашко О.В.					
Зав. каф.	Протасов А.Г.					

Пояснювальна записка

до дипломного проєкту

на тему: «Прилад для дистанційного контролю високовольтного обладнання»

Київ – 2021 року

АНОТАЦІЯ

Метою дипломного проєкту є розробка приладу для дистанційного контролю високовольтного обладнання з додатковими функціями, що може використовуватися в областях енергетики.

У межах даного проєкту було досліджено теоретичні основи безконтактного контролю високовольтного обладнання, спроєктовано прилад дистанційного вимірювання, що працює в ультрафіолетовому спектральному діапазоні, змодельовані оптична система приладу, здійснено підбір комплектуючих, розроблено принципову електричну схему, складальне креслення.

Робота викладена на 69 сторінках (без додатків), містить 3 таблиці, 42 рисунки, 4 графічних креслення та 22 літературних джерела.

Ключові слова: дистанційний контроль високовольтного обладнання, електронно-оптичний контроль, електронно-оптичний перетворювач, ультрафіолетове випромінювання, електронно-оптичний дефектоскоп, коронний розряд, оптична система.

ABSTRACT

The aim of the diploma project is development of device for testing remote control of high-voltage equipment with additional functions that can be used in the field of energy.

Within the framework of this project the theoretical bases of contactless control of high-voltage equipment were investigated, device of remote measuring in the ultraviolet spectral range was designed, optical system of the device were modeled, components were selected, basic electric scheme and assembly drawings were developed.

The work is presented on 70 pages (without appendices), contains 3 tables, 42 figures, 4 graphic drawings and 22 literature sources.

Keywords: remote control of high-voltage equipment, electron-optical control, electron-optical converter, ultraviolet radiation, electron-optical flaw detector, corona discharge, optical system.

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

УФ – ультрафіолетовий;

ІЧ – інфрачервоний;

ЕОП – електронно-оптичний перетворювач;

МКП – мікроканальна пластина;

ПНБ – прилад нічного бачення;

ЕОД – електронно-оптичний дефектоскоп;

КР – коронний розряд;

ПЧР – поверхнево-частковий розряд;

CCCD – Charge-Coupled Device;

АЦП – аналого-цифровий перетворювач;

МК – мікроконтролер;

LCD – liquid crystal display;

ПК – персональний комп’ютер.

ЗМІСТ

ВСТУП 11
РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ ЗА ТЕМОЮ РОБОТИ 13
1.1. Особливості експлуатації високовольтного обладнання 13
1.2. Методика контролю стану високовольтного обладнання 16
1.3. Електронно-оптичні перетворювачі 18
1.3.1. Становлення технології сучасних ЕОП 19
1.3.2. Принцип роботи ЕОП 21
1.3.3. Застосування ЕОП 23
1.4. Електронно-оптичні дефектоскопи 24
1.4.1. Призначення та можливості ЕОД 24
1.4.2. Сфери застосування ЕОД 26
1.4.3. Принцип роботи сучасних ЕОД 27
1.4.4. Огляд аналогів приладу 29
1.5. Обґрунтування елементів схеми розроблювального ЕОД 32
Висновки до розділу 1 33
РОЗДІЛ 2. ПРОЕКТУВАННЯ ЕЛЕКТРОННО-ОПТИЧНОГО ДЕФЕКТОСКОПА 34
2.1. Розробка функціональної схеми приладу 34
2.2. Проектування оптичної системи об’єктиву приладу 35
2.3. Проєктування фокусуючої системи приладу 45
Висновки до розділу 2 54
РОЗДІЛ 3. ПІДБІР КОМПЛЕКТУЮЧИХ ДЛЯ ЕЛЕКТРОННО-ОПТИЧНОГО ДЕФЕКТОСКОПА 56

3.1. Вибір електронно-оптичного перетворювача 56
3.2. Вибір приймача випромінювання 58
3.3. Вибір АЦП 59
3.4. Вибір мікроконтролера 60
3.5. Вибір дисплею 62
3.6. Вибір Bluetooth-модуля 62
3.7. Вибір плати зарядки 64
Висновки до розділу 3 65
ВИСНОВКИ 66
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ 68
ДОДАТКИ 71

ВСТУП

На сучасному етапі розвитку енергетики приділяється підвищена увага контролю якості та стану ізоляторів, ліній електропередач, затискачів, шин, тощо. Оскільки на багатьох електростанціях збільшилось число неправильної роботи та збоїв в електросистемах, важливо постійно проводити контроль, адже своєчасно не проведена діагностика об'єктів може нанести шкоду вузлам електрообладнання, привести до порушень процесу передачі електроенергії, а також – аварійної ситуації.

Зазвичай, в ході експлуатації все електричне обладнання знаходиться під напругою, тому діагностика проводиться тільки дистанційно.

Для своєчасного прогнозування виходу з ладу елементів електроенергетичного устаткування і контролю його стану найбільш продуктивною і ефективною технологією є вимірювання в УФ та ІЧ спектрах. Ця технологія створена на основі оптичного контролю і називається електронно-оптичним методом [1].

Метод заснований на відображенні спектру невидимого та видимого світла від контрольованого об'єкта і подальшому аналізі результатів обстеження. Об'єкти досліджуються на наявність пошкоджень, дефектів і набутих аномалій. Метою електронно-оптичного методу є виявлення дефектів та всіх недоліків на об’єкті контролю для їх оперативного усунення, а також продовження терміну служби матеріалів, деталей та ін.

Електронно-оптичний метод діагностики якості обладнання в електроенергетиці є одним із найефективніших типів контролю для виявлення коронних розрядів і дефектів в електромережах, а іноді і єдиним способом виявлення несправностей і попередження аварійних ситуацій високовольтного електроустаткування.

Застосовані в сфері електроенергетики, методи неруйнівного контролю та дефектоскопії щороку покращуються. На сьогоднішній день електронно-

оптичний контроль забезпечує високу продуктивність і достовірність результатів, а також безпеку проведення діагностики.

Щоб метод якісно працював, потрібно мати високочутливау діагностичну техніку, що працює в денних та нічних умовах, має властивості сучасних приладів (наприклад присутність Bluetooth-модуля), дає кількісну оцінку процесів (тобто повинна бути сертифікат для підтвердження правильності роботи приладу), і забезпечує комфортну роботу інженеру, виконуючого діагностику, протягом повного робочого дня. Прилади, якими проводять контроль, називають електронно-оптичними дефектоскопами та ультрафіолетовими камерами. Вони основані на реєстрації дефектів та ультрафіолетового випромінювання коронних розрядів [1].

РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ ЗА ТЕМОЮ РОБОТИ

1.1. Особливості експлуатації високовольтного обладнання

Електроенергетика займає далеко не останнє місце в житті сучасного суспільства. Якщо питання передачі електроенергії є одним з найбільш важливих аспектів даної галузі, то якість електрообладнання та ефективність його роботи також мають дуже високий пріоритет.

Лінії електропередач – це основна частина енергосистеми для передачі та розподілу електроенергії по проводах, які у повітрі закріплені на опорах за допомогою ізоляторів та інших допоміжних пристроїв.

Ізолятори – це пристрої, розроблені для ізоляції і кріплення проводів повітряних ліній електропередачі і розподільних пристроїв електромережі, а також струмоведучих частин в електричних апаратах, виконані із застосуванням композитних матеріалів [2,3].

Шиною являються провідники з низьким опором, за допомогою яких під’єднують окремі електричні ланцюги.

На усіх цих елементах електросистеми виникають коронні розряди.

Коронний розряд – це тип газового розряду, який виникає в різко неоднорідних електричних полях електродів на нерівномірній поверхні деталей (наприклад, на гострих кутах сполучних елементів або тонких проводах). При значних значеннях напруги неоднорідного електричного поля і відносно високому тиску повітря навколо електрообладнання можна побачити характерне яскраве світло, що нагадує за формою корону (через це і така назва типу розряду), яке можна побачити навіть неозброєним оком. Візуально зображено таке явище на рис. 1.1

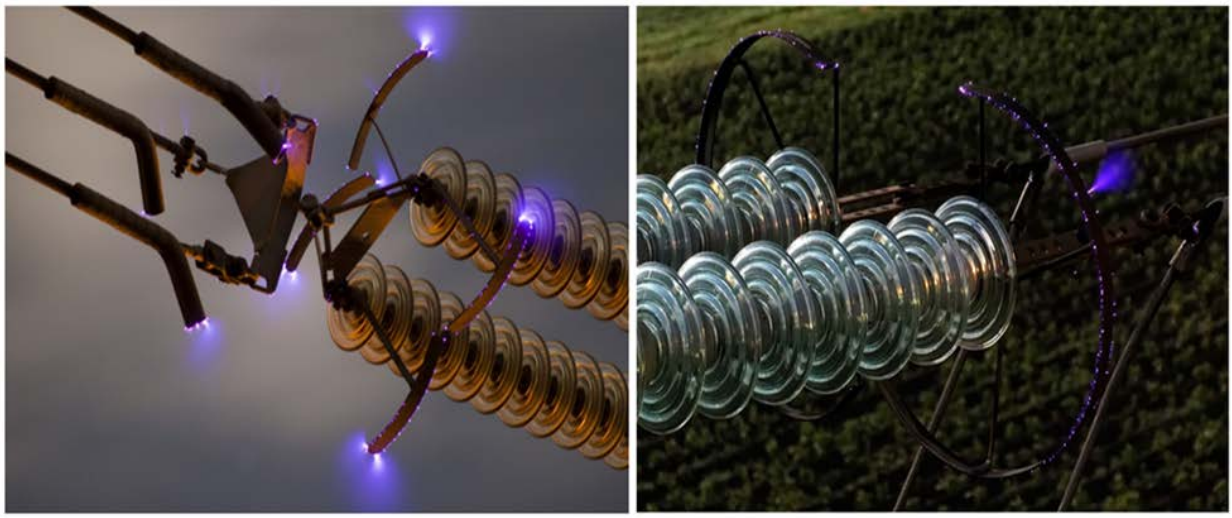

Рис. 1.1. Коронні розряди на захисних елементах високовольтної повітряної лінії електропередачі з напругою понад 500 кВ

Виникнення коронного розряду фізично пояснюється наступним чином. Коли молекула повітря довільно іонізується, виникає електрон, який прискорюється в електричному полі біля гострого краю об'єкта. Цей електрон набуває досить енергії, щоб при зустрічі з наступною молекулою повітря іонізувати її, як результат, знову з'являється новий електрон. Виникає лавинний ефект і кількість рухомих в електричному полі поруч з гострими кутами об'єкта заряджених частинок експоненціально збільшується.

За аналогією з позитивним і негативним електродами (анод і катод відповідно), виділяють позитивний і негативний коронні розряди. Різниця між ними полягає в тому, що в разі прояву ефекту на катоді напрямок рух електронів іонізації буде від коронуючого вістря, тобто в сторону позитивного електрода. Для негативних коронних розрядів характерно рівне світіння. При прояві коронного розряду на аноді електрони спрямовані в бік гострого кута об'єкта, а іони відштовхуються від нього. Позитивні коронні розряди відрізняються властивим їм розсіюванням в різні боки від вістря об'єкта [4].

Можливість виникнення коронних розрядів зумовлена великою кількістю чинників, наприклад, вологістю повітря і станом ізоляції лінії електропередачі. Показником нормального функціонування для більшості

видів високовольтного обладнання є відсутність коронних розрядів. Однак в разі ліній електропередачі та вузлів, які знаходяться на відкритому повітрі, повне виключення будь-яких розрядних процесів просто неможливо. Наявність коронних розрядів, як правило, вказує на те, що на об'єкті контролю є ушкодження, дефекти ізоляції проводів та електрообладнання, забруднення поверхні, тріщини в конструкції і т. д.

На сьогоднішній день повністю виключити і запобігти появі в подальшому коронних розрядів на високовольтному обладнанні неможливо, проте існують способи, що дозволяють істотно зменшити частоту і інтенсивність їх прояву [5]. Наприклад, на лініях електропередачі, де дуже часто з'являються коронні розряди, це явище може призвести до суттєвих втрат електроенергії. Щоб уникнути цього, високовольтні лінії поділяють в залежності від рівня напруги і мають у своєму розпорядженні на певному віддаленні, що забезпечує зменшення напруженості біля проводів і запобігає виникненню даного негативного ефекту.

Ще одним поширеним способом ефективної боротьби з коронними розрядами є установка на лініях антикоронних кілець, які фіксуються на терміналах або інших елементах високовольтного обладнання. Подібні пристрої грають роль розподільників електричного поля для зниження значення напруженості нижче порога виникнення корони: в результаті розряд переноситься на кільце або повністю запобігається.

Найбільш важливим є своєчасне виявлення дефектів і коронних розрядів на високовольтному обладнанні. За допомогою систематичної перевірки в процесі експлуатації виробу, або, як її ще називають, технічної діагностики об'єкта, можна швидко і ефективно виявляти різні дефекти (в тому числі приховані) і коронні розряди на ранніх стадіях прояви, усунення яких дозволить запобігти значних пошкоджень вузлів електрообладнання, порушення передачі електроенергії, виникнення аварійних ситуацій. Подібна діагностика також надає можливість грамотно спланувати профілактичні та

ремонтні роботи, що збільшить продуктивність і надійність функціонування високовольтного обладнання та енергосистеми в цілому [6].

1.2. Методика контролю стану високовольтного обладнання

Основною частиною в енергетиці являються лінії електропередач, ізолятори, вузли високовольтного обладнання та аналогові пристрої на основі електромеханіки і мікроелектронної бази. Показники правильної роботи енергосистем залежать від трьох головних факторів: правильного встановлення та застосування високовольтного обладнання, комплексної системи експлуатації та технічного обслуговування, вчасного виявлення проблем роботи та швидкої заміни пристроїв і вузлів устаткування. Останній фактор дуже сильно впливає на роботу енергетики, оскільки невчасно виявлене пошкодження призводить до аварій та пожеж на електростанціях.

Перше, що виконують при контролі – це оцінка технічного стану високовольтного обладнання. Існують два види оцінки комплексна якісна і кількісна.

Комплексна якісна оцінка використовується для порівняння технічного стану електричних мереж і їх елементів у енергосистемі, для визначення обсягів фінансування робіт з поліпшення технічного стану об’єктів, для складання річних планів ремонту і реконструкції, у тому числі за умов обмеженості фінансових, матеріальних і трудових ресурсів та відсутності достовірної інформації про технічний стан об’єктів[7,8].

Щоб визначити технічний стан об’єктів використовуються такі якісні критерії:

- добрий технічний стан;
- підлягає капітальному ремонту;
- підлягає реконструкції;
- підлягає повній заміні.

Основні ознаки для визначення критерію:

У доброму технічному стані знаходяться об’єкти, в яких дефекти не виявленні або виявлені дефекти усуваються при виконанні робіт, що відносяться до номенклатури технічного обслуговування.

Об’єкт підлягає капітальному ремонту (задовільний стан), якщо обсяг робіт з усунення виявлених дефектів відноситься до номенклатури капітального ремонту і спрямований на збереження (відновлення) колишніх техніко-економічних характеристик об’єкта в межах засобів амортизації відрахувань на капітальний ремонт.

Об’єкт підлягає реконструкції (незадовільний стан) виконується в двох випадках, коли перевищуються обсяги робіт з усунення виявлених дефектів номенклатури обсягів робіт капітального ремонту, що провадяться за рахунок амортизаційних відрахувань на капітальний ремонт. Друга причина – існує необхідність істотного поліпшення основних техніко-економічних характеристик об’єкта при проведенні різних типів робіт.

Об’єкт підлягає повній заміні (непридатний стан), коли його експлуатація технічно або економічно неможлива (недоцільна), оскільки необхідна заміна основного устаткування, стан якого не відповідає вимогам нормативно-технічної документації, або ж необхідна заміна непридатної дод експлуатації будівельної частини.

Сам технічний стан при якісній оцінці виконується на підставі коефіцієнта дефектності об’єкта. Коефіцієнт же визначається для кожного об’єкта окремо за допомогою формул, які вказані в нормативному документі «Методичні вказівки з обліку та аналізу в енергосистемах технічного стану розподільних мереж напругою 0.38 - 20кВ з повітряними лініями електропередачі» і з врахуванням особливостей та параметрів окремого об’єкту чи вузлів, таких як дані виробника, дані моніторингу і технічної діагностики в ході експлуатації.

Тоді установлюється комплексна якісна оцінка технічного стану об’єкту згідно даних таблиці 1.1.

Таблиця 1.1. Комплексна якісна оцінка технічного стану об’єкту

Значення коефіцієнта дефектності, %	Вид технічного стану	Вид технічного впливу
0	Добрий	Планове технічне обслуговування
Менше 25	Задовільний	Капітальний ремонт, посилений контроль технічного стану
Від 25 до 50	Незадовільний	Реконструкція, додаткове технічне обслуговування і ремонт
50 і вище	Не придатний	Вивід з експлуатації та заміна

Кількісна оцінка являється загальною характеристикою рівня технічного стану різних об’єктів енергетики для визначення видів, обсягів та терміну виконання робіт з приведення технічного стану об’єктів до вимог чинних нормативно-правових актів [9].

Кількісна оцінка характеризує сумарну кількість аварійних автоматичних і змушених відключень об’єкта, яка можлива в наступному періоді між технічним контролем.

Вона визначається за даними переліку дефектів елементів об’єкта, складеного станом останнього контролю. Кількісні показники визначаються за формулами, вказаними в нормативному документі «Методичні вказівки з обліку та аналізу в енергосистемах технічного стану розподільних мереж напругою 0.38 -20кВ з повітряними лініями електропередачі».

Завдяки цим оцінкам існує можливість передбачити та швидко усунути появлення аварійних ситуацій на електростанціях.

1.3. Електронно-оптичні перетворювачі

Сьогодні кожний із нас хоча би раз чув чи бачив в наукових роботах словосполучення електронно-оптичний перетворювач (надалі ЕОП), але не

кожний знає що це і навіщо це використовується в сучасному світі. Простими словами, ЕОП – це прилад, за допомогою якого перетворюється невидимий спектральний діапазон випромінювання у видиме зображення.

Науковими словами електронно-оптичний перетворювач (ЕОП) — це вакуумний фотоелектронний прилад для перетворення невидимого оком зображення (в ближньому інфрачервоному, ультрафіолетовому або рентгенівському спектрі) у видиме або для посилення яскравості видимого зображення.

В наукових публікаціях електронно-оптичним перетворювачем часто називають пристроєм, в яких присутній фотокатод, що виконує перетворення слабких світлових потоків в потоки електронів, підсилювачем електронних потоків, люмінесцентним екраном, в якого запущено електронний потік і на якому відтворюється підсилене зображення [10].

1.3.1. Становлення технології сучасних ЕОП

За історичними відомостями найпершу схему ЕОП запропонували голландські вчені Холст і де Бур в 1928 році, але втілення в реальну розробку цієї схеми відбулося аж в 1934 році компанією Philips і була названа стаканом Холста. Ідейність полягала в тому, що світлочутливий фотокатод піддається інфрачервоному випромінюванню. Далі електронне зображення з фотокатоду переноситься за допомогою електричного поля на екран, і на ньому з’являється зображення [10].

Після реалізації стакана Холста, дуже швидко стали з’являтися удосконаленні ЕОП, тому щоб якось розуміти різницю між вдосконаленими ЕОП, їх класифікували на 4 покоління.

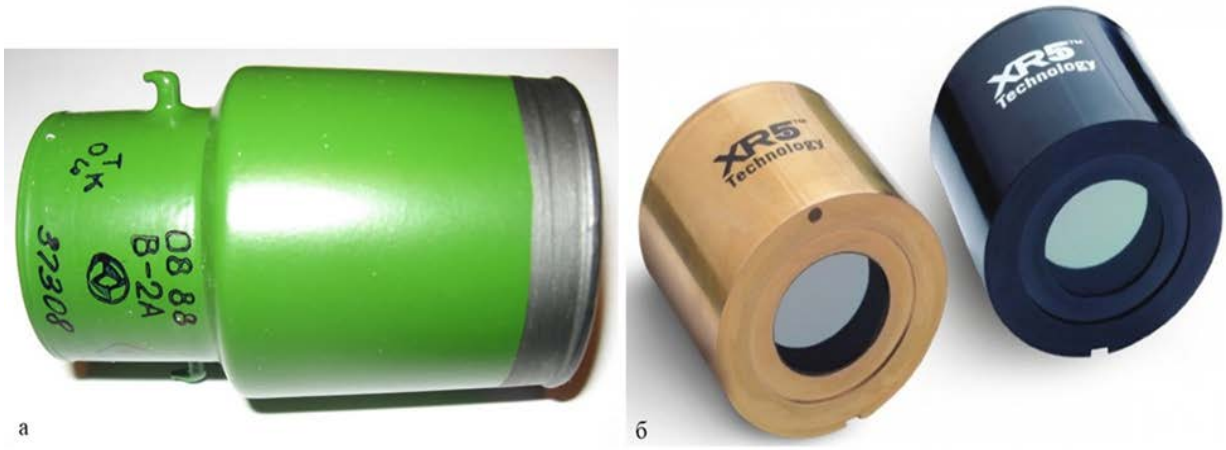

Рис. 1.2. Електронно-оптичні перетворювачі нульового покоління (а) і третього покоління (б)

Після винайдення «електростатичної лінзи» стало можливим сфокусувати електрони та прискорити їх, щоб збільшити яскравість зображення до 100 разів, що дало змогу відмовитись від використання ІЧ-ламп та використовувати для роботи розсіяне навколишнє світло. А на початку 50-х років з'явилося перше покоління ЕОП. Незважаючи на збільшення чутливості та посилення, параметри перетворювача все ще залишались дуже низькими, а зображення було розмитим по краях. Для усунення розмитості зображення на вході та виході використовували волоконно-оптичні плоско-увігнуті лінзи, а багатоступенева система послідовно комбінованих ламп підсилювача зображення дала змогу значно збільшити коефіцієнт посилення. Проте зі збільшенням кількості підсилювальних ламп в системі це неминуче призвело до збільшення шуму та розмитості зображення по краях..

Друге покоління народилося в 60-х роках в США, після винаходу мікроканальних пластин (МКП) і додавання їх до середини підсилювача. Це значно збільшило яскравість зображення в рази. Крім того, використання вдосконаленого мультилужного фотокатода підвищило інтегральну чутливість і спектральні характеристики пристроїв. Однак обробка зображення як і раніше виконувалася з використанням електростатичного фокусування, що зберігало проблему розмиття зображення по краях. Одним із

суттєвих недоліків ЕОП 2-го покоління є значний розмір і вага таких пристроїв.

В середині 1970-х років були використані фотокатоди з арсеніду галію, що призвело до появи ЕОП третього покоління. Нові трубки мали набагато більш високу чутливість, дозвіл і ставлення сигнал / шум, що поліпшило дальність виявлення і ефективність в умовах низької освітленості, зменшило розмір пристрою. Недоліком було те, що через хімічної реакції арсеніду галію з трубками МКП швидко розкладалися. Рішенням було ізолювати МКП тонкою плівкою з іонним бар'єром, але ставлення сигнал / шум було зменшено. Незважаючи на ці недоліки, загальна продуктивність набагато краще, ніж у пристроїв 2-го покоління.

У постійному пошуку кращих характеристик виробники намагалися подолати обмеження плівкових пристроїв з іонним бар'єром третього покоління, які полягають у зменшенні електронного шуму, шляхом розробки безпленочной підсилювальної лампи. У них був певний успіх, і ця технологія була коротко названа нічним баченням 4-го покоління, але виробничі витрати були невідповідними зрослої продуктивності. Ця термінологія була швидко згадана і названа безпленочнимі підсилювачами третього покоління. (рис. 1, б) [10,11].

1.3.2. Принцип роботи ЕОП

Основними частинами найпростішого ЕОП є напівпрозорий фотокатод, електронно-оптична система фокусування електронів і люмінесцентний екран. Схематично принцип дії однокамерного ЕОП показаний на рис. 1. Зображення об'єкта, що спостерігається за допомогою об'єктива проектується на фотокатод. При висвітленні фотокатода за рахунок фотоелектронної емісії створюється електронне зображення, в якому щільність розподілу електронів відповідає розподілу світла і тіней в самому оптичному зображенні. Під впливом прискорює поля електронне зображення переноситься в площину

люмінесцентного екрану і збуджує його, причому ступінь порушення екрану або відповідно яскравість окремих його елементів буде також визначатися розподілом світла і тіней в зображенні об'єкта, що спостерігається.

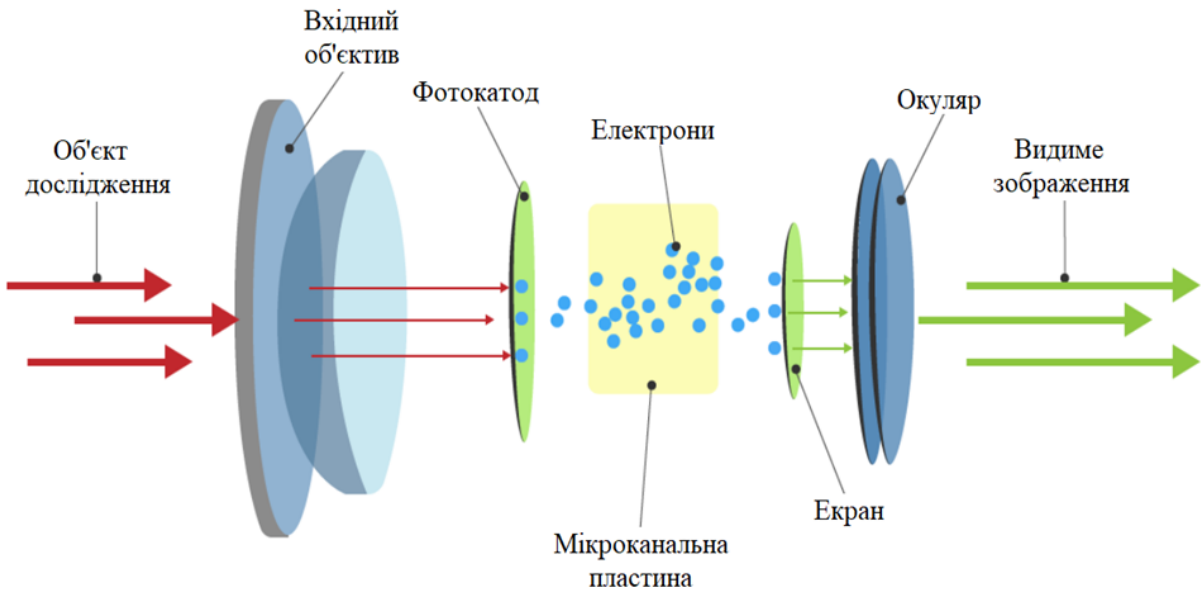

Рис. 1.3. Блок-схема електронно-оптичного перетворювача

Основними характеристиками електронно-оптичних перетворювачів, які дозволяють визначити продуктивність, ЕОП є:

- Інтегральна чутливість – визначає ефективність, з якою фотокатод перетворює світло, яке його вражає, в електрони, які потім кілька разів посилюються і знову перетворюються у видиме світло. Чим він вищий, тим більше ЕОП здатний працювати в темних умовах.

- Дозвіл ЕОП – індикатор, що визначає чіткість отриманого зображення. При вимірюванні цього показника використовується пунктирне світло - випробувальна пластина із змінними смуговими блоками різного розміру. Оператор об'єкта, на який перевіряється дозвіл, дивиться через ЕОП на світло. Чим більше смугових блоків може розрізнити оператор, тим більша роздільна здатність ЕОП [12].

- Відношення сигнал / шум – цей показник визначає кількість шумів (перешкоди у вигляді «снігу» або «ряби») в вихідному зображенні. Чим він вищий, тим менше перешкод містить зображення.
- Коефіцієнт перетворення - даний показник визначає у скільки разів ЕОП здатний посилити вловлене світло.
- Покоління ЕОП.

1.3.3. Застосування ЕОП

Галузі застосування ЕОП досить широкі, наприклад, медицина, енергетика, мікробіологія, ядерна фізика, інфрачервоні технології, спектроскопія, астрономія та інші галузі. Вони використовуються в оптичних та мікроскопічних дослідженнях, для спостереження за низькоконтрастними та низькорівневими об'єктами, для зору в темряві (при освітленні об'єктів ІЧ-променями), для діагностики коронних та поверхневих розрядів на лініях електропередач. Створені ЕОП для реєстрації швидкоплинних процесів зі світловим, рентгенівським і корпускулярним випромінюванням.

В даний час використовуються всі типи поколінь ЕОП, окрім нульового, оскільки та технологія вважається застарілою. ЕОП першого покоління мають однакову базову конструкцію, але, завдяки вдосконаленню виробничих процесів, створювати зображення з роздільною здатністю до 35 лп/мм. Сучасні пристрої 2-го покоління створюють яскраві та чіткі зображення з роздільною здатністю до 54 лп/мм. На сучасному ринку також можна знайти прилади третього покоління з роздільною здатністю до 75 лп/мм, чудовою чутливістю та якістю зображення [11].

Найбільше використовують електронно-оптичні перетворювачі в приладах нічного бачення в якості чутливого елемента. Прилади нічного бачення (ПНБ) – це пристрої, за допомогою можна бачити в темряві, та діляться на два типи – активні та пасивні. В пасивних ПНБ електронно-оптичні перетворювачі виконують роль приймача і підсилювача випромінювання. У

разі приладів активного типу посилюється сигнал підсвічування, що робить зображення більш яскравішим. Сьогодні прилади нічного бачення з ЕОП застосовують в військовій техніці, в навігації та розвідці, в забезпеченні безпеки (поліція, охорона та інші спецслужби), на полюванні та спостереженні за дикою природою, в розвагах [13].

Широкий конструктивний діапазон і різні рівні технічних параметрів ЕОП дають можливість створювати різні пристрої, що відповідають вимогам найвибагливіших споживачів. Мобільність науково-виробничої бази дозволяє в найкоротші терміни розробити і виготовити продукцію необхідної конфігурації. Такий підхід до виробничого процесу дозволяє стежити за останніми тенденціями світового ринку і враховувати їх при виготовленні продукції, покращуючи ЕОП.

1.4. Електронно-оптичні дефектоскопи

З розвитком сучасних технологій можна створити безліч різних унікальних пристроїв, які можуть спростити або пришвидшити контроль якості різних об’єктів та механізмів. Іноді це доводиться робити навіть тоді, коли продукт уже використовується. Одним пристроєм, що дозволяє проводити таку діагностику, не руйнуючи один і той же виріб, являється дефектоскоп. Дефектоскоп використовується для перевірки якості з’єднання (особливо важливо це для зварювання трубопроводів високого тиску), стан конструкції в будівництві (металевої, залізобетонної), ступінь зносу механізму, наявність пошкодження деталі. Практично у всіх галузях промисловості, де важливо контролювати стан і відповідність нормам твердих елементів, застосовують різні дефектоскопи [14].

1.4.1. Призначення та можливості ЕОД

Електронно-оптичний дефектоскоп – прилад, який користується великим попитом в енергетиці. За допомогою цього пристрою можна

віддалено виявити дефекти та недоліки об’єктів дослідження - це необхідно, оскільки досліджувані об’єкти можуть знаходитися під напругою. Методи неруйнівного контролю та дефектоскопії в енергетиці удосконалюються щороку. Сьогодні електронно-оптичний контроль забезпечує високу продуктивність і безпеку контролю з прийнятим ступенем достовірності.

Що таке дефектоскоп? Відповідь на це питання криється в самому слові – дефектоскоп. Поділимо його на дві частини «дефект» і «скоп». «Дефект» – це якась тріщина, вм’ятина, якийсь недолік матеріалу чи предмету, за яким ми спостерігаємо, а «скоп» - в перекладі з давньогрецької спостерігати, найти. Тобто ми шукаємо чи є в тому чи іншому предметі або виробі якийсь недолік.

Дефектоскоп — це прилад неруйнівного контролю для виявлення та оцінки внутрішніх і поверхневих дефектів матеріалів та виробів. Існує дуже багато видів дефектоскопів в залежності від методу дефектоскопії. Різниця між ними – в принципі роботи і призначенні. Багато дефектоскопів мають спеціальне призначення, використання якого можливе лише у спеціальних галузях промисловості. До таких пристроїв належить і електронно-оптичний дефектоскоп [14].

Кожний електронно-оптичний дефектоскоп є унікальним та має виняткові особливості, але, все ж таки, існує ряд загальних властивостей для цих дефектоскопів. Однією з головних особливостей є те, що на значній відстані від об’єкту контролю, такий прилад дозволяє фіксувати більш детальні зображення фізичного стану контрольованого об’єкта і знаходити дефекти та недоліки в тих місцях, де неможливо їх побачити звичайним неозброєним оком.

Основними перевагами являються мінімальні витрати часу для проведення діагностики; можливість дистанційного використання; універсальну та ефективну систему візуалізації результатів контролю; можливість проведення оцінки поверхневої провідності на ізоляції; ефективне виявлення мікротріщин, внутрішніх дефектів та інших недоліків.

Недоліків всього декілька вузька спрямованість і сфера застосування та відносно висока вартість приладу [14].

1.4.2. Сфери застосування ЕОД

Основні шляхи створення сучасних електронно-оптичних дефектоскопів прямують для енергетикиЕлектронно-оптичний дефектоскоп використовується для аналізу роботи та виявлення несправностей високовольтних компонентів. Він здатний вловлювати найменші зміни корони та часткові розряди на поверхні, що дозволяє оцінити роботу обладнання без його зупинки – дистанційно, приклад показано на рис.1.4 [14].

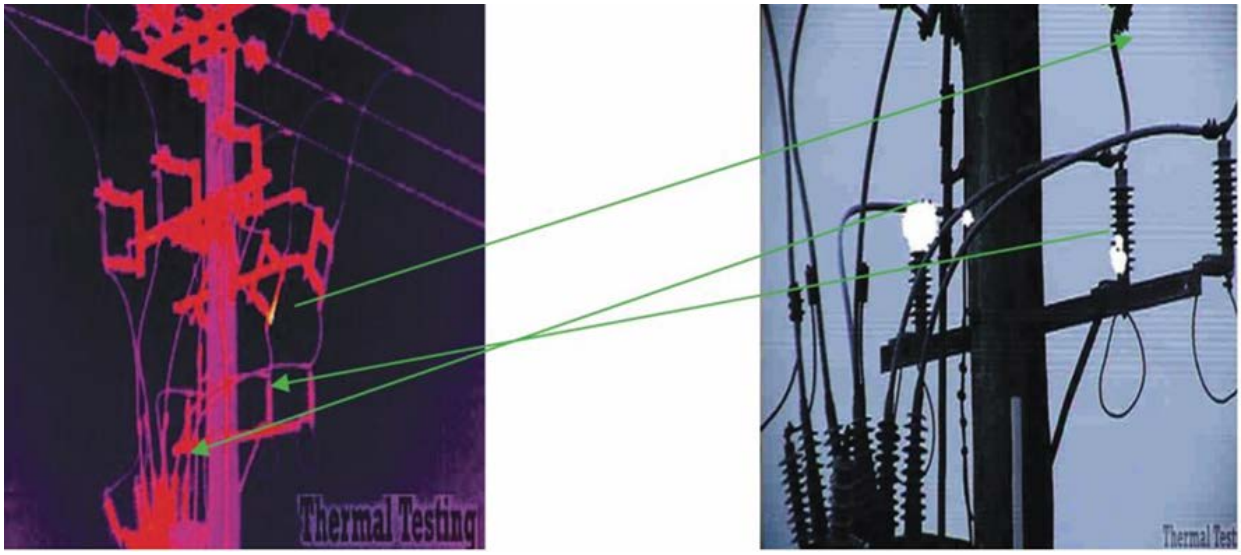

Рис. 1.4. Зіставлення ІЧ і УФ знімків одного об'єкта зроблених за допомогою ЕОД

За допомогою електронно-оптичного дефектоскопа в електросистемах можливо визначити дефекти на підвісній фарфоровій ізоляції повітряних ліній, виявити тріщини і мікротріщини в опорно-стрижневих ізоляторах відкритих розподільних пристроїв підстанцій, оцінити ступінь забруднення дефектних ізоляційних конструкцій.

Електронно-оптичні дефектоскопи можна застосовувати не тільки для високовольтного обладнання, але й для обстеження інших конструкцій та

пристроїв. Зокрема, за допомогою ЕОД та УФ-камер за кордоном ефективно проводять контроль та діагностику обертових машин: електродвигунів та генераторів.

УФ-камери також використовують для обстеження стану освітлення, наприклад на постійних робочих місцях, з метою визначення допустимої інтенсивності ультрафіолетового опромінення працюючих, відповідно до вимог Державних санітарних норм ультрафіолетового випромінювання у виробничих приміщеннях.

Для гарантування постійної роботи системи електропостачання залізничних станцій, їх потрібно забезпечити надійною ізоляцією контактні мережі в умовах багаторічної експлуатації і різних атмосферо-кліматичних впливів. Навіть, при тому що кожний окремий ізолятор являється достатньо надійним елементом, велика кількість їх на залізниці при жорстких умовах експлуатації та багаторічного терміну служби ведуть до появлення дефектів та пошкоджень на ізоляторах. Для того щоб це попередити використовують різні прилади для діагностики, але найефективнішими залишаються прилади оптичного контролю, а саме електронно-оптичні дефектоскопи та ультрафіолетові камери.

Загалом, електронно-оптичні дефектоскопи можна використовувати на усіх підприємствах, де потрібно контролювати високовольтне обладнання та засоби передачі електроенергії на наявність недоліків та дефектів, а також – коронних розрядів.

1.4.3. Принцип роботи сучасних ЕОД

Оптичні зображення ізоляції, коронні (КР) і поверхнево-часткові розряди (ПЧР), проходячи через світлофільтр з пропускною здатністю в короткохвильове частини оптичного спектра, формуються вхідними об'єктивом на фотокатоді електронно-оптичного підсилювача світла з мікроканальною пластиною. Оптичні сигнали посилюються більш ніж в 10000

разів. Їх можна спостерігати на екрані через окуляр або записувати на будь-який з відповідних пристроїв. Це все представлено на рис.1.5 [14].

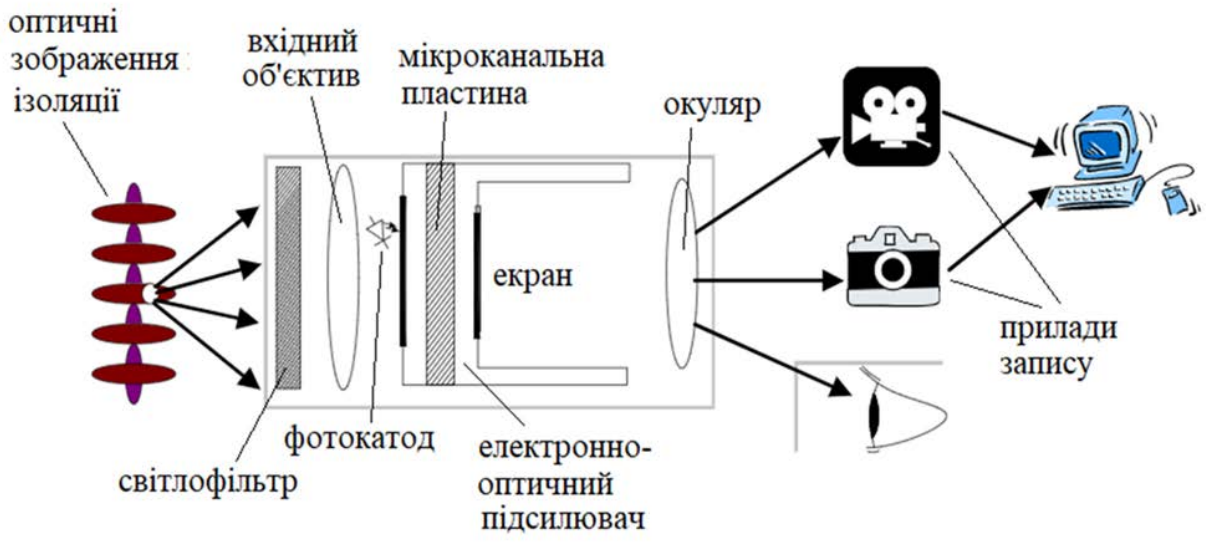

Рис. 1.5. Блок-схема електронно-оптичного дефектоскопа

Також можна встановити спеціальний фільтр перед вхідним об’єктивом, для того щоб можна було оцінювати ступінь забруднення ізоляції.

Рис. 1.6. Визначення дефектів на електростанції за допомогою електронно-оптичного дефектоскопа (стрілочками вказані місця дефектів)

У зв'язку з тим, що ми працюємо з високою напругою, управління може здійснюватися тільки дистанційно, цьому сприяє коефіцієнт підсилення яскравості світла.

Як проходить вимірювання: оператор встановлює пристрій на потрібному діапазоні від об'єкта контролю. Пристрій приймає, а потім перетворює спектр ультрафіолетового діапазону об'єкта в електричний сигнал, який, в свою чергу, обробляється з урахуванням особливостей випромінювання локальних коронних розрядів на високовольтному обладнанні. Обробка складається з оцифровки і посилення сигналу за допомогою електронно-оптичного перетворювача і передачі отриманої інформації оператору або записуючих пристроїв. Потім на підставі отриманої інформації оператор визначає наявність коронних розрядів і несправностей на досліджуваній ділянці [6].

1.4.4. Огляд аналогів приладу

На сучасному ринку існує багато різноманітних електронно-оптичних дефектоскопів та ультрафіолетових камер.

Одними із найпопулярніших електронно-оптичних дефектоскопів є прилади Uvirco (ПАР), камери CoroCAM, що перетворюють УФ сигнали в видиме зображення, відчизняного виробництва – електронно-оптичні дефектоскопи «Філін-6», «Філін-6М». Моделі відрізняються комплектацією, засобом візуалізації та реєстрації зображення, набором додаткових функцій, діапазоном робочих відстаней, але мають однаковий принцип роботи. Наприклад, «Філін-6» може робити запис або фото, а може працювати і безпосередньо з оком людини, а в CoroCaM вмонтований дисплей з картою пам'яті для зберігання інформації [6,14].

Рис. 1.7. Ультрафіолетові камери «CoroCAM 8» (а) и «DayCor Superb camera» (б)

Розглянемо «Філін-6» як один із найпростіших аналогів ЕОД. Електронно-оптичний дефектоскоп «Філін-6», масою до двох кілограм і габаритними розмірами 340x89x75 (без ручки), призначений для дистанційного контролю високовольтного енергетичного обладнання знаходиться під напругою. В основі методу діагностики лежить визначення характеристик коронних (КР) і поверхнево-часткових розрядів (ПЧР), а так само їх залежностей від величини напруги і ступеня забруднення ізоляції. За допомогою ЕОД можливо дистанційне обстеження ізоляції і обладнання [15].

За допомогою даного приладу, дозволяє з мінімальними витратами часу, виявити і визначити:

- "нульові" ізолятори в підвісний порцелянової ізоляції;
- джерела корони і поверхневих часткових розрядів;
- мікротріщини в опорно-стрижневий ізоляції;
- оцінити поверхневу провідність на ізоляції;
- дефекти конструкції і монтажу;
- занижений перетин шлейфу;
- внутрішні дефекти опорою ізоляції;

- накиди дроту на струмопровідні частини обладнання.

Рис. 1.8. Загальний вигляд електронно-оптичного дефектоскопа «Філін-6»

Технічні характеристики «Філін-6» представлені в табл.1.2.

Таблиця 1.2. Технічні характеристики «Філін-6»

Характеристики	Параметри
Відстань до об’єкту	4-50 м
Спектральний діапазон чутливості без світлофільтрів	240-650 нм
Спектральний діапазон чутливості з світлофільтрами	300-800 нм
Коефіцієнт підсилення яскравості світла	не менше 10 000
Фокусна відстань вхідного об’єктива	130 мм
Світлосила вхідного об’єктива (діафрагма)	1:2
Чутливість до коронних розрядів	1 пКл
Порогова освітленість на фотокатоді	До 0.1 мкЛк

Одними із головних недоліків, що визначають цей дефектоскоп обмеженим у використанні, виявились: низька чутливість та перешкодозахищеність, робота тільки в темний час доби.

1.5. Обґрунтування елементів схеми розроблювального ЕОД

Розглянувши в попередніх пунктах усі особливості електронно-оптичних дефектоскопів та ультрафіолетових камер, можна обґрунтувати вибір схеми розроблювального ЕОД.

По-перше, потрібно вдосконалити метод перегляду отриманої інформації. В розроблювальному приладі буде можливість одразу бачити отриману інформацію на дисплеї і можливість переглядати отримане зображення пізніше, оскільки буде присутній пристрій запису даних, а саме карта пам’яті Micro SD.

Також в розроблювальному електронно-оптичному дефектоскопі будуть присутні сучасні безпровідні технології передачі даних, а саме Bluetooth-модуль, щоб передавати дані на смартфон чи ПК.

Одними з особливостей – будуть присутні експлуатаційні характеристики, які чутливі до випромінювання корони при денному світлі. Це дасть можливість проводити досліди як вночі, так і вдень, навіть при сонячному світлі, що є відсутнім в «Філін-6».

Сам прилад буде працювати на акумуляторі, що робить його більш універсальним і компактним. Також прилад можна тримати в руках або закріплювати на штативі при проведені досліджень.

Ультрафіолетові камери являються сучасними приладами для проведення безконтактного вимірювання ультрафіолетового випромінювання та коронних розрядів поверхні контрольованого об’єкта. Як вже було розглянуто в попередньому розділі, в залежності від принципу дії дані прилади мають хороші характеристики. За даною класифікацією кожна характеристика впливає на сильні та слабкі сторони приладу. Виходячи з них та особливостей діяльності в конкретних сферах робітники з різних галузей промисловості та науки визначають який саме дефектоскоп підійде для їх діяльності. Було розглянуто принципи роботи електронно-оптичного дефектоскопа, приклади сфер їх застосування та порівняльний аналіз переваг та недоліків.

Висновки до розділу 1

У цьому розділі було розглянуто особливості експлуатації і причини виникнення несправностей та аварій на електростанціях, а саме поява дефектів та коронних розрядів на лініях електропередач, ізоляторах, вузлах та інших пристроях високовольтного енергетичного обладнання. Оскільки коронний розряд являє собою вкрай негативний фактор електричної мережі і високореактивно руйнує електрод, який впливає на механічні та електричні властивості електроустаткування. Такі розряди виникають при частковому електричному пробої іонізованого повітря, що оточує провідник з високою напругою в присутності неоднорідного електричного поля. Іонізоване повітря між коронуючими електродами розряджає серію коротких імпульсів змінного струму.

Проведено глибокий порівняльний аналіз характеристик приладів, за допомогою яких проводяться контроль високовольтного обладнання, а також їх головні особливості. Розглянуто принцип роботи цих пристроїв, сфери застосування.

На закінчення можна вказати, що кожний електронно-оптичний дефектоскоп має різні обмежені здатності швидко виявляти дефекти та коронні розряди на високовольтному обладнанні, особливо це характерно на початковій стадії їх зародження. Висока вартість сучасних ЕОД обмежує їх масове використання в енергетиці України. Тому розробка такого приладу є вельми актуальним завданням.

РОЗДІЛ 2. ПРОЕКТУВАННЯ ЕЛЕКТРОННО-ОПТИЧНОГО ДЕФЕКТОСКОПА

2.1. Розробка функціональної схеми приладу

У попередньому розділі було розглянуто загальну схему електронно-оптичного дефектоскопа (рис. 1.5). Вона містить оптичну систему, світлофільтр, ЕОП та окуляр, але функціональні характеристики цієї схеми є занадто простими без використання сучасних можливостей. Тому було розроблено оновлену функціональну схему електронно-оптичного дефектоскопа з додаванням різноманітних функцій та можливостей, яка показана на рис. 2.1.

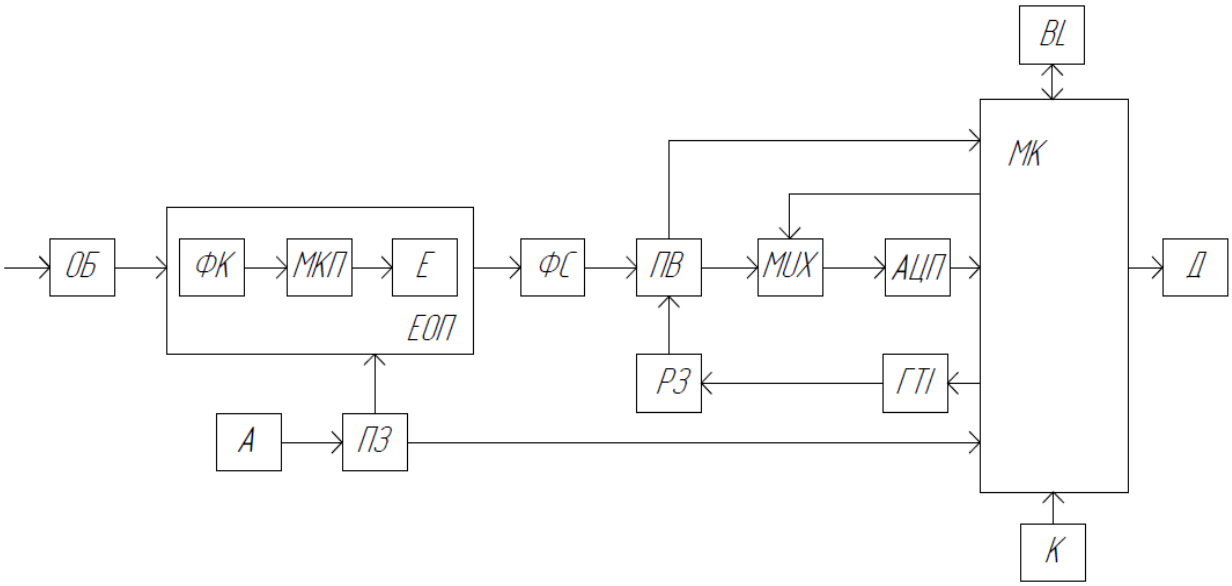

Рис. 2.1. Функціональна схема електронно-оптичного дефектоскопа

- ОБ – об’єктив
- ФК – фотокатод
- МКП – мікроканальна пластина
- Е – екран
- ЕОП – електронно-оптичний перетворювач
- А – акумулятор

- ПЗ – плата зарядки
- ФК – фокусуюча система
- ПВ – приймач випромінювання
- РЗ – регістр зсуву
- MUX – мультиплексор
- АЦП – аналого-цифровий перетворювач
- ГТІ – генератор тактових імпульсів
- МК – мікроконтролер
- BL – Bluetooth-модуль
- К – кнопки
- Д – дисплей

У даній схемі оптичне зображення високовольтного обладнання та ультрафіолетове випромінювання коронних розрядів, проходячи світлофільтр, формується об’єктивом на фотокатоді ЕОП з мікроканальною пластиною. Далі підсилений сигнал створюється на люмінесцентному екрані і передається через фокусуючу систему на приймач випромінювання. Для подальшої обробки сигнал потрапляє на мікропроцесор з вбудованим АЦП. Виміряні значення виводяться на дисплей та записуються на пристрій зберігання даних. За допомогою кнопок виконується управління приладом. Для передачі інформації на смартфон чи ПК використовується Bluetooth-модуль. Акумулятор та плата зарядки являються джерелом живлення, що є великою перевагою над блоком живлення, оскільки присутня портативність та компактність приладу.

2.2. Проектування оптичної системи об’єктиву приладу

У розроблювальному приладі оптична система об’єктива повинна працювати в ультрафіолетовому діапазоні. Однією з вагомих властивостей ультрафіолетового випромінювання є те, що звичайне повітря, яке помітно поглинає УФ, є непрозорим для такого випромінювання, починаючи з 180 нм

і нижче [16,17]. Тому оптичний матеріал для пропускаючих оптичних компонентів підбирався згідно діапазону ультрафіолетового випромінювання та його особливостей. Найпопулярніші оптичні матеріали для ультрафіолетового діапазону оптичного спектру показано в табл. 2.1 [18].

Таблиця 2.1. Оптичні матеріали для УФ діапазону

Матеріал	***LiF***	***MgF_2***	***BaF_2***	***CaF_2***	***Al_2O_3***	***SiO_2***
Показник заломлення (λ=260нм)	1.39	1.42	1.51	1.45	1.83	1.45
Спектральний діапазон, мкм	0,12 - 6	0,2 - 6	0,18 - 12	0,15 - 9	0,17 - 5,5	0,18 - 3,5

Основні характеристики та кардинальні елементи оптичної системи можна розрахувати різними методами, наприклад, використовуючи алгоритм нульових променів, математичний апарат якого розкритий у виразах (2.1-2.4) [19].

Формула кутів нульового променю:

$$tg\,\sigma_{k+1} = \frac{n_k}{n_{k+1}} tg\,\sigma_k + \frac{n_{k+1}-n_k}{n_{k+1}} \cdot \frac{h_k}{r_k} \quad (2.1)$$

Формула висот нульового променю:

$$h_{k+1} = h_k - d_k tg\,\sigma_{k+1} \quad (2.2)$$

Формула заднього фокального відрізка ОС для нульових променів:

$$S_{p+1} = \frac{h_p}{tg\,\sigma_{p+1}} \quad (2.3)$$

Формула лінійного збільшення ОС для нульових променів:

$$\beta = \frac{n_1 tg\,\sigma_1}{n_{p+1} tg\,\sigma_{p+1}} \quad (2.4)$$

Однак, така методика може дати тільки оціночну наближену відповідь, тому для більш ефективного та точного розрахунку параметрів оптичної системи доцільно застосовувати спеціалізовані системи автоматичного проектування.

Для моделювання оптичної системи використовувалось середовище Zemax [20]. Розглянемо детальніше хід побудови оптичної системи приладу.

Для синтезу об'єктива оптичної системи розроблювального ЕОД в таблицю конструктивних параметрів задано наступні значення, які показано на рис. 2.2. В якості оптичного матеріалу для чотирьох лінз було вибрано три види матеріалу: літій фтористий, кальцій фтористий та кальцит. Вибір такого матеріалу основується на характеристиках електронно-оптичного перетворювача V4170U-02, а саме на робочому діапазоні цього ЕОП.

	Surf:Type	Comment	Radius		Thickness		Glass	Semi-Diameter	Conic
OBJ	Standard		Infinity		Infinity			Infinity	0.000
STO	Standard		27.798	V	13.909	V	CAF2	10.255	0.000
2	Standard		1721.302	V	0.500			9.871	0.000
3	Standard		-170.092	V	15.000	V	CAF2	9.863	0.000
4	Standard		-375.996	V	0.500			9.669	0.000
5	Standard		239.635	V	15.000	V	LIF	9.645	0.000
6	Standard		-14.421	V	0.450			9.274	0.000
7	Standard		-14.040	V	22.084	V	CALCITE	8.950	0.000
8	Standard		-32.609	V	30.549	V		11.228	0.000
IMA	Standard		Infinity		-			8.995	0.000

Рис. 2.2. Конструктивні параметри об'єктива оптичної системи електронно-оптичного дефектоскопа

Зовнішній вид спроектованої оптичної системи у вигляді пустотілого тривимірного зображення показаний на рис. 2.3 та тіньова модель – на рис. 2.4.

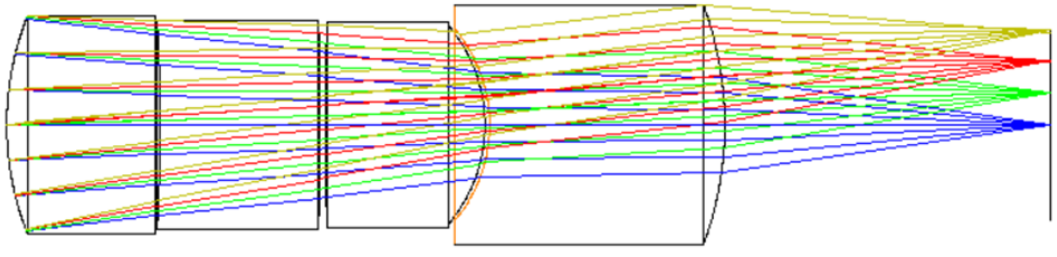

Рис. 2.3. Тривимірне пустотіле зображення оптичної системи приладу

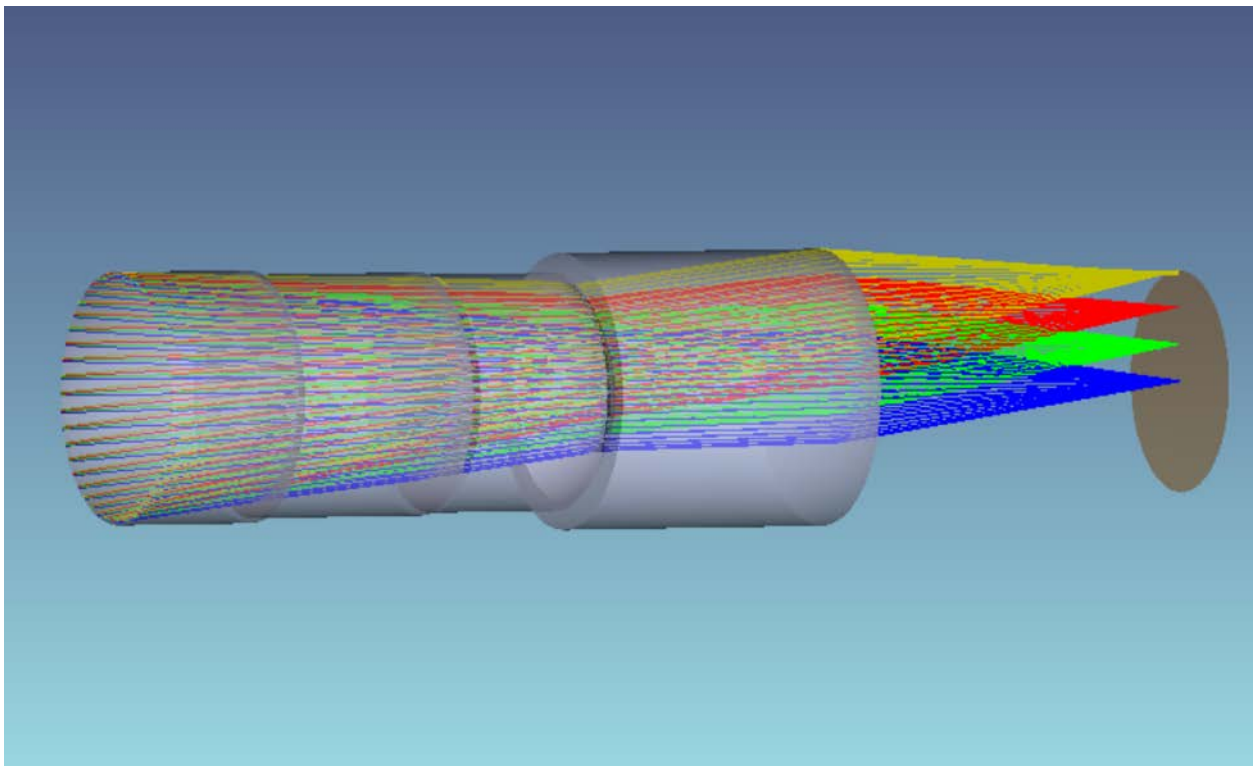

Рис. 2.4. Тіньова модель оптичної системи

На рис. 2.2 бачимо, що світловий радіус, який розташований на 30,549 мм від останньої оптичної поверхні, складає 8.995 мм. Щоб отримати повний діаметр світлового пучка в площині зображення, потрібно дане число світлового радіуса помножити на два, тоді діаметр дорівнює 17,99 мм. Розмір чутливої площадки приймача випромінювання V4170U-02, а саме фотокатода електронно-оптичного перетворювача, для розроблюваної оптичної системи відповідає даному розміру (18 мм). Спектральний діапазон даного ЕОП відповідає довжинам хвиль від 160 нм до 650 нм. Спектральна чутливість вибраного ЕОП показана на рис. 2.5. Значення чутливості у відносному масштабі в залежності від довжини хвилі розроблювальної оптичної системи показано на рис. 2.6.

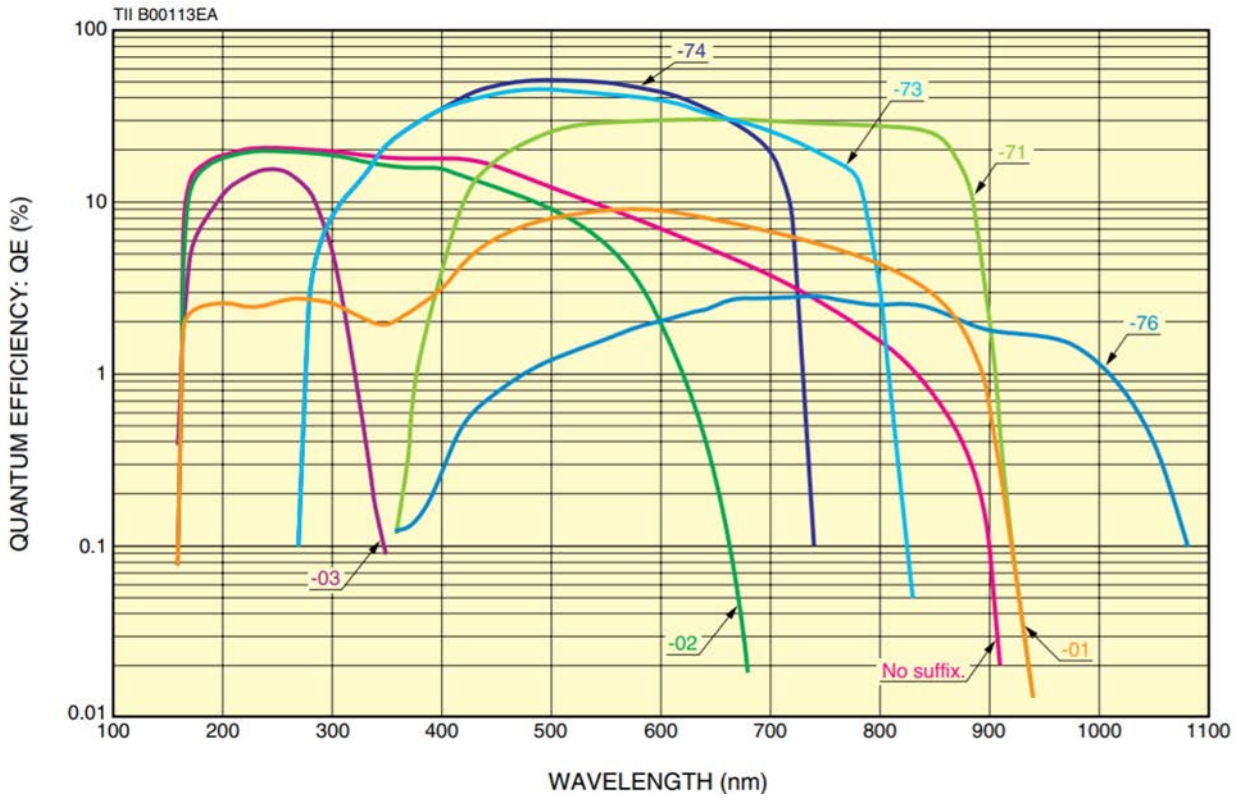

Рис. 2.5. Спектральний діапазон електронно-оптичного перетворювача V4170U-02 (-02 – позначення вибраного ЕОП)

Wavelength (µm)	Weight
0.23	0.8
0.24	0.99
0.32	0.9
0.4	0.85
0.48	0.7
0.56	0.35
0.64	0.09
0.65	0.05

Рис. 2.6. Значення спектральної чутливості в залежності від довжини хвилі розроблювальної оптичної системи

Проведення оцінки залежності концентрації випромінювання від розміру ділянки ЕОП в площині зображення, на яку потрапляє ультрафіолетове випромінювання досліджуваного об’єкту, виконується за

допомогою функції «Illumination XY Scan» середовища Zemax. Результат можна побачити на рис. 2.7.

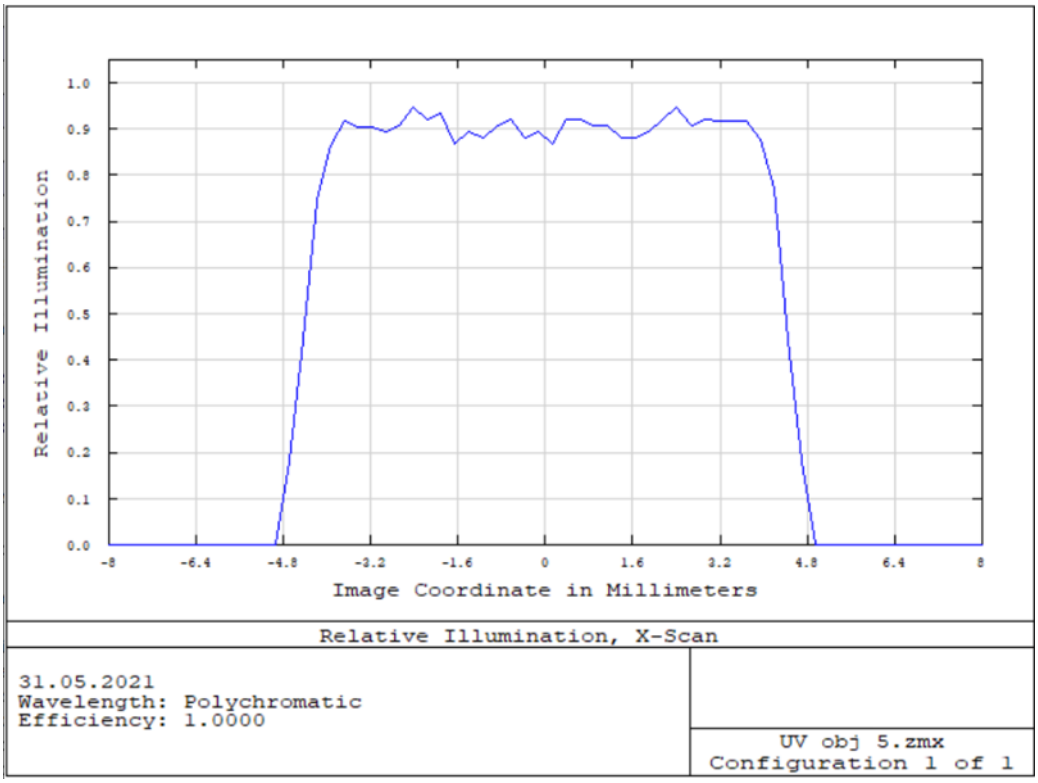

Рис. 2.7. Розподіл випромінювання на приймачі оптичної системи

Функція «Illumination 2D Surface» моделює зображення двомірної площини розподілу рівня концентрації випромінювання колірною індикацією або його тривимірний графік. Результати зображені на рис 2.8 та рис. 2.9.

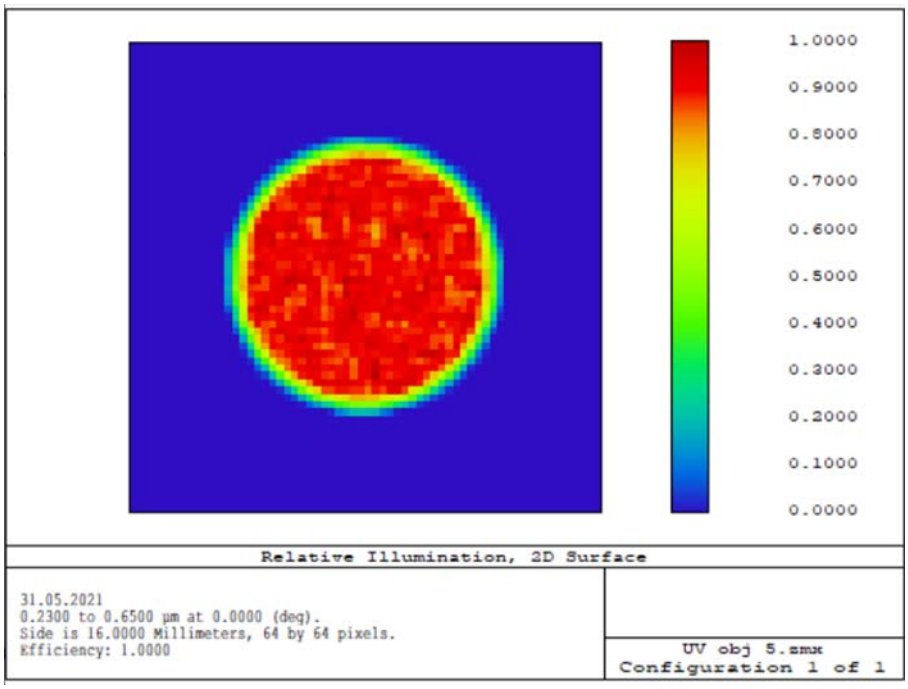

Рис. 2.8. Двомірна діаграма рівня концентрації випромінювання оптичної системи

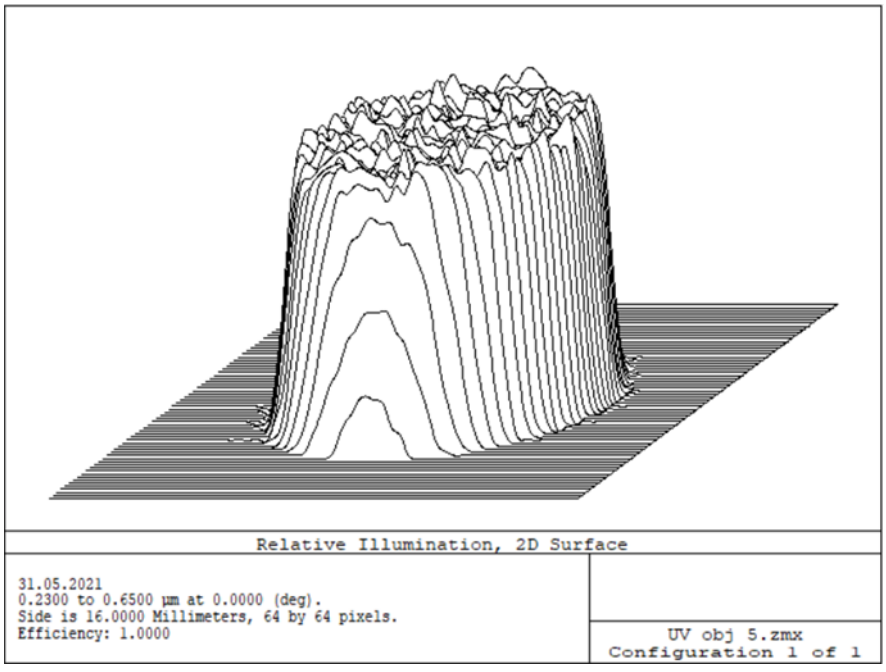

Рис. 2.9. Тривимірна діаграма рівня концентрації випромінювання оптичної системи

Також для отримання бажаних результатів виконувалась оптимізація характеристик оптичної системи. Це було реалізовано за допомогою функції

«Merit Function» в меню редактора «Editor», де задаються параметри для оптимізації. Основним завданням є те, щоб розмір зображення оптичної системи відповідав розміру чутливої площадки приймача випромінювання. Операндом, що відповідає за параксіальний розмір зображення системи, є «PIMH». Таблиця «Merit Function» матиме вигляд, показаний на рис. 2.10. Крім вже введених даних в ній відображається поточне значення операндів для об'єктива «Value» і внесок кожного операнда в глобальну оптимізацію «Contribution». Інші (непоказані) операнди оптимізаційної функції розраховуються системою автоматично при застосуванні «Sequential Merit Function», що направлена на підвищення якості зображення оптичної системи.

Oper #	Type	Wave		Target	Weight	Value	% Contrib
1: PIMH	PIMH	2		9.000	40.000	8.990	2.300E-003
2: DMFS	DMFS						

Рис. 2.10. Частина таблиці «Merit Function»

Також за допомогою діаграми плям розсіювання можна комплексно оцінювати геометричні характеристики якості зображення. За відображення цієї діаграми відповідає функція «Spt». На рис. 2.11 можна побачити форму та геометричний розмір плям розсіювання відповідно до нашого спектрального діапазону та обраних кутів поля зору. Обрані для аналізу кути поля зору задавалися через функцію «Fie» (рис. 2.12).

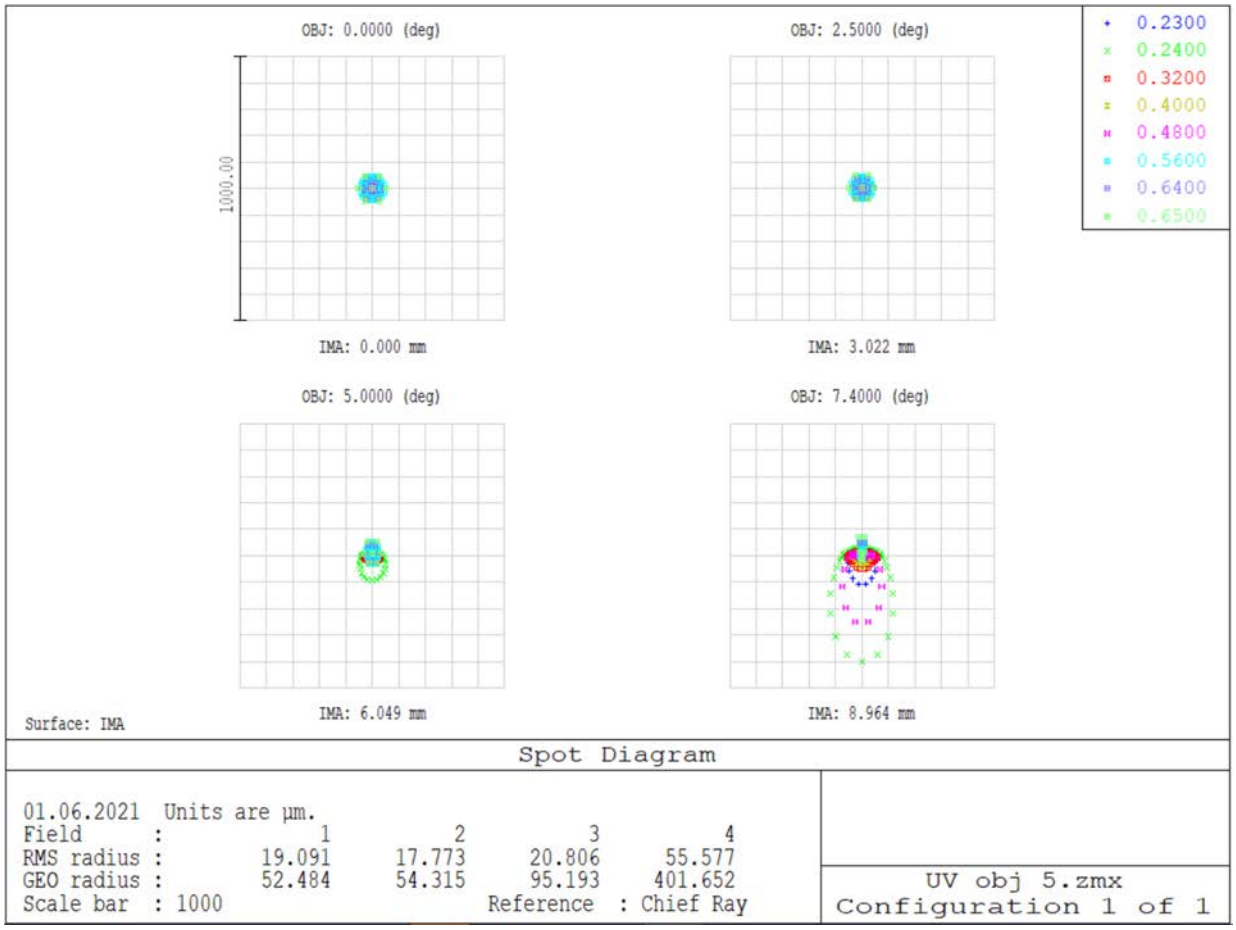

Рис. 2.11. Діаграма плям розсіювання оптичної системи

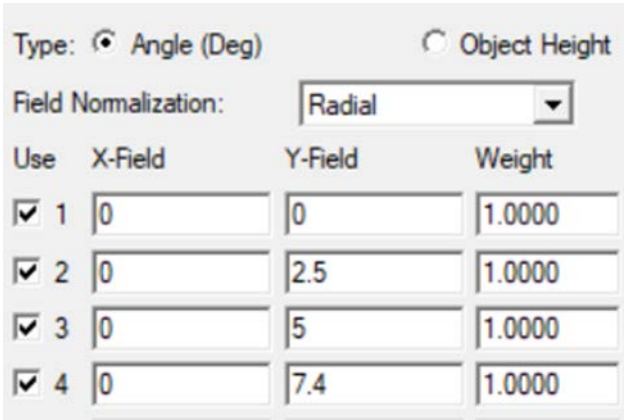

Рис. 2.12. Кути поля зору оптичної системи

Просторово-частотні характеристики якості зображення оптичної системи відображає функція «MTF» (рис. 2.13). Це потрібно для того, щоб характеризувати рівень контрасту та якість зображення.

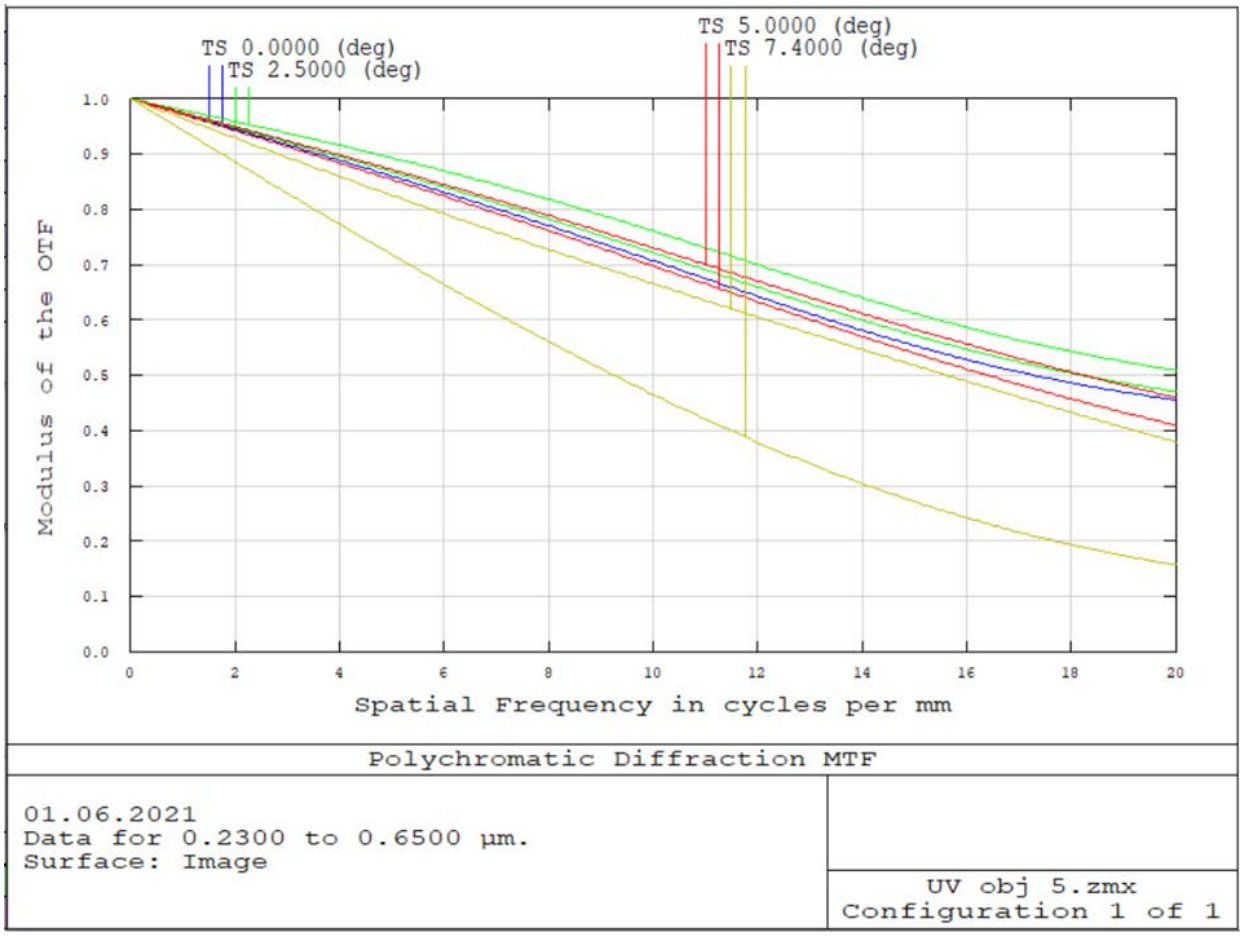

Рис. 2.13. Модуляційна передавальна функція оптичної системи

Для отримання загальних характеристик використовується функція «Sys» (рис. 2.14). За даною таблицею можемо побачити наступну інформацію: задня фокусна відстань системи становить 69,32 мм, загальна довжина системи, тобто відстань від першої оптичної поверхні системи до площини зображення, становить 97,99 мм.

```
GENERAL LENS DATA:

Surfaces                 :                9
Stop                     :                1
System Aperture          : Entrance Pupil Diameter = 20
Glass Catalogs           : SCHOTT BIREFRINGENT INFRARED
Ray Aiming               : Off
Apodization              : Uniform, factor =   0.00000E+000
Temperature (C)          :    2.00000E+001
Pressure (ATM)           :    1.00000E+000
Adjust Index Data To Environment  : Off
Effective Focal Length   :        69.32009 (in air at system temperature and pressure)
Effective Focal Length   :        69.32009 (in image space)
Back Focal Length        :        30.71387
Total Track              :         97.9916
Image Space F/#          :        3.466005
Paraxial Working F/#     :        3.466005
Working F/#              :        3.462726
Image Space NA           :       0.1427803
Object Space NA          :          1e-009
Stop Radius              :              10
Paraxial Image Height    :        9.003108
Paraxial Magnification   :               0
Entrance Pupil Diameter  :              20
Entrance Pupil Position  :               0
Exit Pupil Diameter      :        39.00272
Exit Pupil Position      :        -135.019
Field Type               : Angle in degrees
Maximum Radial Field     :             7.4
Primary Wavelength       :            0.23 µm
Lens Units               :   Millimeters
Angular Magnification    :       0.5127847

Fields          : 4
Field Type               : Angle in degrees
 #        X-Value         Y-Value         Weight
 1       0.000000        0.000000        1.000000
 2       0.000000        2.500000        1.000000
 3       0.000000        5.000000        1.000000
 4       0.000000        7.400000        1.000000
```

Рис. 2.14. Загальні характеристики оптичної системи об’єктиву розроблювального приладу

2.3. Проєктування фокусуючої системи приладу

Для побудови фокусуючої системи розроблювального ЕОД, що працює у видимому діапазоні довжин хвиль, в таблицю конструктивних параметрів задано наступні значення, які показано на рис 2.15. Діаметр вхідної зіниці задається згідно конструкції електронно-оптичного перетворювача V4170U-02.

Surf:Type		Comment	Radius		Thickness	Glass	Semi-Diameter	Conic
OBJ	Standard		Infinity		Infinity		Infinity	0.000
1	Standard		Infinity		2.000	LZ_LF5	11.184	0.000
2	Standard		Infinity		2.000		11.075	0.000
STO	Standard		27.527	V	3.645	LZ_TK14	11.107	0.000
4	Standard		-302.139	V	5.616		10.983	0.000
5	Standard		-42.689	V	1.418	LZ_LF5	10.034	0.000
6	Standard		23.172	V	6.817		9.853	0.000
7	Standard		468.045		2.970	LZ_OF1	10.923	0.000
8	Standard		22.950		6.345	LZ_TK14	11.786	0.000
9	Standard		-31.860		60.994		11.866	0.000
IMA	Standard		Infinity		-		6.262	0.000

Рис. 2.15. Конструктивні параметри об’єктива фокусуючої системи електронно-оптичного дефектоскопа

Зовнішній вид спроектованої фокусуючої системи у вигляді пустотілого тривимірного зображення показаний на рис. 2.16 та тіньова модель – на рис. 2.17.

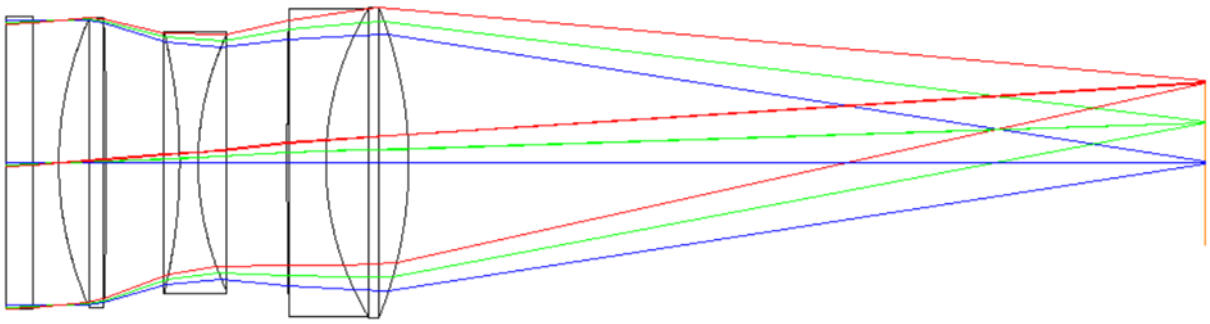

Рис. 2.16. Тривимірне пустотіле зображення фокусуючої системи приладу

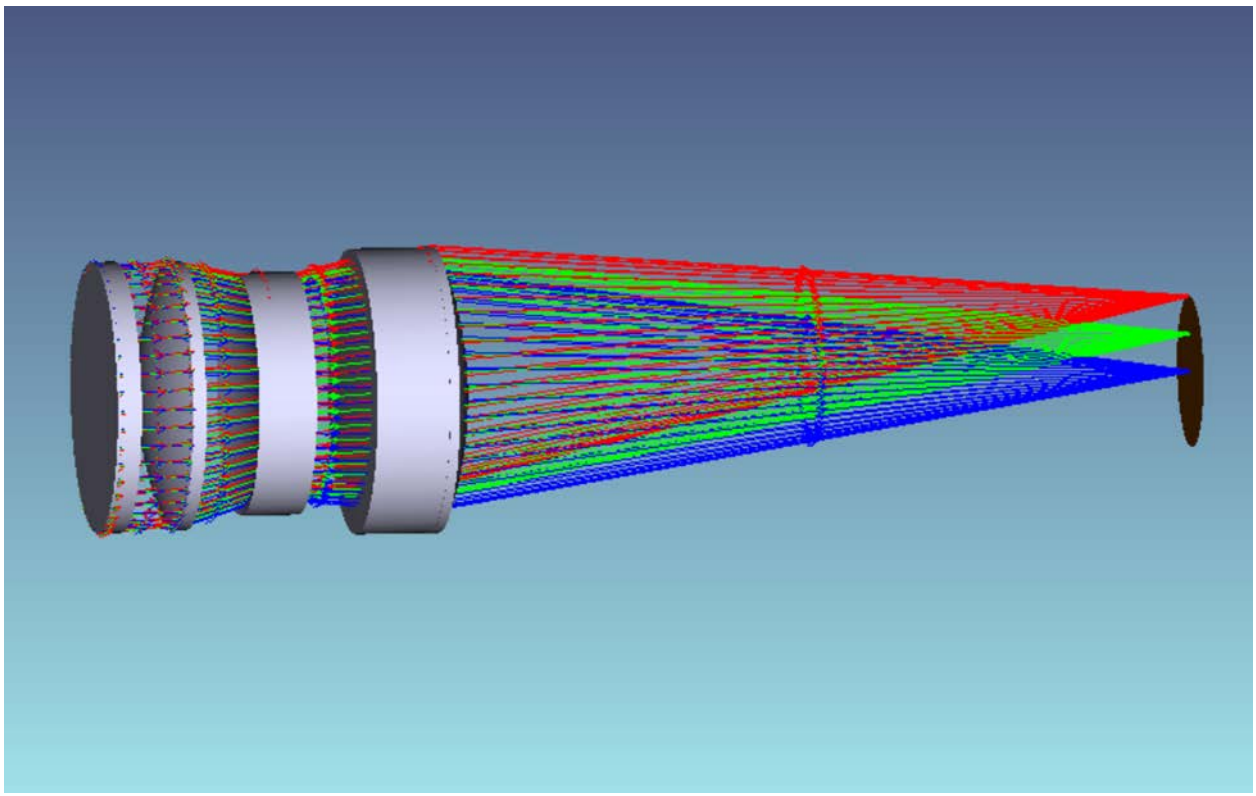

Рис. 2.17. Тіньова модель фокусуючої системи

На рис.2.15 бачимо, що світловий радіус, який розташований на 60,994 мм від останньої оптичної поверхні, складає 6.262 мм. Щоб отримати повний діаметр світлового пучка в площині зображення, потрібно дане число світлового радіуса помножити на два, тоді діаметр дорівнює 12,524 мм. Розмір чутливої площадки приймача випромінювання S9736 для розроблюваної фокусуючої системи відповідає даному розміру. Спектральний діапазон даної матриці відповідає довжинам хвиль від 400 нм до 1100 нм. Спектральна чутливість вибраного приймача видимого діапазону випромінювання показана на рис. 2.18.

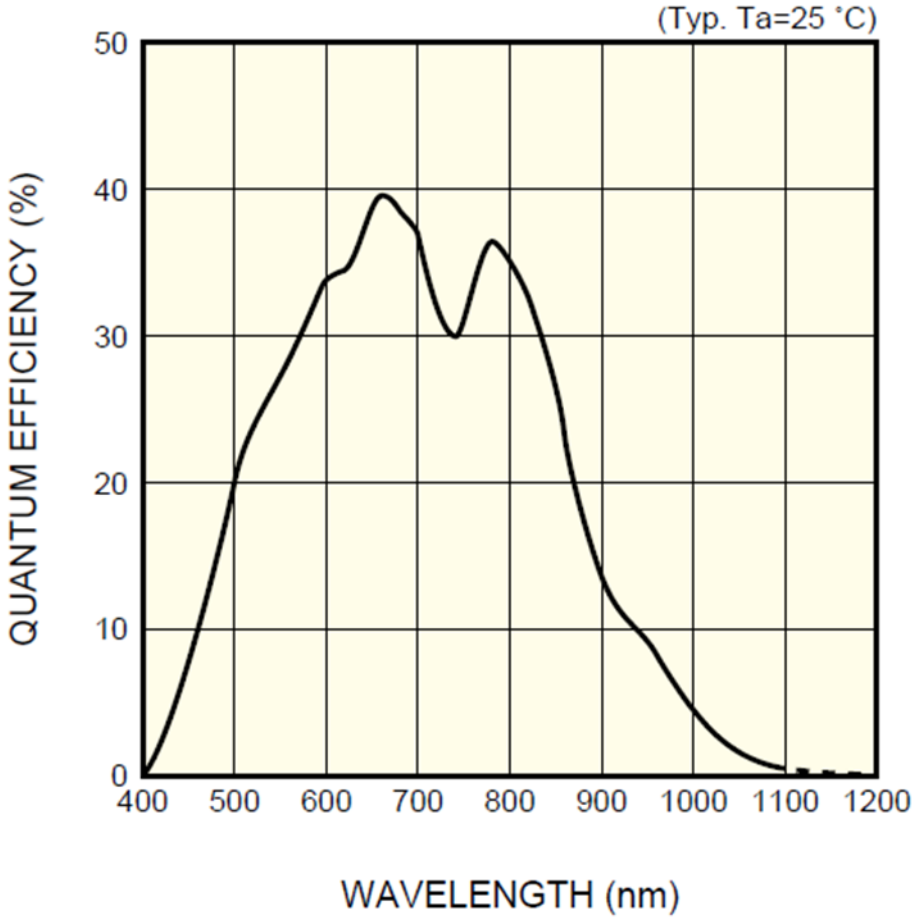

Рис. 2.18. Спектральний діапазон чутливості матриці S9736

За допомогою діаграми плям розсіювання можна комплексно оцінювати геометричні характеристики якості зображення, за відображення цієї діаграми відповідає функція «Spt». На рис.2.19 можна побачити форму та геометричний розмір плям розсіювання відповідно до нашого спектрального діапазону та обраних кутів поля зору. Обрані для аналізу кути поля зору задавались через функцію «Fie» (рис. 2.20)

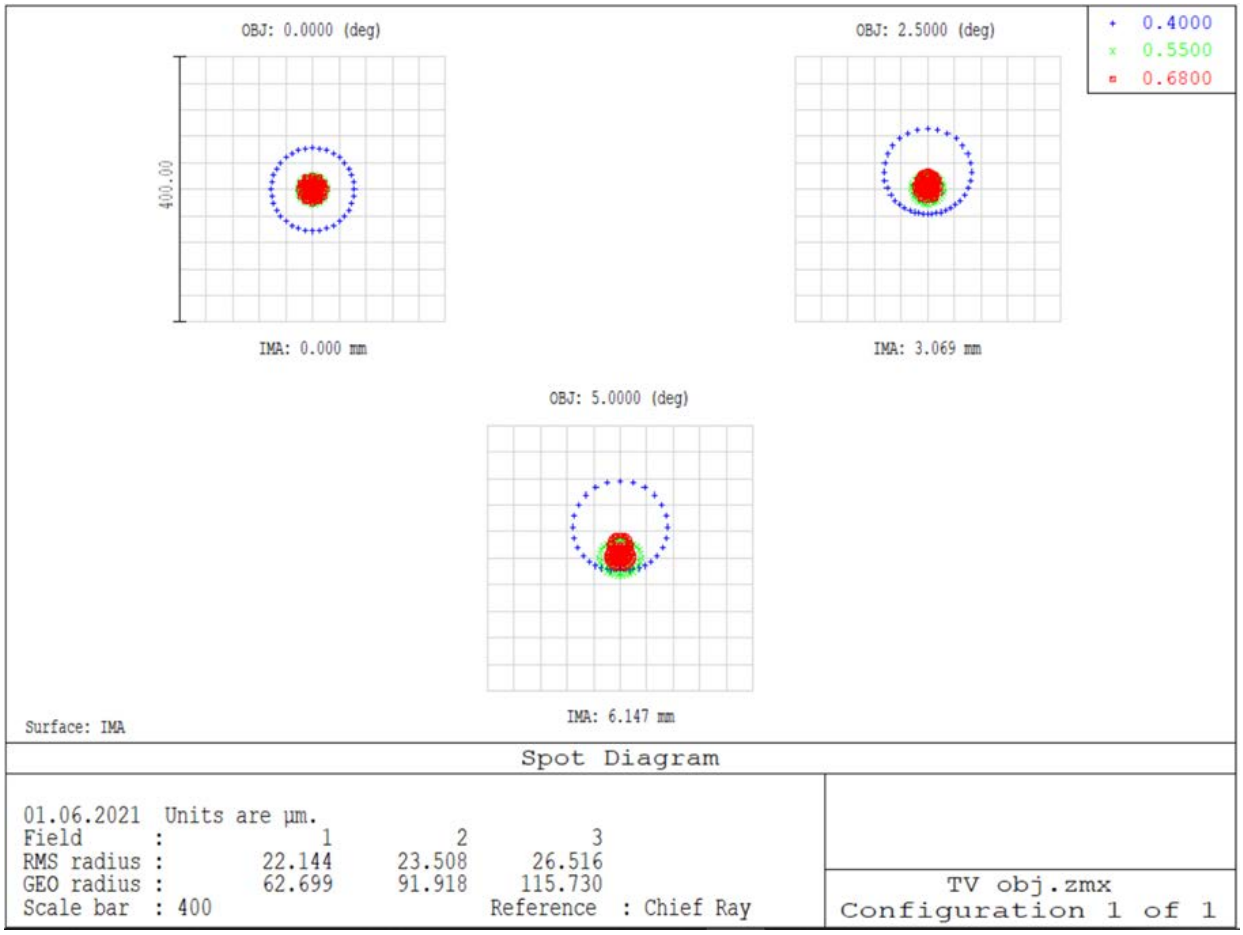

Рис. 2.19. Діаграма плям розсіювання фокусуючої системи

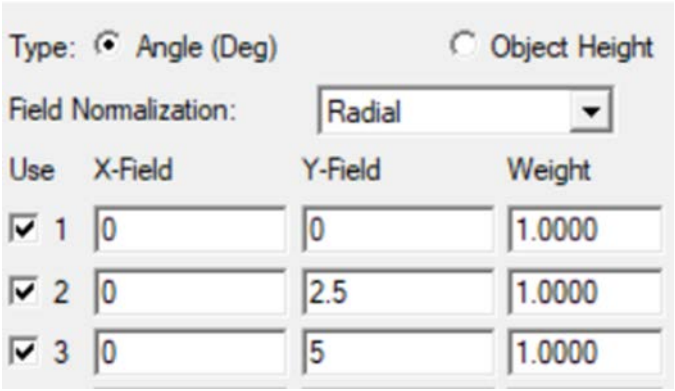

Рис. 2.20. Кути поля зору фокусуючої системи

Просторово-частотні характеристики якості зображення фокусуючої системи відображає функція «MTF» (рис. 2.21). Графік цієї функції характеризує рівень контрасту та якість зображення оптичної системи.

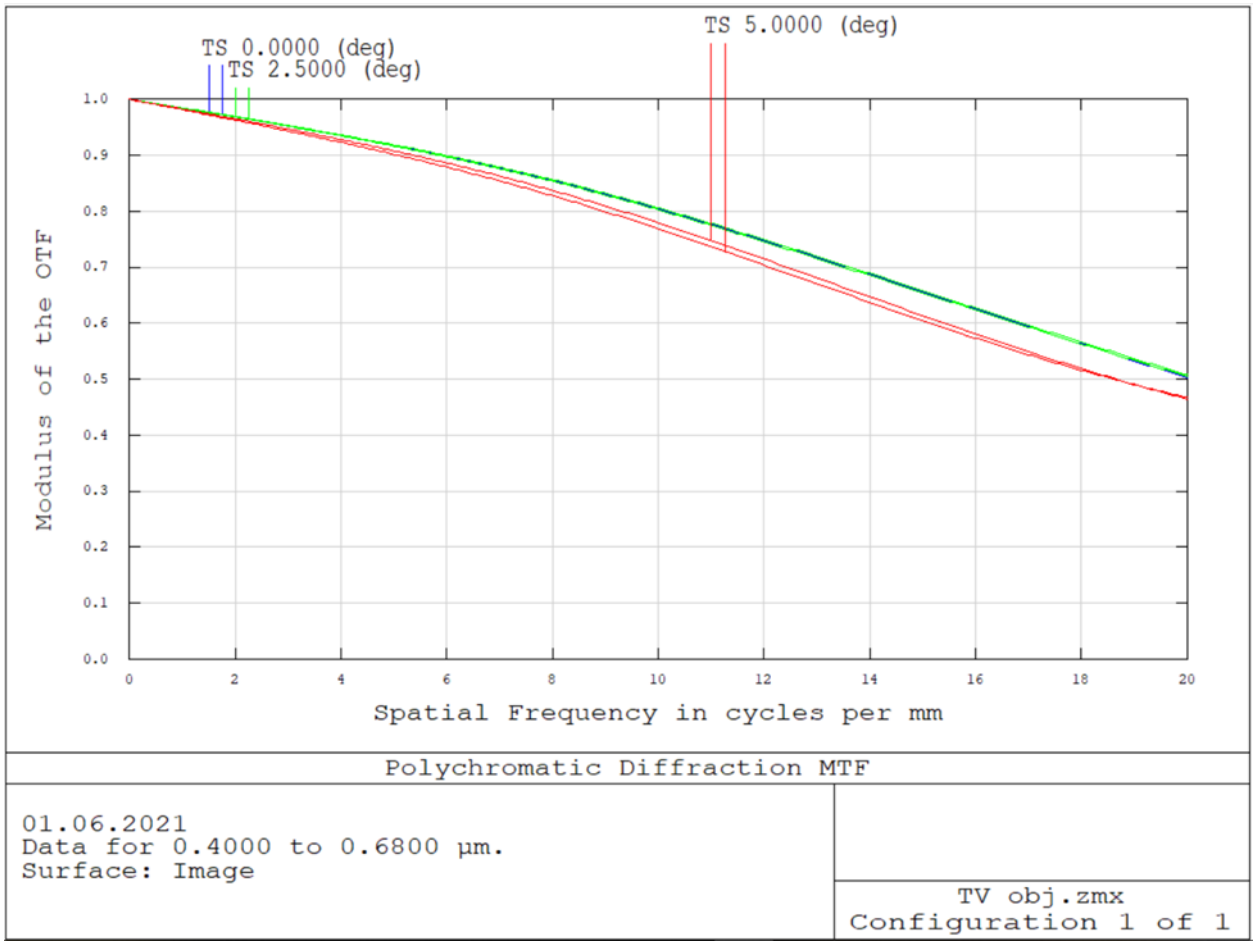

Рис. 2.21. Модуляційна передавальна функція фокусуючої системи

Енергетичні характеристики якості зображення фокусуючої системи відображає функція «Encircled Energy» (рис. 2.22). Це потрібно для того, щоб характеризувати рівень концентрації енергії в плямі розсіювання фокусуючої системи або в площадці плями розсіювання певного розміру.

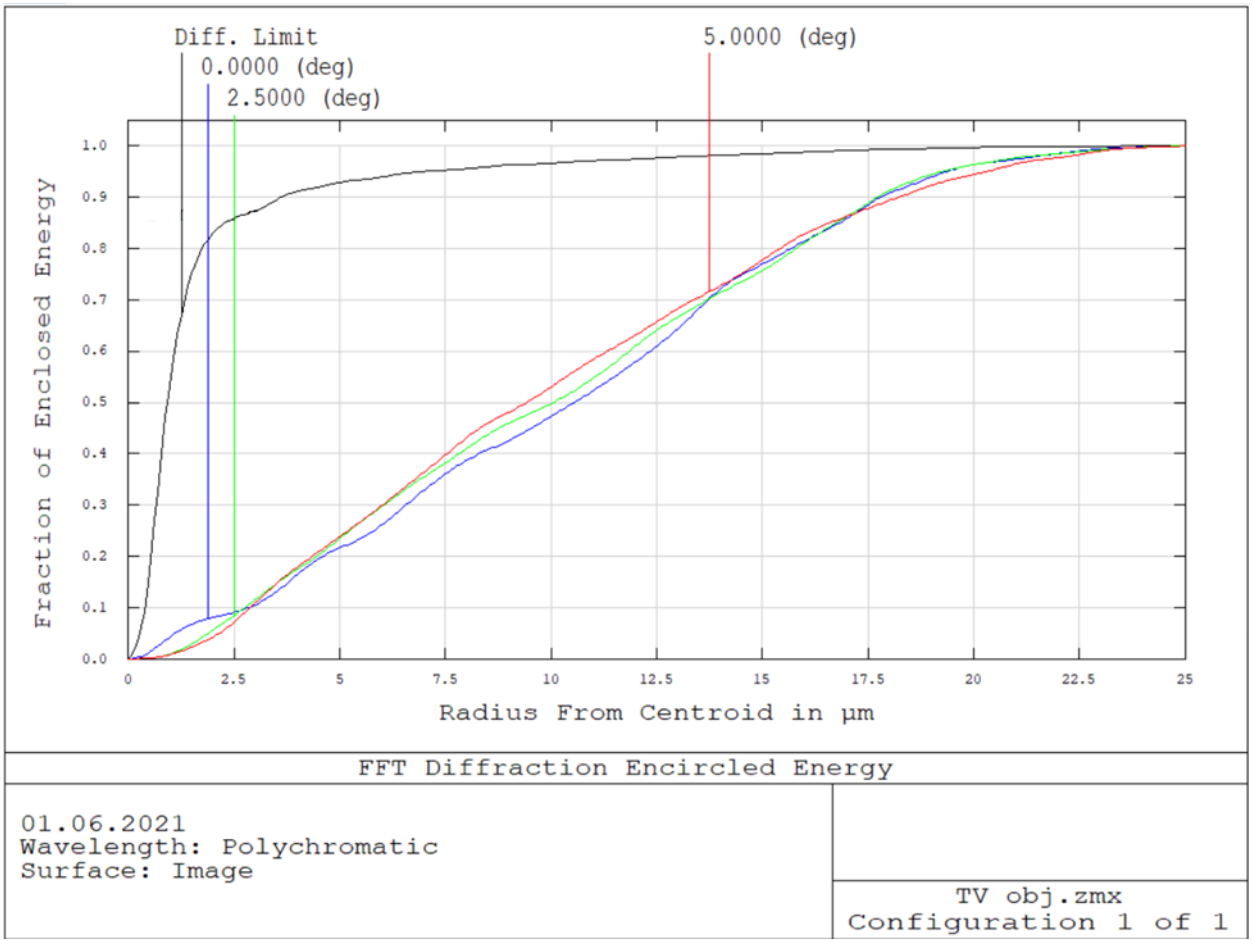

Рис. 2.22. Функція концентрації енергії фокусуючої системи

Проведення геометричного аналізу зображень, виконується за допомогою функції «Geometric Image Analysis» середовища Zemax. Використання цієї функції дає можливість побачити зовнішній вигляд зображених об’єктів та аналізувати корисну роздільну здатність. Це все ґрунтується виключно на геометричному трасуванні променів. Результати можна побачити на рис. 2.23 та рис.2.24.

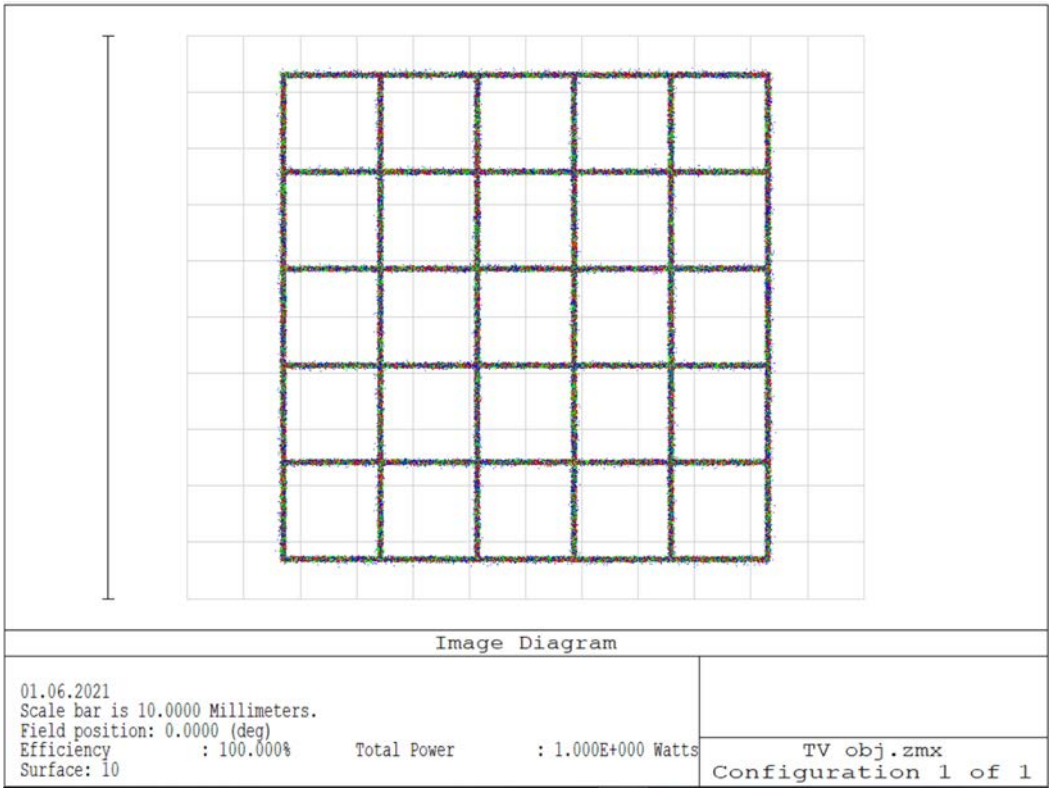

Рис. 2.23. Геометричний аналіз зображення сітки

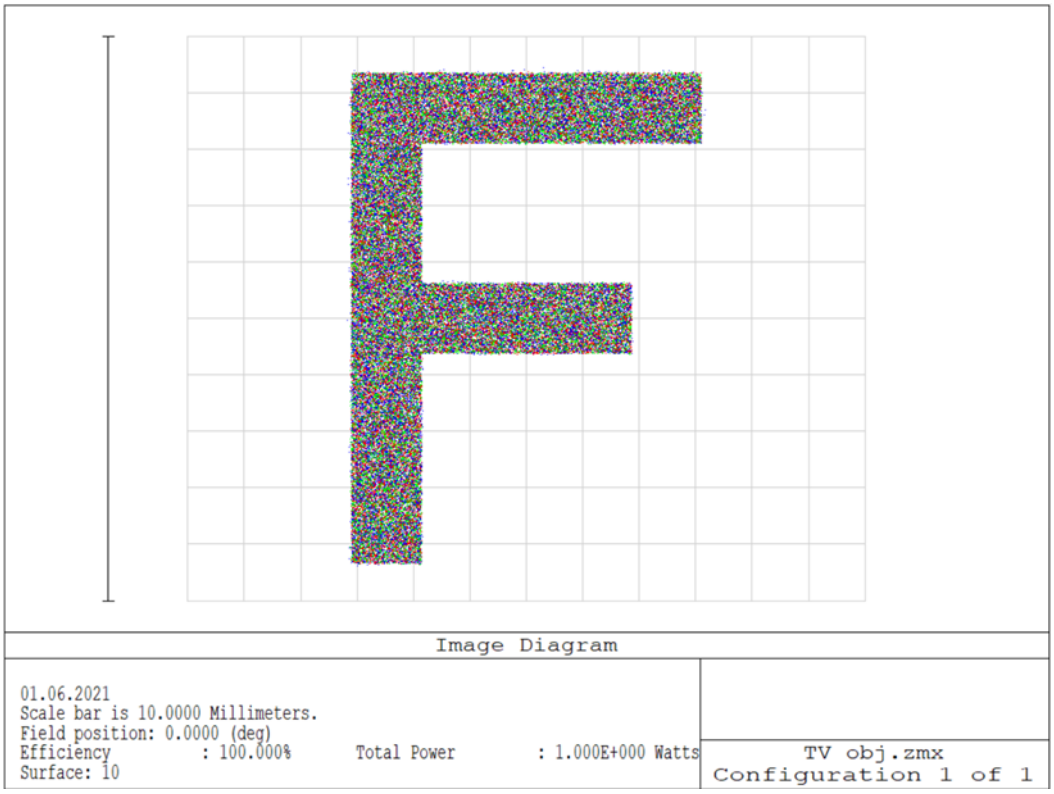

Рис. 2.24. Геометричний аналіз зображення літери «F»

Функція «Geometric Bitmap Image Analysis» створює кольорове зображення RGB на основі даних трасування променів із використанням растрового файлу RGB як джерела (рис. 2.25).

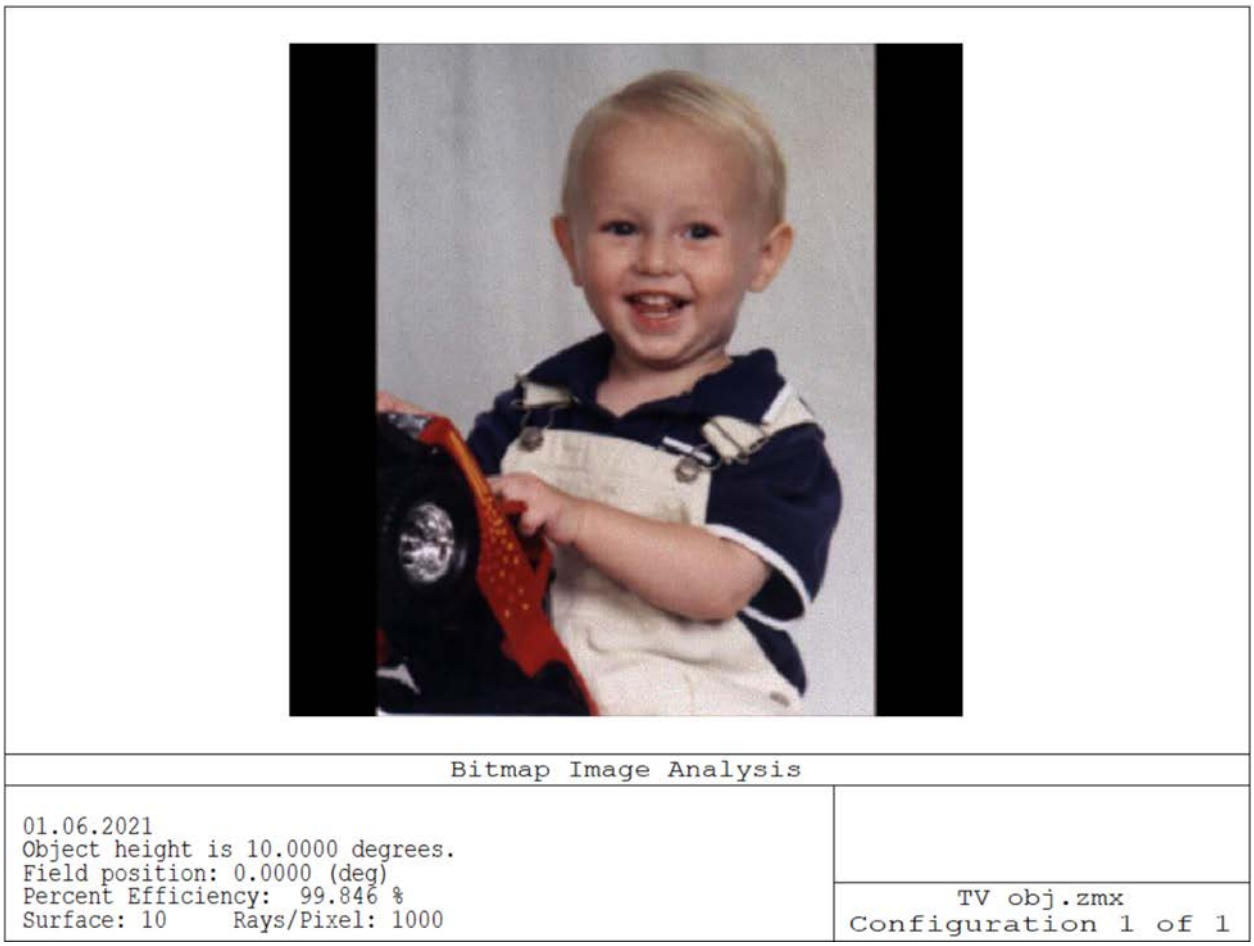

Рис. 2.25. Геометричний аналіз растрового зображення

У синтезованої фокусуючої системи з обраним приймачем випромінювання S9736 (матрицею 512 на 512 пікселів і розміром пікселя 24 мкм) ефективність складає 99,845% (рис. 2.25), що підтверджує узгодження їх параметрів.

Для отримання загальних характеристик використовується функція «Sys» (рис. 2.26). За даною таблицею можемо побачити наступну інформацію: задня фокусна відстань системи становить 70,60 мм, загальна довжина системи, тобто відстань від першої оптичної поверхні системи до площини зображення, становить 91,80 мм.

```
GENERAL LENS DATA:

Surfaces                 :              10
Stop                     :               3
System Aperture          : Entrance Pupil Diameter = 21.8
Glass Catalogs           : SCHOTT LZOS
Ray Aiming               : Off
Apodization              : Uniform, factor =   0.00000E+000
Temperature (C)          :    2.00000E+001
Pressure (ATM)           :    1.00000E+000
Adjust Index Data To Environment  : On
Effective Focal Length   :        70.60382 (in air at system temperature and pressure)
Effective Focal Length   :        70.60382 (in image space)
Back Focal Length        :        61.38325
Total Track              :        91.80491
Image Space F/#          :        3.238707
Paraxial Working F/#     :        3.238707
Working F/#              :        3.241062
Image Space NA           :       0.1525751
Object Space NA          :       1.09e-009
Stop Radius              :            10.9
Paraxial Image Height    :        6.177034
Paraxial Magnification   :               0
Entrance Pupil Diameter  :            21.8
Entrance Pupil Position  :        3.249334
Exit Pupil Diameter      :        29.49514
Exit Pupil Position      :       -95.13679
Field Type               : Angle in degrees
Maximum Radial Field     :               5
Primary Wavelength       :             0.4 µm
Lens Units               :   Millimeters
Angular Magnification    :       0.7391047

Fields          : 3
Field Type              : Angle in degrees
 #        X-Value         Y-Value         Weight
 1       0.000000        0.000000        1.000000
 2       0.000000        2.500000        1.000000
 3       0.000000        5.000000        1.000000
```

Рис. 2.14. Загальні характеристики оптичної системи об’єктиву розроблювального приладу

Висновки до розділу 2

У другому розділі було проведено проєктування вузлів електронно-оптичного дефектоскопа. А саме було розроблено функціональну схему приладу для дистанційного контролю високовольтного обладнання, розглянуто принцип її роботи, описано її можливості.

За допомогою середовища Zemax синтезовано та змодельовано об’єктив та фокусуючу системи електронно-оптичного дефектоскопа. Проаналізовано характеристики та узгодження отриманої оптичної системи та електронно-оптичного перетворювача, враховуючи всі особливості використання оптичних матеріалів для спектрального діапазону ультрафіолетового випромінювання. Також виконано аналіз характеристик отриманої фокусуючої системи та приймача випромінювання видимого діапазону спектру, що використовується в розроблюваному приладі.

РОЗДІЛ 3. ПІДБІР КОМПЛЕКТУЮЧИХ ДЛЯ ЕЛЕКТРОННО-ОПТИЧНОГО ДЕФЕКТОСКОПА

3.1. Вибір електронно-оптичного перетворювача

Для ефективної роботи розроблювального приладу з ультрафіолетовим випромінюванням необхідно правильно підібрати приймач випромінювання, яким виступає електронно-оптичний перетворювач.

Довжина хвиль ультрафіолетового випромінювання знаходиться в спектральному діапазоні 10 – 400 нм, тому основним параметром перетворювача є його спектральний діапазон чутливості.

Так як було вказано в попередньому розділі, повітря не є прозорим для ультрафіолету до 180 нм, тобто суттєво поглинає УФ до цього значення. При виборі ЕОП цей фактор теж враховувався, оскільки діагностику розроблювальним приладом проводять тоді, коли об’єкт знаходиться вже в процесі експлуатації.

Для використання у даному електронно-оптичному дефектоскопі було обрано електронно-оптичний перетворювач Hamamatsu V4170U-02, оскільки він чутливий до потрібних довжин хвиль ультрафіолетового випромінювання, а також має інші характеристики, що відповідають рівню сучасних ЕОД.

Загальний зовнішній вигляд вибраного електронно-оптичного перетворювача Hamamatsu V4170U-02 показано на рис. 3.1.

Рис. 3.1. Загальний вигляд електронно-оптичного перетворювача Hamamatsu V4170U-02

Спектральний робочий діапазон ЕОП Hamamatsu V4170U-02 показаний на рис. 2.5.

Параметри ЕОП:

- Пік спектрального діапазону – 400 нм
- Габаритні розміри – ∅45х23 мм
- Ефективна поверхня фотокатоду – ∅18 мм
- Вхідне вікно – синтетичний діоксид кремнію
- Показник заломлення – 1,46
- Дві мікроканальні пластини
- Матеріал фотокатода – Bialkali
- Світлова чутливість – 50 мкА/лм
- Спектральна чутливість – 50 мА/Вт
- Коефіцієнт підсилення світлового потоку - 1,0 х 106 (лм/м2)/лк
- Робоча температура навколишнього середовища – -20 до +40 ºС

3.2. Вибір приймача випромінювання

В якості приймача випромінювання був вибраний датчик зображення Hamamatsu S9736, створений спеціально для виявлення низького рівня освітлення в наукових цілях. Також датчик має низький рівень шуму та низький темний шум (режим роботи MPP).

Загальний зовнішній вигляд вибраного датчика зображення Hamamatsu S9736 наведено на рис. 3.2.

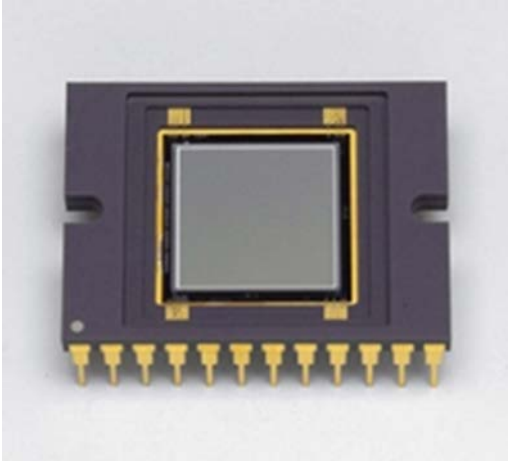

Рис. 3.2. Загальний вигляд датчика зображення Hamamatsu S9736

Технічні характеристики:

- Розмір активної області зображення – 12,288x12,228 мм
- Кількість пікселів – 512x512
- Розмір пікселя – 24x24 мм
- Спектральний діапазон – 400 - 1100 нм
- Частота кадрів 0,3 кадру на секунду
- Розміри датчика 23.11x30.48 мм
- Низький темний струм
- Робота MPP
- Структура CCD – повнокадровий перенос
- Стовідсотковий коефіцієнт заповнення

Спектральний робочий діапазон датчика зображення Hamamatsu S9736 показаний на рис. 2.18.

3.3. Вибір АЦП

Для якісного перетворення аналогового сигналу від приймача випромінювання було обрано восьмибітний АЦП.

ADC080x 8-Bit – це восьмибітний АЦП з послідовний інтерфейсом для керування CMOS, що необхідний для перетворення аналогового сигналу в цифровий код.

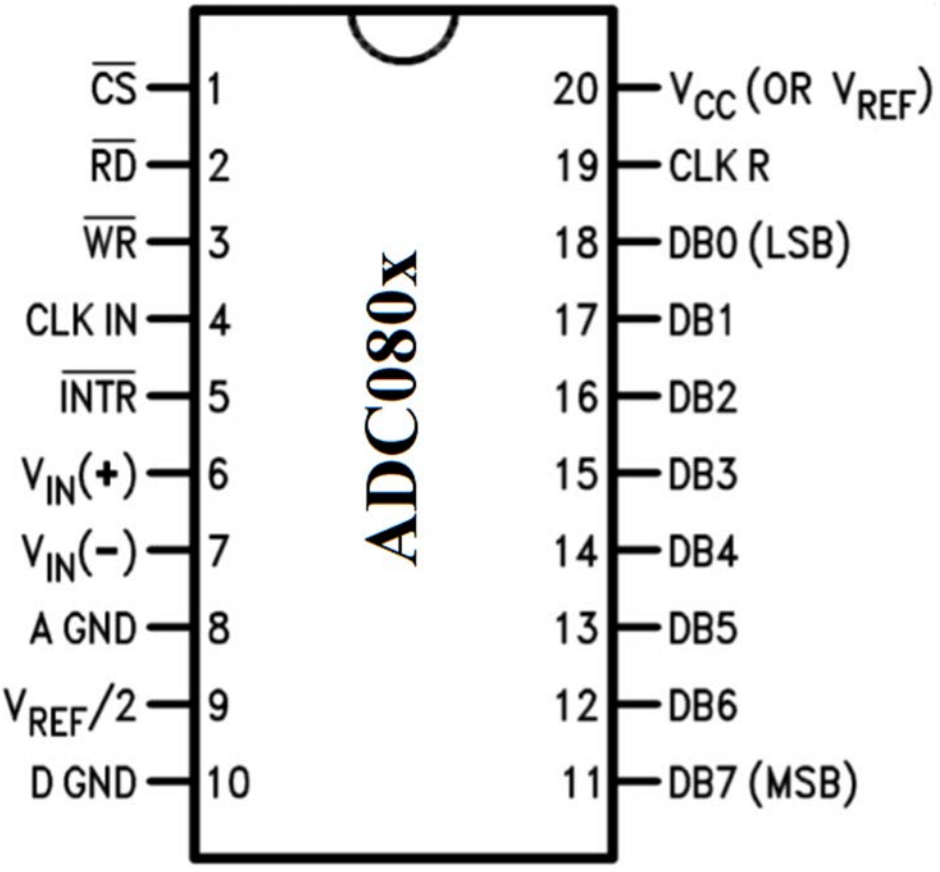

Рис. 3.3. Корпус аналогово-цифрового перетворювача ADC080x 8-Bit

Основні параметри:

- Розширення – 8 біт
- Діапазон напруги – 0 до 5 В

- Робоча температура навколишнього середовища – -40 до +85 ºС

3.4. Вибір мікроконтролера

Щоб швидко та якісно оброблювати сигнали отримані з АЦП використовують мікроконтролер. За допомогою нього у електричній схемі контролюються тактуючі імпульси, обробляються та зберігаються отримані дані. Далі оброблені дані передаються на LCD дисплей.

Обраний 32-бітний мікроконтролер високої ефективності TMS320C28x показаний на рис 3.4.

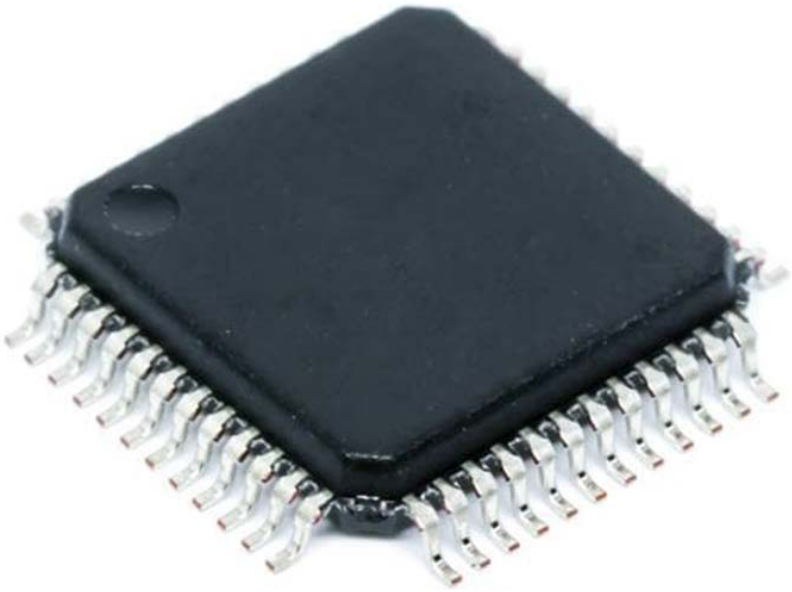

Рис. 3.4. Загальний вигляд мікроконтролера TMS320C28x

Пристрій має 38 контактів. Кодування мікроконтролера здійснюється на мові C/C++.

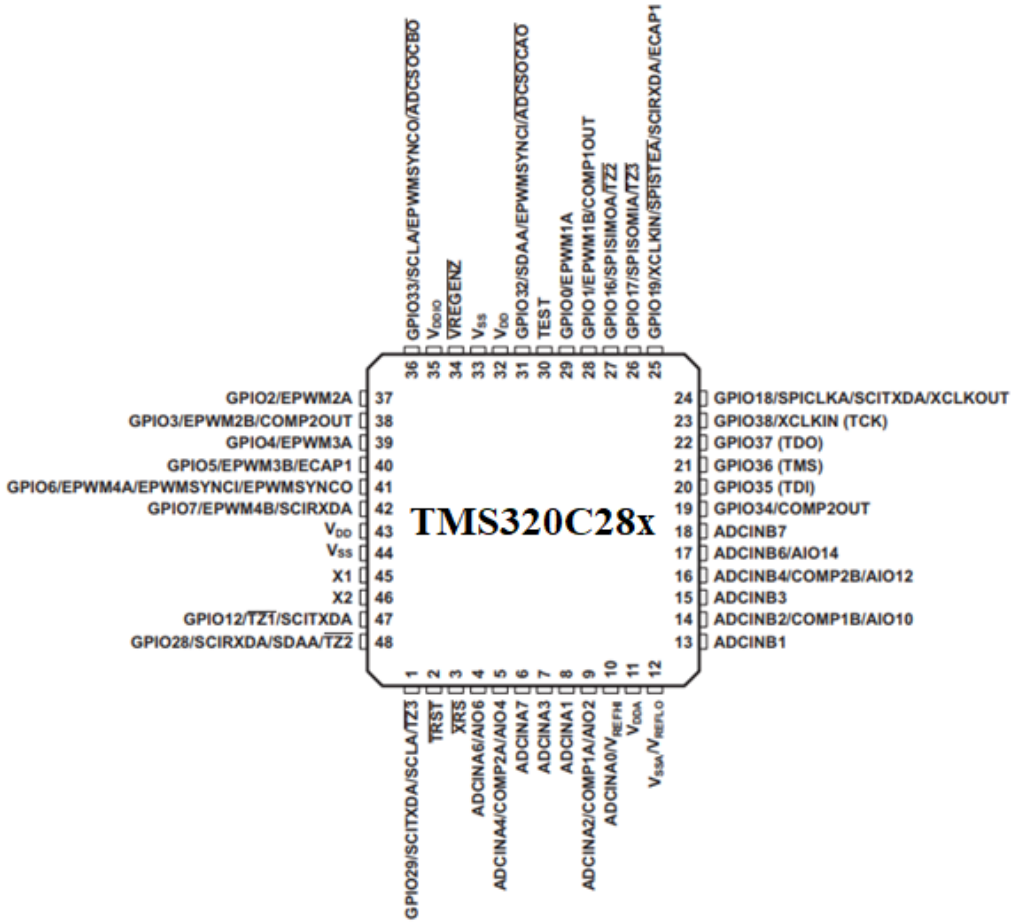

Рис. 3.5. Розташування виводів мікроконтролера TMS320C28x

Основні параметри:

- 60 МГц (16,67-нс цикл часу)
- 50 МГц (час циклу 20-нс)
- 40 МГц (час циклу 25-нс)
- 16 × 16 і 32 × 32 операцій MAC
- Одиничне 3.3-V постачання
- Швидко реагує на переривання та миттєва обробка
- Низька потужність
- Єдина модель програмування пам'яті
- Відсутність вимог щодо послідовності живлення
- Інтегровані перезавантаження живлення та відновлення

3.5. Вибір дисплею

Для миттєвого перегляду отриманого зображення контрольованого об’єкту було обрано LCD дисплей EA eDIPTFT57-A з розширенням матриці 640x480 пікселів [21,22].

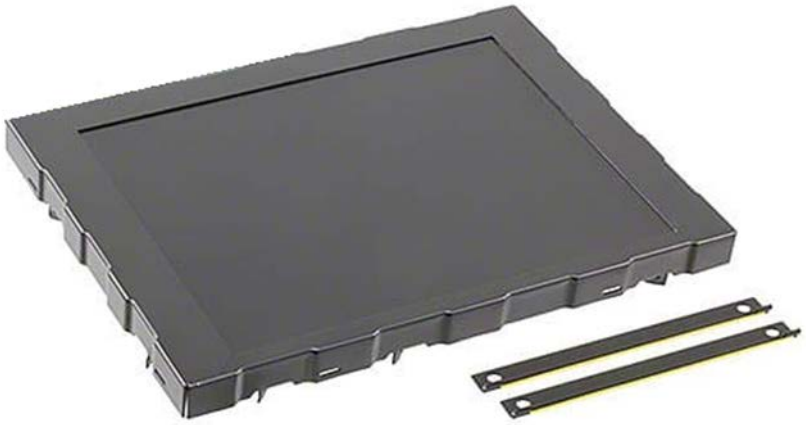

Рис. 3.6. LCD дисплей EA eDIPTFT57-A

Технічні характеристики:

- Площа огляду – 117x88.2 мм
- Габаритні розміри – 146.4x107.2 мм, вага – 249.78 г
- Діагональ екрана – 5.7 дюйма
- Кількість кольорів 65к, колір – RGB
- Робоча напруга – 5 В
- Присутнє LED підсвічування білим кольором
- Робоча температура – -20 до +70 ºС

3.6. Вибір Bluetooth-модуля

Для бездротової передачі інформації на ПК або телефон було вирішено встановити Bluetooth-модуль. Також є можливість керувати електронно-оптичним дефектоскопом дистанційно через Bluetooth, що робить прилад більш універсальним у використанні.

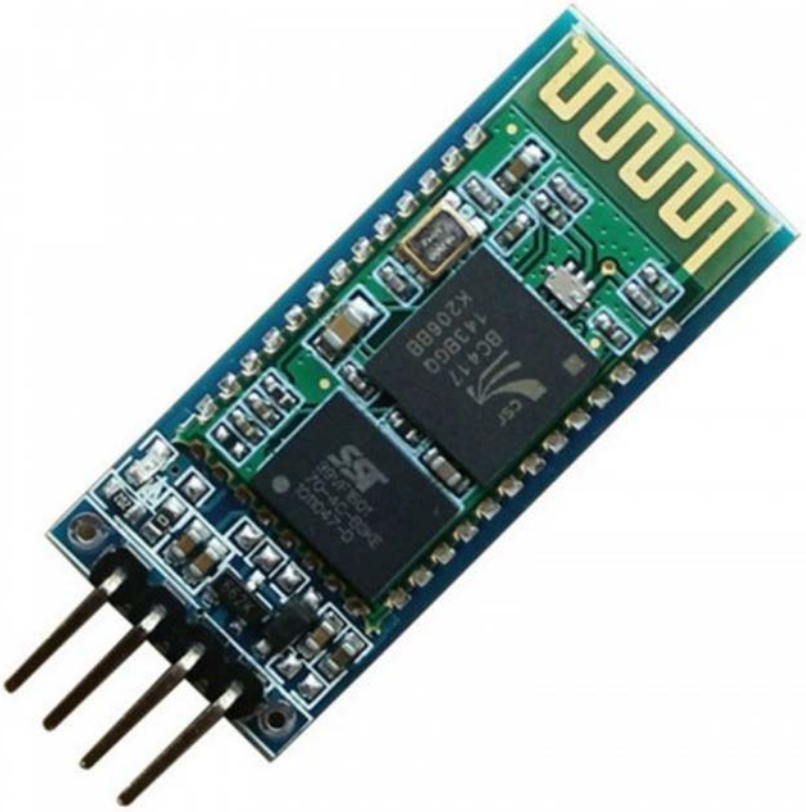

Рис. 3.7. Датчик Bluetooth модуля HC-06

Технічні характеристики:

- Напруга живлення – 5 В.
- Швидкості передачі:
  - 1200
  - 2400
  - 4800
  - 9600 (за замовчуванням)
  - 19200
  - 38400
  - 57600
  - 115200
  - 230400

Також є можливість налаштовувати за необхідності певні задачі на модулі, наприклад: ім’я, pin-код, швидкість передачі даних.

3.7. Вибір плати зарядки

В якості плати зарядки для розроблювального електронно-оптичного дефектоскопа було вибрано модуль Powerbank на базі мікросхеми 134N3P. Даний пристрій має досить високу ефективність, при малих габаритах та низькій вартості. Також присутній захист від короткого замикання та перенавантаження, є контроль температури і захист від перегріву.

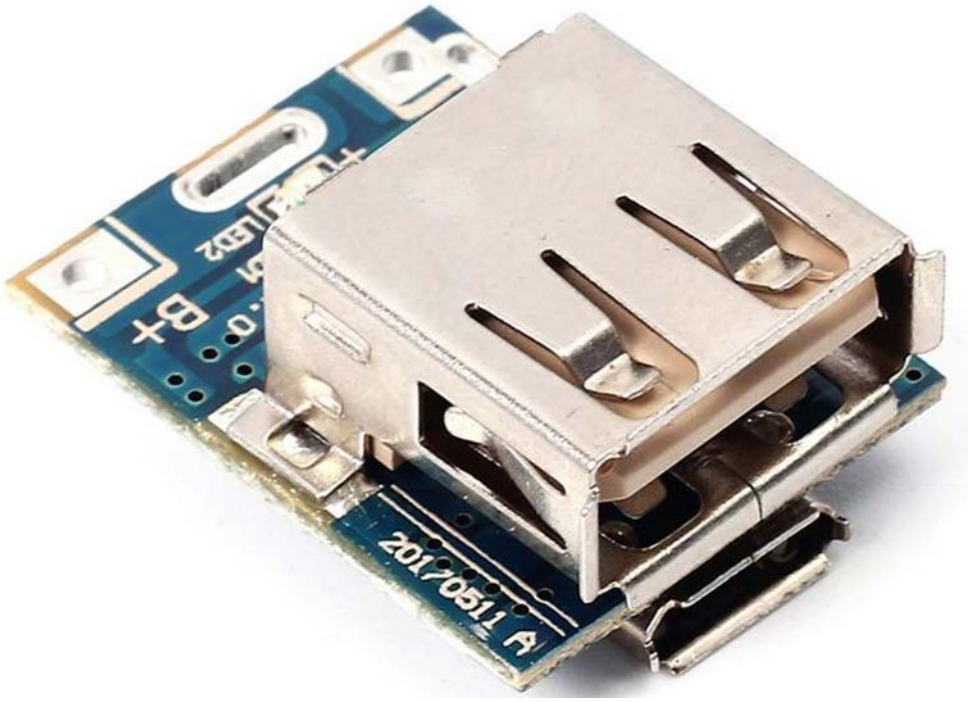

Рис. 3.8. Загальний вигляд модуля зарядки на базі мікросхеми 134N3P

Технічні характеристики:

- Напруга живлення – 3.7 – 4.2 В
- Струм заряду та розряду – до 1 А
- Вихідна напруга 5 В
- Максимальний струм в режимі очікування – 8мкА

Висновки до розділу 3

У третьому розділі було підібрано функціональні компоненти розроблювального електронно-оптичного дефектоскопа. Серед них обрано електронно-оптичний перетворювач, який працює в спектральному діапазоні ультрафіолетового випромінювання та приймач випромінювання для видимого спектрального діапазону.

Перетворення та обробка даних виконується АЦП та мікропроцесором, який після опрацювання видає інформацію на дисплей. Також є можливість для бездротової передачі інформації за допомогою Bluetooth-модуля.

З урахуванням мобільності розроблювального приладу зроблено вибір використовувати акумулятор з платою зарядки, що обрали в даному розділі.

Розглянуто основні характеристики кожного електронного елемента, їх особливості, показано їх зовнішній вигляд.

Усі підібрані елементи являються сучасними, мають невеликі габаритні розміри та вагу, що дозволяє створити більш компактний електронно-оптичний дефектоскоп.

ВИСНОВКИ

У ході виконання бакалаврського дипломного проєкту розглянуто актуальне питання створення сучасного ефективного приладу для дистанційного контролю високовольтного обладнання. А саме, в першому розділі досліджено особливості експлуатації високовольтного обладнання, методи контролю його стану, особливо виявлення коронних розрядів. Проаналізовано характеристики та головні особливості приладів, що контролюють стан високовольтного обладнання. Проведено класифікацію основного елементу контролюючих пристроїв, а саме електронно-оптичного перетворювача, що виконує головну роль – перетворення спектрального діапазону ультрафіолетового випромінювання в видимий спектр. Було розглянуто принципи роботи цих пристроїв, аналізовано сфери їх застосування.

У другому розділі було проведене проєктування електронно-оптичного дефектоскопа, а саме розроблено функціональну схему приладу, описано всі складові, що входять до структури пристрою. Розглянуто принцип роботи ЕОД за запропонованою схемою. Також було проведено синтез та моделювання оптичної системи об’єктиву ультрафіолетового діапазону спектра та фокусуючої системи, що працює у видимому діапазоні довжин хвиль, електронно-оптичного дефектоскопа.

У третьому розділі виконувався підбір комплектуючих розроблювального електронно-оптичного дефектоскопа. Досліджені технічні характеристики кожного з електронних пристроїв, розглянуто їх зовнішній вигляд та характеристики. Також проведено аналіз їх переваг, що дало змогу вибрати саме ці компоненти та впевнитись в їх ефективності. Обрані комплектуючі відрізняються відносно невисокою вартістю, компактністю, малими масогабаритними властивостями, що суттєво для портативного приладу, а також дозволяють сконструювати електронно-оптичний дефектоскоп з конкурентоспроможними характеристиками.

За отриманими результатами у цьому проєкті було виконано проектування сучасного, ефективного, з якісним визначенням ультрафіолетового випромінювання, мобільного та компактного, відносно простої конструкції електронно-оптичного дефектоскопа для дистанційного контролю високовольтного обладнання.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Получение и интерпретация изображений электрических разрядов методом оптической УФ-дефектоскопии [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://chemtech.ru/poluchenie-i-interpretacija-izobrazhenij-jelektricheskih-razrjadov-metodom-opticheskoj-uf-defektoskopii/.

2. Галаган Р. М. Ультразвукова система діагностики технічного стану порцелянових ізоляторів / Р. М. Галаган, В. С. Єременко // Вісник НаціональногоТехнічного Університету України «КПІ». Серія приладобудування. – Київ. – № 42. – 2011. – С. 62-70

3. Галаган Р. М. Ультразвуковий контроль відкритої мікроскопічної пористості фарфорових ізоляторів [Електронний ресурс] / Р. М. Галаган, В. С. Єременко // Київ: НТУУ «КПІ». – 2016. – Режим доступа: http://ela.kpi.ua/handle/123456789/15331.

4. Райзер Ю. П. Физика газового разряда. Изд. 2-ое, доп. и перераб. М.: Наука, 1992. – 536 с.

5. Куц Ю. В. Імпульсний вихрострумовий контроль об’єктів циліндричної форми / Ю.В. Куц, Ю.Ю. Лисенко // Вісник НТУУ «КПІ». Серія Приладобудування. – вип. 45. – 2013. – С. 69-75.

6. Мамчур, Н. Д. Методы обнаружения и борьбы с коронными разрядами на высоковольтном оборудовании / Н. Д. Мамчур, А. В. Муравьёв // Материалы XVIII Международной научно-практической конференции «Эффективные инструменты современных наук - 2021», г. Прага, 22-30 апреля, 2021 г. – Прага : Education and Science, 2021. – Vol. 5. – С. 65-70.

7. Живкович, А. В. Современные технологии бесконтактного измерения температуры / А. В. Живкович, А. В. Муравьёв // Материалы XVI Международной научно-практической конференции «Динамика научных исследований - 2020», 07-15 июля 2020, Пшемысль, Польша. – Przemyśl : Nauka i studia, 2020. – Vol. 7. – С. 110-115.

8. Protasov A.G. Application of the digital orthogonal method of phase measurement for characteristics materials definition by ultrasonic method / A.G. Protasov, H.A. Bohdan // Naukovi visti NTUU «KPI». Seriia Tekhnichni nauky. – no. 2. – 2016. – pp. 87-93.

9. Муравьёв А. В. Перспективы применения нанотехнологий в микроэлектронике при производстве дисплеев / А. В. Муравьёв // Приборостроение – 2018: материалы 11-й Международной научнотехнической конференции. – Минск, Белоруссия, 2018. – С. 311-313.

10. Зайдель И. Н., Куренков Г. И. Электронно-оптические преобразователи / И. Н. Зайдель, Г. И. Куренков// Москва: «Советское радио». – 1970. – С. 5-6.

11. Мамчур Н. Д. Технології електронно-оптичних перетворювачів / Н. Д. Мамчур // Ефективність та автоматизація інжинерних рішень у приладобудуванні. – 2020. – С. 214–218.

12. Сторожик Д. В. Комплексування зображень, як спосіб покращення якості бінарної сегментації / Д. В. Сторожик, О. В. Муравйов // XV Всеукраїнська науково-практична конференція студентів, аспірантів та молодих вчених «Ефективність інженерних рішень у приладобудуванні», 10-11 грудня. – Київ, Україна. – 2019. – С. 290-293.

13. Грузевич Ю. К. Оптико-электронные приборы ночного видения. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2014. – 276 с.

14. Мамчур Н. Д. Використання електронно-оптичних дефектоскопів у неруйнівному контролі / Н. Д. Мамчур // Погляд у майбутне приладобудування. – 2020. – С. 273–276.

15. ФИЛИН-6 — электронно-оптический дефектоскоп (ЭОД) [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://www.electronpribor.ru/catalog/113/filin-6.htm#all.

16. Назарчук О. О. Компенсація терморозфокусування оптичної системи термографа / О. О. Назарчук, О. В. Муравйов. // Біомедична інженерія. – 2017. – №5. – С. 66–67.

17. Tyagur V. M. Passive optical athermalization of an IR three-lens achromat / V. M. Tyagur, O. K. Kucherenko and A. V. Murav'ev // Journal of Optical Technology. – vol. 81 (4). – 2014. – pp. 199-203.

18. Колесова А.А. Разработка и исследование объектива ультрафиолетового диапазона спектра / А.А. Колесова, А.В Полесский, К.А. Хамидуллин, А.Д. Юдовская. // Прикладная физика. – 2013. – №5. – С. 63– 66.

19. Муравьёв А. В. Основные тенденции, проблемы и перспективы развития дисплейной наноэлектроники / А. В. Муравьёв // Неруйнівний контроль в контексті асоційованого членства України в Європейському союзі: матеріали 2-гої науково-технічної конференції з міжнародною участю. – Польща, Люблін, 2018. – С. 10-11.

20. Муравйов О. В. Основи оптичного неруйнівного контролю [Електронний ресурс]: методичні вказівки до виконання комп'ютерного практикуму для студентів напряму підготовки 6.051003 «Приладобудування», професійного спрямування «Прилади і системи неруйнівного контролю» денної форми навчання / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад.: О. В. Муравйов, А. Г. Протасов. – Електронні текстові данні (1 файл: 1,19 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2017. – 49 с.

21. Петрик, В. Ф. Метрологія, стандартизація та сертифікація в неруйнівному контролі [Електронний ресурс]: навчальний посібник з дисциплін «Метрологія» та «Сертифікація і стандартизація» / В. Ф. Петрик, А. Г. Протасов ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 3,04 Мбайт). – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2015. – 266 с.

22. Богдан Г. А. Прецизионный способ и устройство для измерения фазового времени распространения ультразвуковых сигналов в объекте контроля / Г. А. Богдан, В. Г. Баженов // Научни Известия НТСМ. – № 187. – 2016. – с. 235-237.

ДОДАТКИ

Додаток А

Технічне завдання

1. Найменування приладу.

„ Прилад для дистанційного контролю високовольтного обладнання”.

2. Мета виконання дипломного проекту та призначення приладу.

Розробка приладу для дистанційного контролю високовольтного обладнання з додатковими функціями, що може використовуватися в областях енергетики.

3. Передумови для розробки приладу.

Дана розробка виконується відповідно до тематики дипломного проектування, затвердженої кафедрою приладів та систем неруйнівного контролю приладобудівного факультету НТУУ „КПІ ім. Ігоря Сікорського”.

4. Вимоги до технічних характеристик.

Основні параметри:

- Діаметр вхідної зіниці оптичної системи $D_{вх.зін.}$ = 20 мм;
- Робочий спектральний діапазон приймального каналу $\Delta\lambda$= 230-650мкм;
- Кут поля зору оптичної системи не більше $2\omega'=15^{o}$;

5. Робочі умови експлуатації приладу.

Номінальне значення кліматичних факторів відповідно до ДСТУ 12.005-88:

- температура навколишнього середовища -10...40°С;
- відносна вологість 65% при температурі навколишнього середовища 20 ± 5^{o}С;
- атмосферний тиск 750±30 мм.рт.ст.

6. Вимоги до конструкції приладу.

Прилад повинен зберігати працездатність та свої параметри відповідно до ДСТУ 17516-72.

6.1. Конструкція приладу повинна забезпечувати зручний доступ до всіх елементів, вузлів та блоків, які потребують замін в процесі експлуатації.

6.2. Прилад повинен мати мінімальну необхідну кількість органів управління, регулювання та керування:

6.2.1. органи багаторазового або частого використання повинні знаходитись на передній панелі керування приладом;

6.2.2. органи, які використовуються для одноразового налагодження приладу або зміна положення яких є небажаною, мають бути розташовані всередині загального корпусу приладу або на задній малодоступній панелі.

6.3. Використані покупні вироби та матеріали, під час випробування приладу повинні мати невикористаний ресурс, термін служби та термін схоронності яких не менше ресурсу й терміну служби приладу.

7. Техніко-економічні вимоги.

7.1. Передбачається виготовлення одного дослідного зразка приладу.

7.2. Орієнтовна ціна дослідного зразка приладу повинна бути розрахована до початку проведення робіт.

8. Вимоги до упаковки.

8.1. Транспортна упаковка повинна забезпечувати збереження приладу при транспортуванні та збереженні.

8.2. Коробку з приладом розміщують в транспортному ящику: простір між стінками ящика і коробки заповнюють пакувальним амортизаційним матеріалом.

9. Стандартизація та уніфікація.

До приладу повинна бути прикладена експлуатаційна документація відповідно ДСТУ 25565-94.

10. Вимоги до техніки безпеки.

10.1. Вимоги до безпеки конструкції, електробезпеки керування та обслуговування приладу повинні відповідати ДСТ 122007-75 та ДСТУ 123019-80.

10.2. Середній час без відмовлень роботи приладу повинен бути не менше 500 год.

11. Строк зберігання, служби та технічний ресурс.

11.1. Прилад повинен витримувати зберігання протягом 3 років.

11.2. Строк служби 5 років.

11.3. Технічний ресурс 1000 год.