

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ**  
**«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ**  
**імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**  
Приладобудівний факультет  
Комп'ютерно-інтегрованих оптичних та навігаційних систем

До захисту допущено:

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ Надія БУРАУ

«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_р.

**Дипломний проєкт**  
**на здобуття ступеня бакалавра**  
**за освітньо-професійною програмою**  
**«Комп'ютерно-інтегровані оптико-електронні системи та технології»**  
**спеціальності 151**  
**«Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»**  
**на тему: «Прилад для спостереження за об'єктами в короткохвильовій**  
**інфрачервоній області спектра»**

Виконала:

студентка ІV курсу, групи ПО-91  
Лавренюк Дарина Максимівна

Керівник:

к. т. н., доцент,  
Сокурєнко Вячеслав Михайлович

Рецензент:

к. т. н., доцент,  
Безугла Н.В.

Засвідчую, що у цьому дипломному проєкті немає запозичень з праць інших авторів без відповідних посилань.  
Студент (-ка) \_\_\_\_\_

Київ – 2023 року

## ВІДОМІСТЬ ДИПЛОМНОГО ПРОЄКТУ

№ з/п	Формат	Позначення	Найменування	Кількість листів	Примітка
1	A4		Завдання на дипломний проєкт	2	
2	A4	ПО91.00011.000 ПЗ	Пояснювальна записка	74	
3	A2	ПО91.000011.000 ЛЗ	Схема оптична принципова	1	
4	A2	ПО91.000011.006	Схема функціональна	1	
5	A1	ПО91.000001.000	Складальне креслення	1	
6	A4	ПО91.000011.002	Лінза	1	
7	A4	ПО91.000011.003	Лінза	1	
8	A4	ПО91.000011.001 СК	Дублет	1	
9	A4	ПО91.000011.004	Різьбове кільце	1	
10	A2	ПО91.000011.005	Корпус об'єктива	1	
11	A2	ПО91.000011.07 СК	Вузол <u>приймача</u> <u>випромінення</u>	1	

				<b>ДП ПО91 11.000.00</b>	
	ПІБ	Підп.	Дата		
Розробн.	Лавренко Д.М			Відомість дипломного проєкту	Лист 1
Керівн.	Сокурєнко В.М				Листів 1
Консульт.					КПІ ім. Ігоря Сікорського Каф. КІОНС Гр. ПО-91
Н/контр.					
Зав.каф.					

**Пояснювальна записка  
до дипломного проєкту  
на тему: «Прилад для спостереження за об'єктами в  
короткохвильовій інфрачервоній області спектра»**

Київ – 2023 року

**Національний технічний університет України**  
**«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**  
Приладобудівний факультет  
Комп'ютерно-інтегрованих оптичних та навігаційних систем

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Спеціальність – 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

Освітньо-професійна програма – «Комп'ютерно-інтегровані оптико-електронні системи та технології»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_Надія БУРАУ

«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_р.

**ЗАВДАННЯ**

**на дипломний проєкт студенту**

**Лавренюк Дарині Максимівні**

1. Тема проєкту «Прилад для спостереження за об'єктами в короткохвильовій інфрачервоній області спектра», керівник проєкту Сокурєнко Вячеслав Михайлович, к.т.н., доцент, затверджені наказом по університету від «\_\_\_\_\_» \_\_\_ 2021 р. №

2. Термін подання студентом проєкту: 10.06.2023

3. Вихідні дані до проєкту: лінійне поле предметів – не менше 300 мм, віддалення площини предметів - 1000 мм, спектральний діапазон - 0,8...1,8 мкм.

4. Зміст пояснювальної записки: 1. Огляд та аналіз літератури.

2. Обґрунтування функціональної схеми та принципу роботи приладу. 3.

Конструкторські розрахунки. 4. Розроблення конструкції.

*ПО91.00011.000 ПЗ*

Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата				
Розраб.		Лавренюк Д.М.			Прилад для спостереження за об'єктами в короткохвильовій інфрачервоній області спектра Пояснювальна записка	Літ.	Лист	Листів
Перевірів		Сокурєнко В.М.					1	
Н. Контр. Затверд.		Сокурєнко В.М.				ПБФ, КІОНС		

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслеників, плакатів, презентацій тощо): 1. Збиральне креслення (1л. А1). 2. Оптична схема (1л. А2). 3. Схема функціональна (1л. А2). 4. Вузол приймача випромінення (1л. А2). 5. Корпус об'єктива (1л. А2) 6. Дублет (1л. А4) 7. Різьбове кільце (1л. А4) 8. Лінза (1л. А4) 9. Лінза (1л. А4)

7. Дата видачі завдання: 23.05.2023

#### Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проєкту	Термін виконання етапів проєкту	Примітка
1	Формування завдання проєкту	23.05.2023	
2	Проведення аналітичного огляду	26.05.2023	
3	Розрахунок компонентів	1.06.2023	
4	Оформлення пояснювальної записки	3.06.2023	
5	Розробка креслеників	6.06.2023	
6	Подання проєкту до передзахисту	8.06.2023	
7	Підготовка до захисту	10.06.2023	

Студентка

Дарина ЛАВРЕНЮК

Керівник

Вячеслав СОКУРЕНКО

					ПО91.00011.000 ПЗ	Лист
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		2

## Анотація

Даний дипломний проєкт присвячений розробленню приладу спостереження за об'єктами в короткохвильовому діапазоні. Було проведено аналіз сучасних джерел існуючих комерційних зразків, які функціонують в SWIR діапазоні.

В дипломній роботі було проведено автоматичний параметричний синтез дев'ятилінзового проєкційного об'єктива в високою якістю зображення. Ця система була розрахована методом глобальної оптимізації, а саме методом диференційної еволюції.

Обсяг роботи: 75 сторінок пояснювальної записки, 54 рисунки, 4 таблиці, 29 бібліографічних найменувань.

Ключові слова: оптична система, проєкційний об'єктив, приймач випромінення InGaAs, дифракційна модуляційна передавальна функція, short-wave infrared (SWIR), глобальна оптимізація.

					ПО91.00011.000 ПЗ	Лист
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		3

## Annotation

This thesis project is dedicated to the development of a device for monitoring objects in the short-wave range. An analysis of modern sources of existing commercial samples operating in the SWIR range was conducted.

In the thesis, the automatic parametric synthesis of a nine-lens projection lens in high image quality was carried out. This system was calculated using a global optimization method, namely the differential evolution method.

Scope of work: 54 pages of explanatory note, 54 figures, 4 tables, 29 bibliographic references.

Keywords: optical system, projection lens, InGaAs radiation receiver, diffraction modulation transfer function, short-wave infrared (SWIR), global optimization.

					ПО91.00011.000 ПЗ	Лист
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		4

## ЗМІСТ

СПИСОК СКОРОЧЕНЬ.....	10
ВСТУП .....	11
РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД ТА АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРИ .....	12
1.1. Загальні відомості про інфрачервоне випромінювання.....	12
1.2. Короткохвильовий інфрачервоний діапазон .....	14
1.3. Застосування SWIR-випромінювання .....	16
1.4. Огляд сполук, які використовуються у виготовленні оптичних елементів для ІЧ.....	24
1.5. Огляд приймачів для SWIR діапазону .....	28
1.6. Аналіз параметрів SWIR об'єктива.....	31
1.7. Висновки до розділу 1 .....	33
РОЗДІЛ 2. ОБҐРУНТУВАННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ СХЕМИ ТА ПРИНЦИПУ РОБОТИ ПРИЛАДУ .....	34
2.1. Опис приладу та принцип роботи .....	34
2.2. Висновки до розділу 2 .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
РОЗДІЛ 3 .....	36
КОНСТРУКТОРСЬКІ РОЗРАХУНКИ .....	36
3.1. Габаритний розрахунок .....	36
3.2. Розрахунок фокусної відстані об'єктива .....	36
3.3. Параметричний синтез та аналіз якості зображення.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
3.4. Аналіз комерційної моделі .....	47
3.5. Енергетичні розрахунки .....	49
3.5.1. Розрахунок коефіцієнту пропускання ОС .....	50
3.5.2. Розрахунок опроміненості на площині матриці .....	50
3.6. Висновки до розділу 3 .....	51
РОЗДІЛ 4. КОНСТРУКТОРСЬКІ РОЗРОБКИ .....	52
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ .....	53
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ.....	54
Додатки.....	57
Додаток А.....	58
Додаток Б.....	74

Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата
-------	------	----------	--------	------

ПО91.00011.000 ПЗ

## СПИСОК СКОРОЧЕНЬ

ОС –	оптична система
ІЧ –	інфрачервоний
МПФ –	модуляційна передавальна функція
SWIR –	короткохвильовий інфрачервоний
ПК –	персональний комп'ютер
ПВ –	приймач випромінення

					ПО91.00011.000 ПЗ	Лист
						6
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

## ВСТУП

Властивість інфрачервоного випромінювання залишатися невидимим для людського ока надала можливість використовувати його в тих випадках, коли звичайне видиме світло не є придатним або недостатньо ефективним.

На сьогоднішній день застосування технології випромінювання інфрачервоного діапазону знайшло великий потенціал в самих різноманітних галузях: починаючи воєнною справою та медичною діагностикою, закінчуючи контролем якості у промисловості та в сільському господарстві [1].

В даній роботі представлений проєкційний короткохвильовий інфрачервоний об'єктив, його основне призначення становить контроль та оцінка якості в промисловості. Розробка даного об'єктива обумовлена необхідністю покращення якості зображення вже існуючих його аналогів.

Для розрахування такого об'єктива використовується методика розрахунку нових оптичних систем (ОС), яка базується на сучасному еволюційному алгоритмі глобальної оптимізації.

					ПО91.00011.000 ПЗ	Лист
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		7

## РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД ТА АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРИ

### 1.1. Загальні відомості про інфрачервоне випромінювання

Інфрачервоне випромінювання (ІЧ) є частиною шкали електромагнітних хвиль, діапазон ІЧ спектру становить від 0.78 мкм до 1 мм. Відкрита сером Вільямом Гершелем в 1800 році, вона виникає при нагріванні тіл в результаті коливних енергетичних переходів молекул [2]. Для здійснення свого експерименту він за допомогою дисперсійної призми розклав сонячне світло та спроектував його на стіл з чутливим ртутним термометром зі скла, який можна було переміщати вздовж спектра (див. рис. 1.1). Він виявив, що теплова потужність зростала в напрямку до червоного кінця спектра і не досягала максимуму доти, доки термометр було переміщено за межу видимого спектра.

Згодом Гершель розвинув це відкриття, показавши, що це випромінювання відбивається і заломлюється за законами оптики. Науковець припустив, що це випромінювання має таку ж природу, як і світло, відрізняючись від нього лише "імпульсом". Він використав термін "невидиме світло".

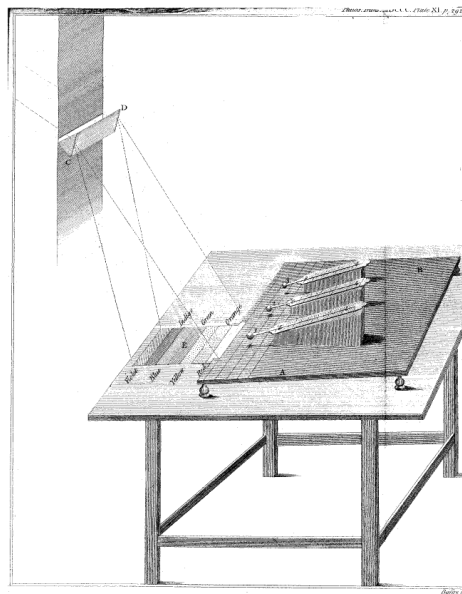


Рис. 1.1 – Експеримент Гершеля [4]

					ПО91.00011.000 ПЗ	Лист
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		8

Протягом тридцяти років після відкриття Гершелем того, що зараз відомо як інфрачервоний спектр (через його положення відносно видимого червоного) було досягнуто дуже мало прогресу, головним чином через те, що експерименти були обмежені відсутністю будь-якого детектора, кращого за звичайний термометр.

Сер Джон Гершель продовжив дослідження свого батька в галузі інфрачервоного спектру, прагнучи знайти спосіб зробити інфрачервоний спектр видимим. Він розробив спосіб зробити це, занурюючи папір, вкритий ламповою сажею, у спирт. Диференційоване випаровування спирту виявило світлі ділянки, де випромінювання було сильнішим. Він продемонстрував, що інфрачервоний сонячний спектр складається щонайменше з трьох окремих смуг (тепер відомо, що вони пов'язані з атмосферними "вікнами"), які можна чітко спостерігати під час випаровування [3].

На основі термоелектричного ефекту, відкритого Зеєбеком у 1826 році, Л. Нобілі створив першу термопару і вдосконалив електричний термометр у 1829 році. Чотири роки потому М. Меллоні запропонував послідовно з'єднати численні вісмут-мідні термопари, щоб отримати більшу і, отже, кількісно вимірювану вихідну напругу. Такий детектор був щонайменше в 40 разів чутливішим, ніж найкращий доступний на той час термометр.

Великого розвитку технологія ІЧ випромінювання зазнала під час Першої та Другої світових війн. Цей період був позначений розвитком фотонних детекторів та перетворювачів зображень, а також появою інфрачервоної спектроскопії як одного з ключових аналітичних методів, доступних для хіміків. Перетворювач зображення, розроблений напередодні Другої світової війни, викликав величезний інтерес у військових, оскільки дозволив людині бачити в темряві, приклад переносного комплексу нічного бачення представлений на рис. 1.2.

Після 1945 року широкомасштабна німецька траєкторія досліджень була продовжена в США, Великій Британії та Радянському Союзі під військовим спонсорством після війни [5].

					ПО91.00011.000 ПЗ	Лист
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		9



Рис. 1.2 – Переносний комплекс нічного бачення "Вампір" [6]

З початку ХХ століття інфрачервоний спектр випромінювання використовується для вирішення різноманітних практичних проблем і завдань. Інфрачервону спектроскопію почали використовувати для ідентифікації різних хімічних сполук та складу речовин, спостерігаючи, як вони реагують на інфрачервоне випромінювання. ІЧ системи також набули популярності після того, як Г. Форд почав використовувати їх для швидкого сушіння пофарбованих автомобілів. Такі цінні якості інфрачервоних випромінювачів були визнані в Європі, і перші інфрачервоні обігрівачі були запатентовані в 1933 році. Технологія розвивалася ще швидше, і через 15 років був виготовлений перший керамічний інфрачервоний обігрівач, а в 1969 році компанія Noirot представила інфрачервоний обігрівач з дуже коротким часом запуску і швидким нагріванням [7].

## 1.2. Короткохвильовий інфрачервоний діапазон

Інфрачервоне випромінювання випромінюють усі поверхні, температура яких перевищує 0 К (273,15 °С), а інтенсивність випромінювання пропорційна температурі поверхні. Інфрачервоне випромінювання має такі ж оптичні характеристики, як і видиме світло, включаючи здатність відбиватися, заломлюватися і створювати інтерференційні картини [8].

										Лист
										10
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	ПО91.00011.000 ПЗ					

У свою чергу ІЧ спектр розподіляється на 4 умовних діапазони: близько-, коротко-, середньо- та довгохвильові діапазони, кожний з яких має свої властивості та методи застосування (див рис. 1.3).

Типові значення діапазонів представлені нижче:

- Близькохвильова спектральна область (NIR) простягається від 0,85 до 0,9 мкм.
- Довжина хвиль коротких хвиль (SWIR) - від 0,9 до 2,5 мкм.
- Довжина середньохвильового діапазону (MWIR) - від 3 до 5 мкм.
- LWIR, або довгохвильовий діапазон - від 8 до 12 мкм, за ним слідує дальній інфрачервоний (до 1 мм).

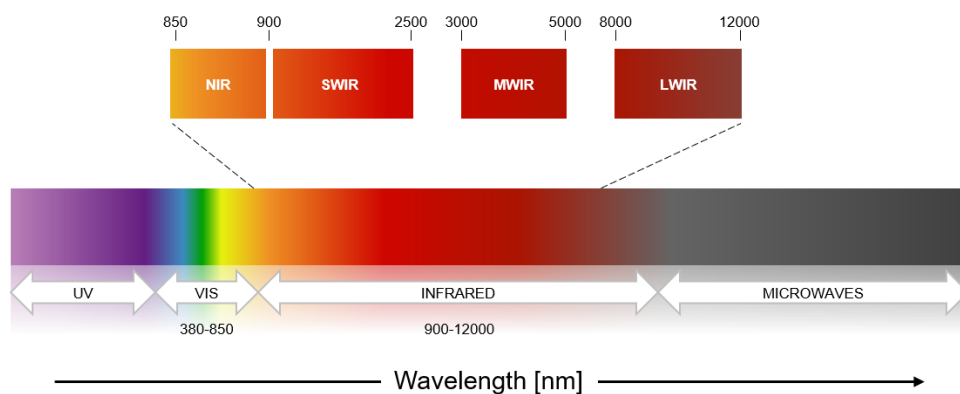


Рис. 1.3 – Інфрачервоний спектр [9]

Те, як предмети виробляють або відбивають інфрачервоне світло, надає інформацію про їхні фізико-хімічні та теплові характеристики. Наприклад, матеріали мають унікальні властивості поглинання/відбивання інфрачервоного випромінювання завдяки різному хімічному складу, що дозволяє ідентифікувати певні матеріали на відстані за допомогою інфрачервоних зображень.

Ці властивості мають численні переваги, які все частіше використовуються в широкому сегменті ринку камерами на основі охолодженого арсеніду індію-галію (InGaAs). SWIR - це частина інфрачервоного випромінювання, яка лежить поруч з NIR і має номінальний діапазон довжин хвиль 0,9 – 2,5 мкм. Оскільки не існує чіткого стандарту для визначення межі кожного діапазону хвиль, найкраще називати ці діапазони довжин хвиль наближеними. У деяких класифікаціях SWIR вважається розширенням діапазону NIR.

Теплове випромінювання від будь-яких об'єктів з температурою вище абсолютного нуля (0 К) буде виявлено в середньо- і довгохвильовому інфрачервоному (MWIR/LWIR) спектральних діапазонах, що дозволяє термографічним камерам робити знімки, засновані на локальних змінах температури. Короткохвильове інфрачервоне випромінювання (SWIR) відрізняється тим, що воно ближче до видимого спектру, але все одно може виявляти температуру, що перевищує 100 градусів за Цельсієм (373 К). SWIR-камери зайняли окрему нішу в промисловому і дослідницькому секторах, розширюючи діапазони хвиль, які неможливо виявити як за допомогою звичайної оптики, так і за допомогою тепловізійних камер MWIR/LWIR.

SWIR-зображення, на відміну від MWIR/LWIR, не покладається на власну випромінювальну здатність об'єктів і через це зазвичай не характеризується як тепла енергія. SWIR-зображення також не залежить від умов роботи, які за часту роблять оптику на основі видимого світла (VIS) непридатною [10].

### 1.3. Застосування SWIR-випромінювання

Така можливість, як реєстрація зображення в умовах, коли видиме світло не є придатним або недостатньо ефективним стала великим та актуальним поштовхом до розширення можливостей застосування технологій на основі короткохвильового інфрачервоного випромінювання, провідними галузями залишаються воєнна справа, медицина та промисловість.

**Вимір вмісту води.** SWIR-технологія може підкреслити вміст вологи в рослині або розподіл води в рослині. Оскільки вода значно поглинає інфрачервоне світло в діапазоні довжин хвиль від 1450 до 1500 нм, вона виглядає чорною і непрозорою на інфрачервоному зображенні (рис. 1.4), через що вологі ділянки всередині рослини виглядають темнішими. Ця властивість дозволяє вченим точно відстежувати поглинання води з коренів у листя. З іншого боку, можна спостерігати випаровування та висихання [11].

					ПО91.00011.000 ПЗ	Лист
						12
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Таку властивість можна використовувати в харчовій промисловості, текстильному чи деревообробному виробництвах.

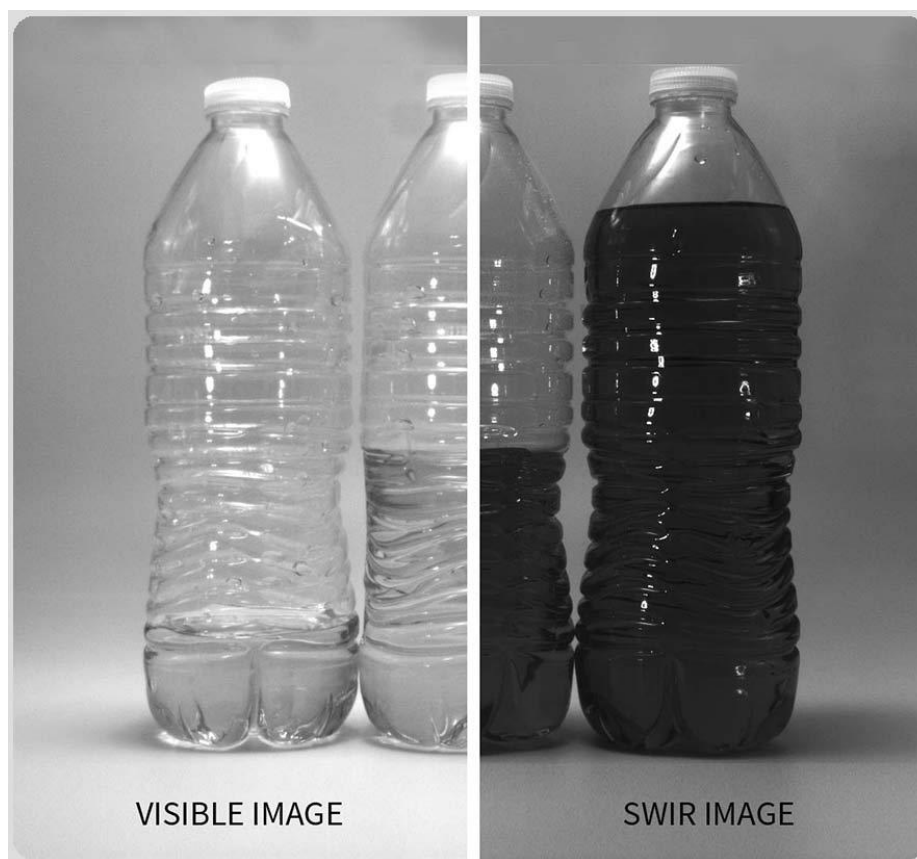


Рис. 1.4 – Вода через SWIR об'єктив [12]

**Виявлення об'єктів та рідин.** Об'єкти можуть мати однаковий колір у видимому спектрі, але їхні відбивні характеристики можуть бути зовсім різними за межами видимого діапазону хвиль. SWIR-камери можуть ідентифікувати забруднювачі, і в результаті видаляти їх з технологічної лінії.

Як приклад, кавові зерна, камінці та гілки у видимому діапазоні мають коричневий або темний відтінок на чорному тлі. Кавові зерна сильно відбивають світло з довжиною хвилі 1400 нм, а інші предмети не відбивають, що дозволяє системі швидко виключити різні домішки (рис. 1.5) [13].

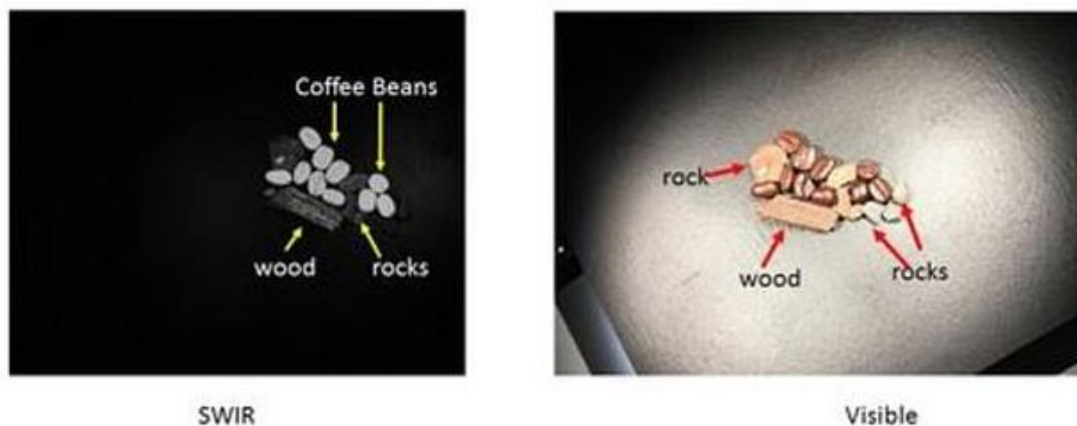


Рис. 1.5 – Розпізнавання об’єктів через SWIR [13]

Об’єкти SWIR також мають можливість бачити крізь пластичні контейнери та упаковки, що є дуже важливим при контролі якості готової продукції.

Наприклад, технологія SWIR може виявити напівзаповнені пластикові пляшки або блістерні смужки, які були розбиті або не мають частини вмісту (проколоті капсули або неповні таблетки), що вказує на те, що вони непридатні для продажу, оскільки цілісність продукту була порушена (рис 1.6).

Для вдосконалення індивідуальних систем технічного зору інфрачервона технологія SWIR ідеально підходить для термографічного контролю, оскільки вона може бачити крізь скло і таким чином контролювати високотемпературні виробничі процеси, що перевищують 200°. Інфрачервоне зображення SWIR набуло популярності у виробництві скляних пляшок, а також у багатьох металургійних процесах, зокрема, для виявлення домішок у металах [14].

Ще однією очевидною перевагою охолоджуваних камер InGaAs є здатність бачити крізь кремній на довжинах хвиль понад 1200 нм. Це допомагає ідентифікувати структурні дефекти на пристроях MEMS або MOEMS за допомогою відповідного заднього освітлення. Той самий метод використовується для виявлення складних тривимірних структур інтегральних схем на різних етапах виготовлення або для ідентифікації дислокацій у великих монокристалічних зливках [16].



*See through plastic*

Рис. 1.6 – Пластмасова обгортка через через SWIR [17]

Інфрачервоний діапазон довжин хвиль вважається чудовим діапазоном для виявлення мінералів, оскільки він дозволяє виявляти їх в широкому спектрі ІЧ. SWIR-спектроскопія - це вимірювання відбитої енергії, зміненої молекулярними коливаннями, обертанням, згинанням і розтягуванням зв'язків у діапазоні від 1 мкм до 2,5 мкм. Такі групи мінералів, як філосилікати, соросилікати, іносилікати, карбонати та цеоліти демонструють характерні спектри з діагностичними особливостями поглинання певних молекулярних груп (наприклад, OH, H<sub>2</sub>O і NH<sub>4</sub>) і гідроксильних зв'язків катіонів (наприклад, Al-OH, Fe-OH і Mg-OH) у кристалічній решітці мінералу в цьому діапазоні [15].

**Спостереження за об'єктами.** Зараз індустрія відеоспостереження також використовує камери SWIR. Релеївське розсіювання сонячного світла в атмосфері – який відповідає за блакитне небо та червоні заходи сонця, і який спричиняє блакитний серпанок над віддаленими сценами – сильно залежить від довжини хвилі світла. Сині хвилі розсіяні найбільше, а червоні найменше. Ще далі в червоний колір розсіюються більш довгі хвилі SWIR діапазону навіть менше через атмосферу і, отже, мають здатність проникати в туманні, туманні або задимлені умови, що є критичним у системі спостереження на великі відстані.

					ПО91.00011.000 ПЗ	Лист
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		15

Крім того, на довжини хвиль SWIR менше впливають атмосферна турбулентність і тепловий туман порівняно зі звичайними кольоровими камерами видимого діапазону. У той час як традиційні теплові камери чудово виявляють тепло тіла, вони дуже погані в наданні деталей для ідентифікації. Риси обличчя неможливо розрізнити, як, наприклад, і написи на знаках. Навпаки, зображення SWIR може виглядати подібним до зображення, отриманого у видимому спектрі (рис. 1.7). Це робить камеру SWIR потужним інструментом спостереження [16].

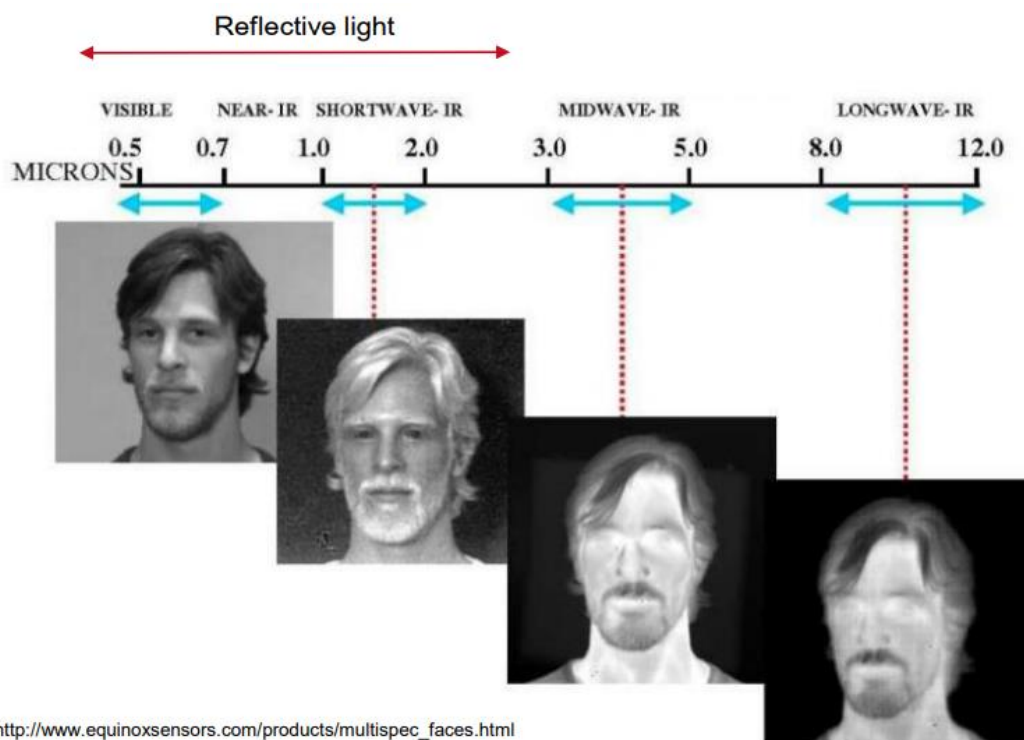


Рис. 1.7 – Розпізнавання обличчя через SWIR [17]

**Дослідження картин.** SWIR-зображення також використовується для дослідження підповерхневої структури картин: хвилі з більшою довжиною проникають у поверхневі шари й можуть виявити оригінальні деталі, які пізніше були зафарбовані. Це може допомогти підтвердити автентичність твору мистецтва, а також допомогти з реставрацією (рис. 1.8) [16].



**SWIR у воєнній справі.** Технологія SWIR вже давно використовується для широкого спектру застосувань у військовій сфері (системи лазерного наведення, виявлення камуфляжу, спостереження, нічного бачення, моніторингу кордонів і т.д.). Основні переваги використання технології SWIR у військових застосуваннях полягають у тому, що камери SWIR зазвичай «бачать наскрізь» і створюють зображення з більшою контрастністю, ніж зображення, які можна спостерігати у видимому діапазоні: їх можна застосовувати для спостереження крізь серпанок, туман, дощ, туман і складні атмосферні умови, як це показано на рис. 1.9 [20].

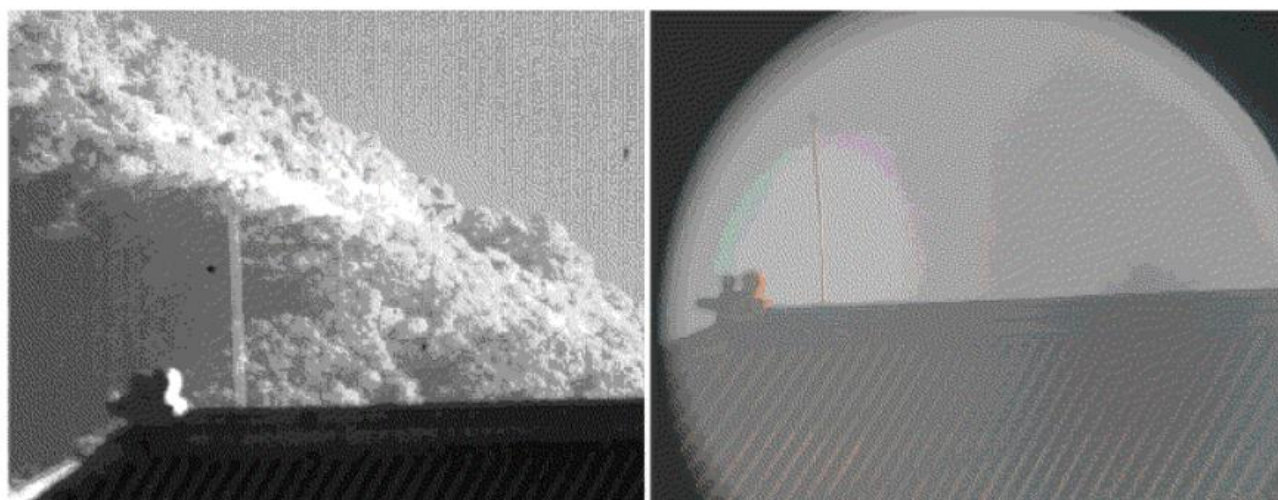


Рис. 1.9 – Спостереження гори через туман: SWIR (зліва) та VIS (справа) [20]

Сучасні винищувачі оснащені одними з найсучасніших стелс-технологій, що робить їхню присутність майже непомітною навіть для найсучасніших систем радіолокаційного моніторингу. Звуки двигуна винищувача буде чути одразу після завершення атаки, коли він набирає максимальну швидкість, оскільки він рухається зі такою швидкістю, що значно перевищує швидкість звуку. З цих причин оптичні технології поступово впроваджуються в протиповітряні системи. Завдяки SWIR-зображенню температура вихлопних газів може досягати мінімальної "видимої" температури, коли літак прискорюється.

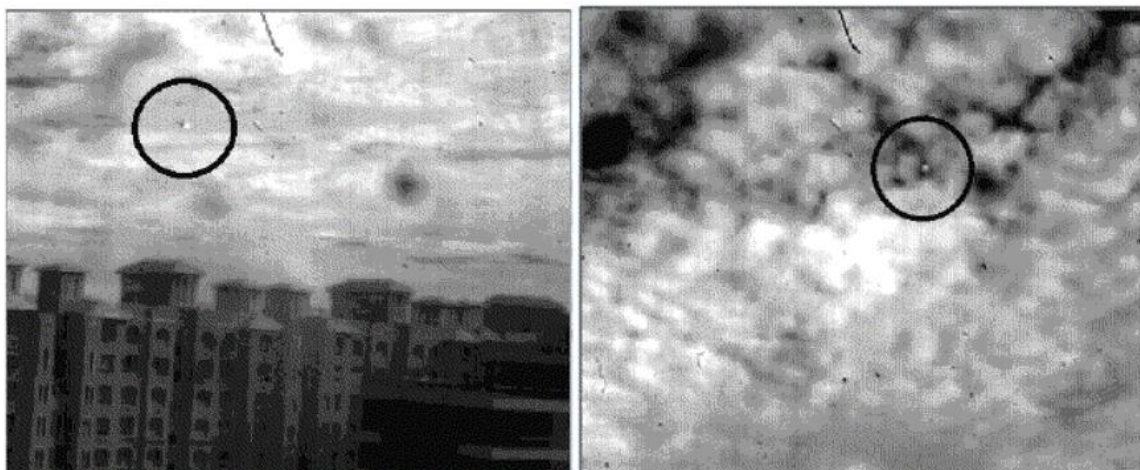


Рис. 1.10 – Спостереження за ціллю в повітрі: SWIR (зліва) та VIS (справа) [20]

Вихлопні струмені виглядають як масивні білі точки на тлі високопоглинаючої зовнішньої оболонки літака (див рис. 1.10), через що дуже помітні через камери SWIR.

Технологія SWIR для військово-морського спостереження великої території. Як вже обговорювалося, вода добре поглинає світло SWIR-діапазону. Це означає, що під час використання камери SWIR вода виглядає чорною. Безпосереднє використання цієї фізичної властивості – виявлення морських або інших морських об'єктів.

Великі та малі військово-морські судна, пофарбовані таким чином, щоб злитися з природним середовищем, а також катери-невидимки з поверхнями проти радарів можна виявити на відстані понад 20 км як великі білі плями на чорному тлі за допомогою простої оптики SWIR. Також можна буде виявити неглибокі підводні об'єкти. Вимірюючи положення човна відносно горизонту, також можна дати точну оцінку дальності, а отже, положення цього човна за GPS.

Великі і малі військові кораблі пофарбовані під природне оточення, а також катери-невидимки з антирадарною поверхнею можна ідентифікувати як величезні білі точки на темному фоні з відстані майже 20 кілометрів, використовуючи лише просту SWIR-оптику. Неглибокі занурені об'єкти також будуть помітні. Також можливо отримати точну оцінку дальності, а отже, і GPS-позицію човна, вимірявши його положення відносно горизонту (рис. 1.11) [20].

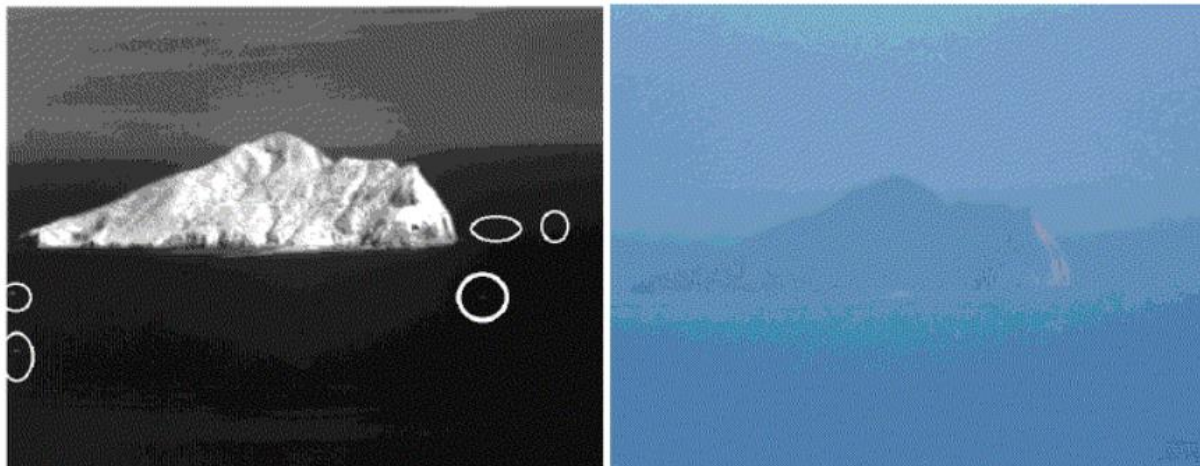


Рис. 1.11 – Військово-морське спостереження великої території [A20]

#### 1.4. Огляд сполук, які використовуються у виготовленні оптичних елементів для ІЧ

Для того, щоб виготовити оптичні елементи в ІЧ діапазоні зазвичай використовують германій (Ge), селенід цинку (ZnSe), безкисневе скло та скло із CdTe. Матеріали на основі галогеніду талію (KRS5, KRS6) характеризуються високим пропусканням, але є токсичними. Для середньої ІЧ області спектру зазвичай використовують германій і селенід цинку [21].

Список сполук, які використовуються у виготовленні оптичних елементів в ІЧ наведено на рис. 1.12:

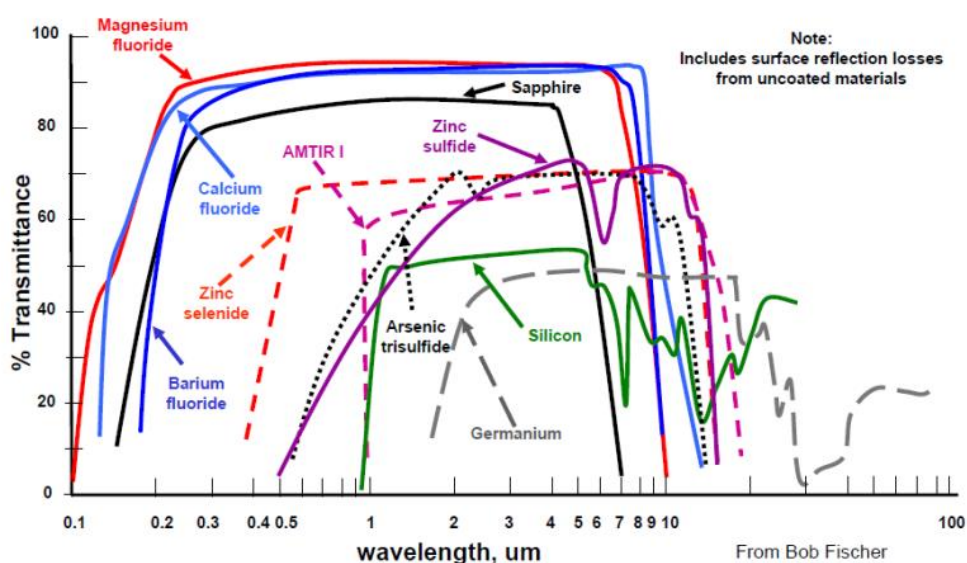


Рис. 1.12 – Сполуки, які пропускають ІЧ випромінення [22]

## Властивості інфрачервоних матеріалів

Матеріал	Показник заломлення	Коефіцієнт теплового розширення (ppm/K)	Зміна показника заломлення з температурою (ppm/K)	Жосткість (g/mm <sup>2</sup> )	Спектр. Діапазон (mm)
Germanium	4,0243	6	396	800	2,0-17,0
Silicon	3,4255	2,7	150	1150	1,2-9,0
ZnS (Cleartran)	2,2523	4,6	54	230	0,37-14,0
ZnSe	2,4331	7,1	60	105	0,55-20,0
Magnesium Fluoride	1,3526	8	20	415	0,11-7,5
Sapphire	1,6753	5,6	13,7	1370	0,17-5,5
Gallium Arsenide	3,3069	5,7	148	721	0,9-16,0
CaF <sub>2</sub>	1,4097	18,9	-11	170	0,13-10,0
BaF <sub>2</sub>	1,458	18,4	-15	82	0,15-12,5

- Германій

Германій - це відносно дорогий, але популярний інфрачервоний кристалічний матеріал, який можна використовувати в MWIR та LWIR діапазонах. Германій має надзвичайно високий показник заломлення ( $n = 4,0243$ ) та має високий показник зміни заломлення з температурою ( $dn/dT$ ) - 396 ppm/K.

Коливання температури можуть викликати значні зміни концентрації у германії, що може ускладнити термічну обробку. Через високий показник заломлення необхідно використовувати сильні антивідблискуючі покриття.

- Кремній

Кремній, як і германій, є кристалічною речовиною. Він використовується в основному в діапазоні від 3 мкм до 5 мкм MWIR, так як поглинається в діапазоні LWIR від 8 мкм до 14 мкм.

Показник заломлення для кремнію також великий ( $n = 3,4255$ ), як і зміна показника заломлення з температурою ( $dn/dT = 150$  ppm/K), дисперсія відносно низька. Кремній можна обробити алмазом, але це важкий процес.

					ПО91.00011.000 ПЗ	Лист
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		21

- Сульфід цинку

Сульфід цинку - ще одна речовина, яка часто використовується як в MWIR, так і в LWIR. Сульфід цинку зазвичай отримується методом хімічного осадження з газової фази. Cleartran® є найбільш доступним прозорим сульфідом цинку, і його можна використовувати для вікон і лінз від видимого до довгохвильового інфрачервоного діапазону.

- Селенід цинку

Селенід цинку пропускає як інфрачервоне, так і видиме світло. Фізично він схожий на сульфід цинку, хоча має дещо вищий показник заломлення і менш міцний. Перевага селеніду цинку перед сульфідом цинку полягає в тому, що він має значно нижчий коефіцієнт поглинання, але коштує недешево.

- Фторид магнію

Ще одна кристалічна речовина - фторид магнію. Він пропускає світло від ультрафіолетового до середньохвильового спектральних діапазонів. Фторид магнію отримують шляхом вирощування кристалів або "гарячого пресування". Фторид магнію недорогий, але має не найкращі теплові характеристики.

- Сапфір

Сапфір (оксид алюмінію) - дуже тверда речовина, яка пропускає від глибокого ультрафіолету до MWIR. Через свою твердість його важко, дорого і довго виготовляти. Для інфрачервоного матеріалу показник зміни з температурою,  $dn/dT$ , є відносно низьким (10 ppm/K), і він має дуже низьку теплову емісію при високих температурах.

Загалом він має хороші теплові характеристики і часто використовується для виготовлення куполів ракет. Він також є двозаломлюючим, тобто його показник заломлення змінюється в залежності від площини падіння, не може бути перетворений на діамант.

					ПО91.00011.000 ПЗ	Лист
						22
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Виготовлення сполук. Загалом, процедури виготовлення інфрачервоних матеріалів, таких як германій, кремній, сульфід цинку та селенід цинку, подібні до тих, що використовуються у скляній оптиці. Багато кристалічних матеріалів є гігроскопічними (поглинають воду), що ускладнює роботу з ними.

Деякі інфрачервоні матеріали, такі як германій, кремній, сульфід цинку, селенід цинку і фториди, можна обертати за допомогою алмазу з однією точкою, сапфір не може бути перетворений на алмаз. Коли в конструкцію потрібно включити асферичні поверхні, то алмазне точіння стає критично важливим.

Оскільки інфрачервоні матеріали мають відносно високий показник заломлення, це призводить до різкого зростання дифракції і до обмеження пропускання, хороші антивідбиваючі покриття мають важливе значення. Належні покриття також необхідні для захисту цих матеріалів від пошкодження вологою [22].

Використання оптичного скла для SWIR об'єтивів. Звичайне оптичне скло можливо використовувати для конструювання систем спостереження в короткохвильовому діапазоні, так як воно є прозорим для довжин хвиль 0,9-1,7 мкм.

В деяких випадках можливо використання стандартних об'єтивів (з їх подальшою оптимізацією) для діапазону SWIR, але лінза, розроблена для довжин хвиль, які зазвичай спостерігаються при денному світлі, цілком може створювати більш очевидні аберації (рішення — нанесення просвітлюючого покриття для мінімізації відбиття).

Тому краще використовувати лише спеціалізовані об'єктиви SWIR можуть скористатися перевагами продуктивності короткохвильової інфрачервоної камери та забезпечити найчіткіше зображення для приймача [23].

					ПО91.00011.000 ПЗ	Лист
						23
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

## 1.5. Огляд приймачів для SWIR діапазону

Стандартні кремнієві сенсори мають верхню межу близько 1000 нм, тому для SWIR-зображень потрібні сенсори і деталі камери, які можуть працювати в короткохвильовому інфрачервоному спектрі, який знаходиться за межами верхньої межі кремнієвих сенсорів (рис. 1.13). Датчики на основі арсеніду індію-галію (InGaAs), які зазвичай охоплюють діапазон від 900 до 1700 нм, часто використовуються в SWIR-зображеннях.

Однак пристрої на основі InGaAs за замовчуванням є дорогими, а масштабування до меншого кроку (розміру) пікселів і масивів з вищою роздільною здатністю створює перешкоди, що пов'язано зі складними технологіями виробництва. У таких випадках можуть виникати проблеми з підвищеним рівнем шуму, зниженою чутливістю або нерівномірною реакцією на різні вхідні світлові сигнали [A24].

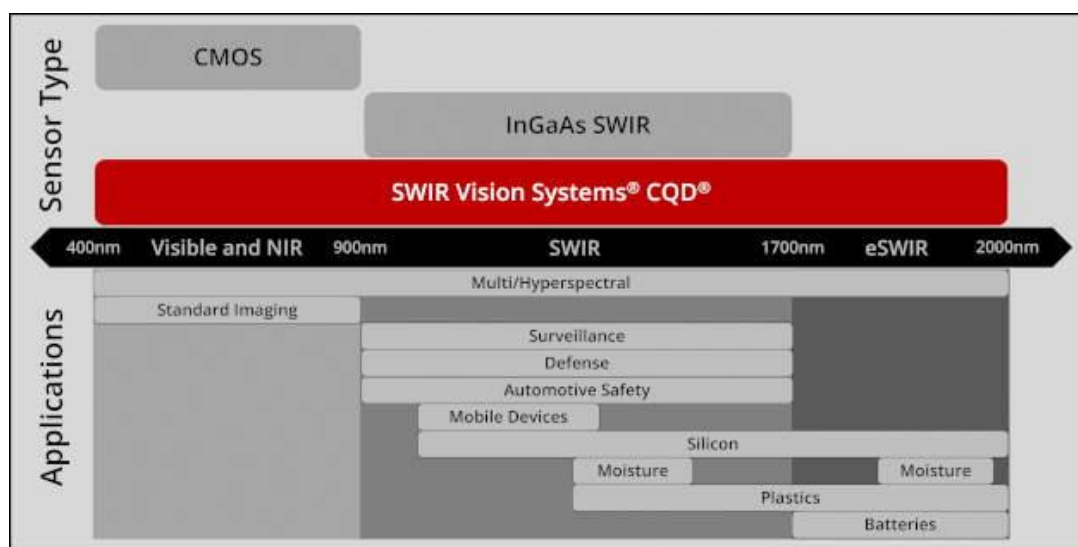


Рис. 1.13 – Використання сенсорів для SWIR камер [24]

На відміну від довгохвильового інфрачервоного (LWIR) світла, яке випромінюється об'єктом, SWIR або короткохвильове інфрачервоне світло можна порівняти з видимим світлом, оскільки фотони відбиваються або поглинаються об'єктом, що призводить до високого контрасту, необхідного для отримання зображень з високою роздільною здатністю.

У той час як тепловізори LWIR створюють більш розмиті тепловізійні зображення, тепловізори SWIR створюють зображення з високою роздільною здатністю, подібні до камер видимого світла [A24].

Комерційні зразки InGaAs приймачів:

- Sony IMX990

Популярна модель від компанії Sony з роздільною здатністю 1296×1032 знайшла своє застосування в багатьох сучасних комерційних моделях:

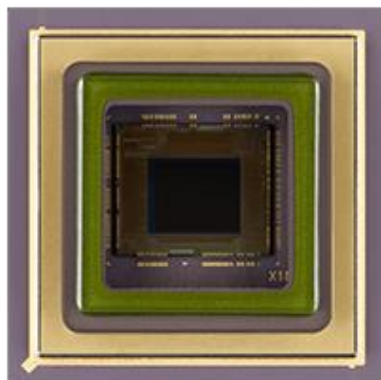


Рис. 1.14 – Sony IMX990 [25]

- Матеріал: InGaAs
- Роздільна здатність: 1296×1032
- Розмір пікселя: 5 мкм
- Спектральний діапазон: 0,4 – 1,7 мкм

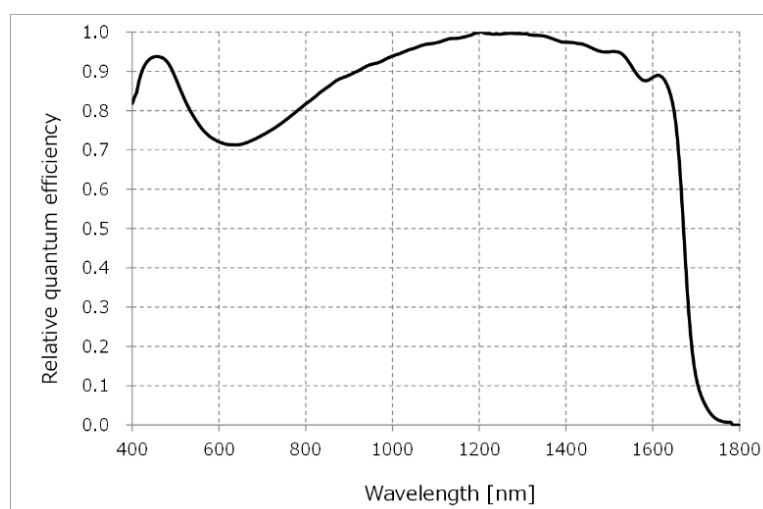


Рис. 1.15 – Спектральний діапазон Sony IMX990 [25]

Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата

ПО91.00011.000 ПЗ

- NIT SenS 1280

На ринку також представлена популярна модель французької компанії New Imaging Technologies (NIT) SenS 1280. Приймач має роздільну здатність 1280×1024:



Рис. 1.16 – NIT SenS 1280 [26]

- Датчик: NSC1901-T-SI
- Матеріал: InGaAs
- Роздільна здатність: 1280×1024
- Розмір пікселя: 10 мкм
- Спектральний діапазон: 0,9 – 1,7 мкм

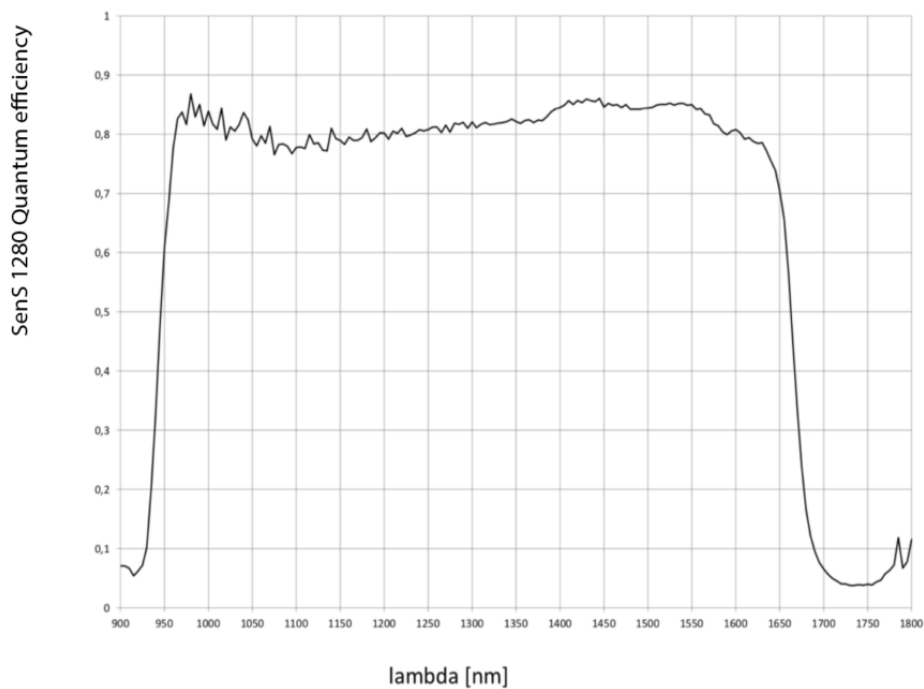


Рис. 1. 17 – Спектральний діапазон NIT SenS 1280 [26]

## 1.6. Аналіз параметрів SWIR об'єктива

На ринку наразі представлені моделі SWIR камер, але більшість виробників виготовляють приймачі та ОС окремо. Це пов'язано з тим, що у світі SWIR технологій ОС та датчик можуть бути розділені для забезпечення більшої гнучкості та адаптивності. Нижче представлена комерційна модель об'єктива з фіксованою фокусною відстанню серії SWIR випромінювання.

TECHSPEC 50mm SWIR Series Fixed Focal Length Lens M42 [27] має 10 оптичних елементів та призначена для роботи в короткохвильовому діапазоні від 0,8 до 1,8 мкм:

- Фокусна відстань FL: 50 мм
- Робоча відстань (мм): 275 -  $\infty$
- Діафрагма (f/#): f/2,15 - f/16
- Спектральний діапазон: 0,8 - 1,8 мкм (SWIR)
- Температура зберігання (°C): - 20 до +60
- Дисторсія (%): - 1.02
- Кількість елементів (груп): 10 (6)
- Кріплення: M42 x 1,0



Рис. 1.18 – TECHSPEC 50mm SWIR Lens, M42 [27]

					ПО91.00011.000 ПЗ	Лист
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		27

Графіки дисторсії та модуляційної передавальної функції проказані на рис. 1.19 та 1.20:

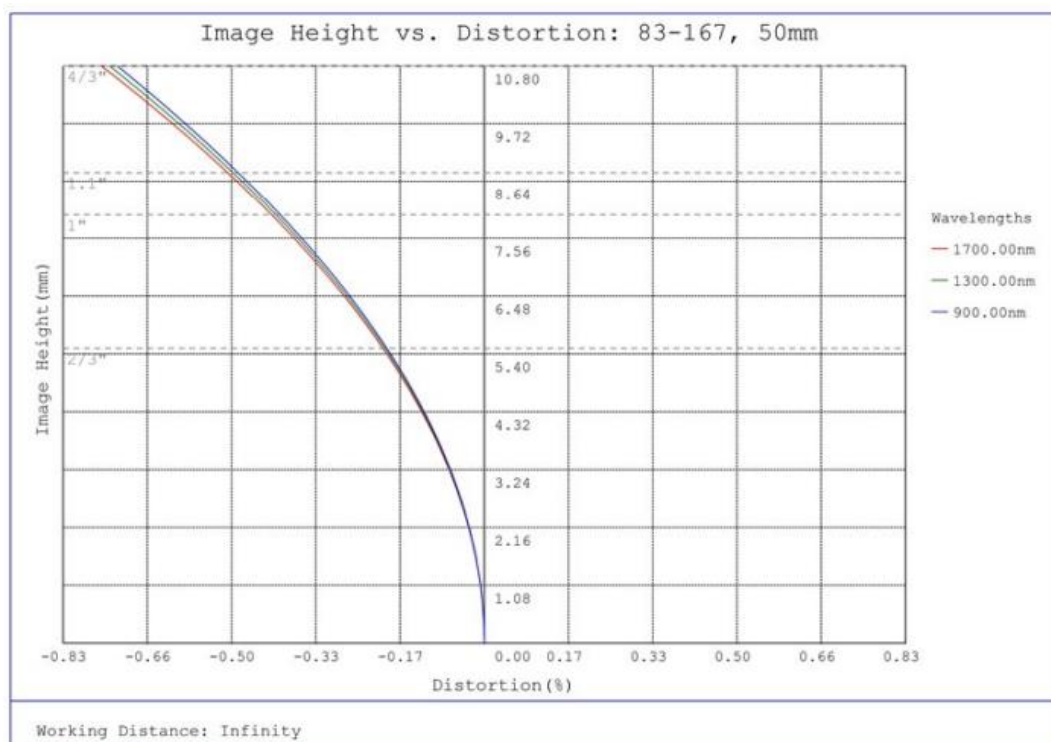


Рис. 1.19 – Графік дисторсії TECHSPEC 50mm SWIR Lens [27]

Графік модуляційної передавальної функції (робоча відстань 750 мм, f4):

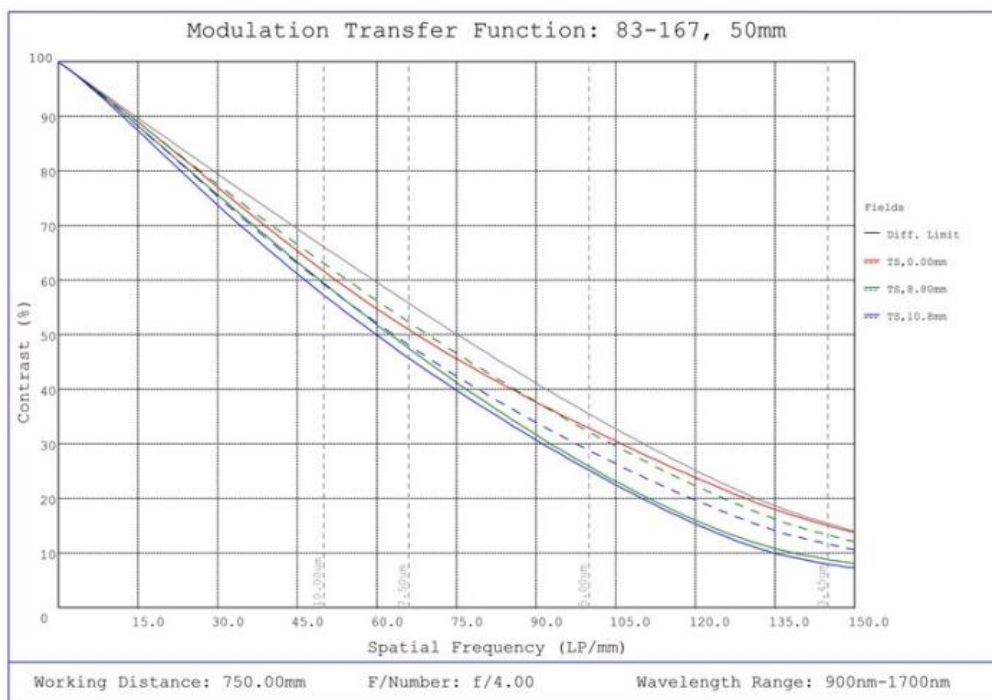


Рис. 1.20 – Графік МПФ TECHSPEC 50mm SWIR Lens, 750 мм, f4 [27]

## 1.7. Висновки до розділу 1

1. Актуальність розробки SWIR-об'єктива обумовлюється широким діапазоном застосування: від визначення вмісту води в рослинах та контролю якості продукції до спостереження цілей наземного та морського базувань, а також в медицині.
2. Для виготовлення оптичних елементів використовуються різні матеріали: від германію та сапфіру до звичайного оптичного скла. Кожен матеріал має свої властивості, тому їх використання обумовлюється в оптичній схемі в індивідуальному порядку.
3. Для приладів для спостереження в SWIR-діапазоні найчастіше використовують приймачі випромінення на основі арсеніду індію-галію (InGaAs). Вони є доволі коштовними, це пов'язано зі складними технологіями виробництва.

					ПО91.00011.000 ПЗ	Лист
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		29

## РОЗДІЛ 2. ОБҐРУНТУВАННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ СХЕМИ ТА ПРИНЦИПУ РОБОТИ ПРИЛАДУ

### 1.1. Опис функціональної схеми та принципу дії приладу

В проєктуванні даної моделі було вирішено орієнтуватися на кращі комерційні зразки, які були представлені у першому розділі. Зокрема, це стосується зразка TECHSPEC 50mm SWIR Lens та NIT SenS 1280.

Для побудови ОС було вибрано стандартний десятилінзовий об'єктив, виготовлений з оптичного скла із спектральним діапазоном 0,8 - 1,8 мкм. Об'єктив має задовільні показники дисторсії та МПФ.

Для приймача випромінювання була надана перевага сенсору компанії NIT через кращу роздільну здатність (1280×1024), спектральний діапазон становить 0,9 – 1,7 мкм (спектральний діапазон 0,4 – 1,7 мкм в приймачі Sony є задатто широким).

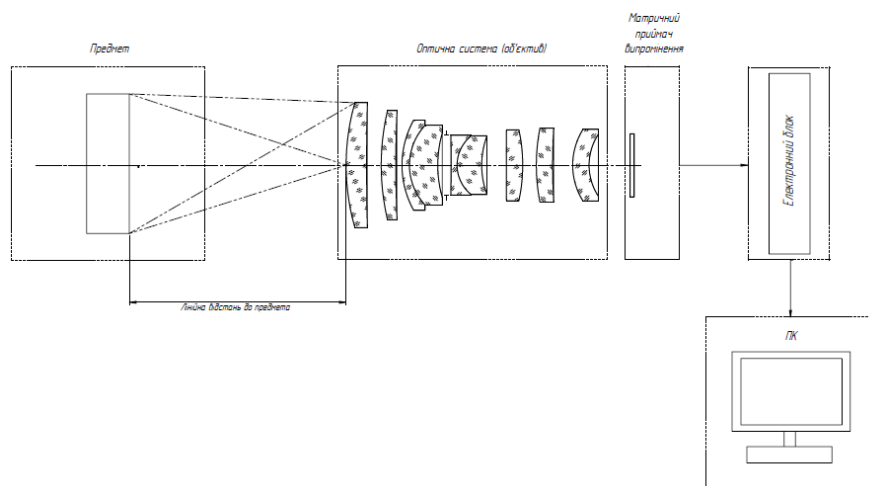


Рис. 2.1 – Функціональна схема

SWIR камера працює на основі проєкційної ОС, спеціально розробленої для короткохвильового інфрачервоного діапазону. Дана ОС проєкційного об'єктива фокусує світло на задній елемент, де знаходиться спеціальний сенсор SWIR. Сенсор SWIR реагує на короткохвильове інфрачервоне випромінювання, яке потім перетворюється на електричні сигнали. Камера має можливість проєктувати відображене зображення на екран комп'ютера.

					ПО91.00011.000 ПЗ	Лист
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		30

Даний прилад розрахований на використання у промисловості для контролю якості продукції, або для наукових досліджень в лабораторних умовах.

Для промислового застосування цей прилад забезпечує надійний та ефективний контроль якості продукції. Він дозволить візуально оцінити дефекти, виміряти розміри та характеристики деталей і компонентів, що перебувають на конвеєрній лінії. Такий контроль допомагає запобігти виробничим помилкам і забезпечити високу якість продукції. У лабораторних умовах цей прилад стає цінним інструментом для наукових досліджень. Він дозволяє вивчати і аналізувати властивості матеріалів, проводити дослідження в області спектроскопії та фотоніки.

Наявність вбудованої ОС спрощує процес використання цього приладу. Користувачам не потрібно додатково підбирати оптичні компоненти або займатися їх налаштуванням. Всі необхідні оптичні елементи вже встановлені і готові до використання, що зменшує зусилля та час, необхідний для налаштування системи.

Завдяки високій роздільній здатності приймача  $1280 \times 1024$  та розміром пікселя 10 мкм, цей прилад забезпечить докладне та чітке зображення об'єктів на конвеєрній лінії. Користувачі можуть отримати детальну інформацію про стан продукції, розміри деталей та виявити невидимі для ока дефекти. Висока роздільність дозволяє точно визначити якість і відповідність продукції встановленим стандартам.

### 1.1. Висновки до розділу 2

В ході попереднього аналізу моделі, що проектується, було визначено, що SWIR-камера дозволяє отримувати високоякісні зображення об'єктів в короткохвильовому інфрачервоному діапазоні. Вона забезпечує збір і фокусування інфрачервоного випромінення завдяки проєкційному об'єктиву, його перетворення на електричні сигнали за допомогою приймача з роздільною здатністю  $1280 \times 1024$  та відображення отриманого зображення. Така SWIR-камера знайде застосування в різних областях, в тому числі під час контролю якості, наукових досліджень та в медицині.

					<b>ПО91.00011.000 ПЗ</b>	<i>Лист</i>
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		31

## РОЗДІЛ 3 КОНСТРУКТОРСЬКІ РОЗРАХУНКИ

### 2.1. Габаритний розрахунок

Габаритний та параметричний розрахунок є важливою частиною процесу проектування об'єктива і дозволяють визначити його ключові характеристики та параметри. З огляду на обраний приймач визначимо параметри ОС приладу.

Технічним завданням задані такі вихідні параметри:

- лінійне поле зору – не менше 300 мм;
- віддалення площини предметів приладу – 1000 мм;
- спектральний діапазон – 0,8...1,8 мкм.

### 2.2. Розрахунок фокусної відстані об'єктива

Фокусну відстань визначимо за допомогою схеми, яка показана нижче на рис. 3.1:

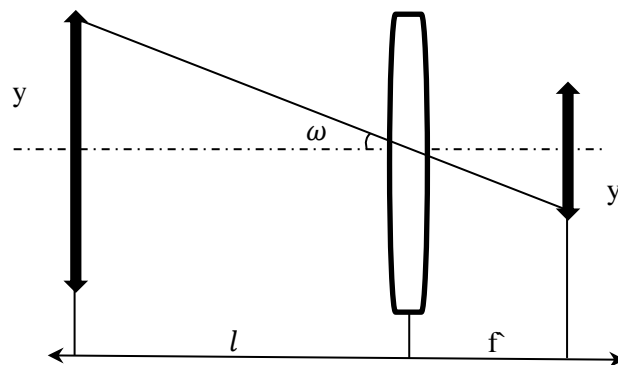


Рис. 3.1 – Спрощена схема формування зображення

Для розрахунку  $f'$  потрібно визначити лінійний розмір чутливої площадки обраного приймача. Приймачем було обрано NIT SenS 1280 з роздільною здатністю 1280×1024 та розміром пікселя 10 мкм. Тоді значення діагоналі чутливої площадки:

$$2y' = \sqrt{(10 * 1280)^2 + (10 * 1024)^2} = 16,4 \text{ мм}; \quad (3.1)$$

$$y' = \frac{16,4}{2} = 8,2 \text{ мм}. \quad (3.2)$$

де  $y'$  – половина максимального розміру зображення.

Для розрахунку використаємо числове значення лінійного поля предметів, яке був задане в технічному завданні – 300 мм:

$$\operatorname{tg} \omega = \frac{y}{l} = \frac{150}{1000} = 0,15, \quad (3.3)$$

де

$y$  – половина лінійного поля предметів;

$l$  – віддалення площини предметів;

Визначаємо фокусну відстань:

$$f' = \frac{y'}{\operatorname{tg} \omega} = \frac{8,2}{0,15} = 54,6 \text{ мм}. \quad (3.4)$$

Для досягнення фокусної відстані в 50 мм можна збільшити лінійне поле предметів з 300 до 328 мм:

$$\operatorname{tg} \omega = \frac{y}{l} = \frac{164}{1000} = 0,164; \quad (3.5)$$

$$f' = \frac{y'}{\operatorname{tg} \omega} = \frac{8,2}{0,164} = 50 \text{ мм}; \quad (3.6)$$

В свою чергу, відносний отвір системи буде дорівнювати:

$$\frac{1}{F} = \frac{D}{f'} = \frac{1}{2}. \quad (3.7)$$

### 2.3. Параметричний синтез та аналіз якості зображення

Основна мета параметричного синтезу полягає в створенні оптимальної ОС, яка відповідає поставленим вимогам. Параметричний розрахунок є важливою фазою в процесі проєктування ОС, оскільки він впливає на характеристики ОС, якість зображення та ефективність функціонування.

В даній роботі був здійснений автоматизований параметричний синтез ОС дев'ятилінзового проєкційного об'єктива. Він призначений для функціонування в короткохвильовому інфрачервоному діапазоні (SWIR) від 0,8 до 1,8 мкм з матричним приймачем випромінення, що має діагональ чутливої площадки 16,4 мм [A1].

					<b>ПО91.00011.000 ПЗ</b>	Лист
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		33

Для автоматичного проєкційного синтезу проєкційного SWIR-об'єктива використовувався модифікований варіант адаптивного алгоритму диференційної еволюції в програмному забезпеченні PODIL. Суть полягає в тому, щоб знайти в автоматизованому режимі оптимальні значення параметрів ОС, які задовольняють задані вимоги та критерії оптимальності.

В даному алгоритмі глобальної оптимізації зберігаються значення двох параметрів диференційної еволюції для кожної точки популяції, середні значення яких він використовує для створення нових точок. На кожній ітерації він уточнює ці значення для всієї сукупності. Розподіл Коші також дозволяє детально дослідити багатовимірний простір можливих рішень і запобігає передчасній збіжності до локального мінімуму. Перевагою такого методу є те, що розрахунок системи можна починати з плоско-паралельних пластин, але потрібно розуміти, що для правильного синтезу треба мати глибоке розуміння основ оптики, знання про оптичні матеріали, володати програмним забезпеченням та вміти аналізувати результати.

Для розрахунку ОС були встановлені такі обмеження:

- відносний отвір: 1:2;
- спектральний діапазон: 0,8...1,8 мкм;
- основна довжина хвилі: 1,3 мкм;
- лінійне поле предметів: від 300 мм;
- відстань від першої поверхні: 1000 мм;
- діаметр кола зображень: від 15 мм;
- обмеження на мінімальну осьову товщину: 1,3 мм;
- мінімальна товщина лінз на краю: 1,5 мм;
- загальна осьова довжина ОС: 70 мм;
- максимальне допустиме значення відносної дисторсії: 3%;
- абсолютна різниця температурних коефіцієнтів розширення лінз склейок: не більше  $3 * 10^6 K^{-1}$ .

					ПО91.00011.000 ПЗ	Лист
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		34

Конструктивні параметри ОС представлені в таблиці 3.1. Загалом система містить 9 лінз, 17 поверхонь. В об'єктиві наявні 2 дублети. Загальна довжина шляху по осі дорівнює 1069,7 мм.

Таблиця 3.1

Конструктивні параметри розрахованого об'єктива

№ пов.	Радіус Y	Товщина	Середовище	Діаметр	Стрілка	Коніч. Y
Предмет	Нескінчен.	1000,000000		300,000	0,000	0,000000
1	54,938240	4,989963	N-PK51	30,409	2,146	0,000000
2	641,198833	3,562173		29,290	0,167	0,000000
3	58,204518	3,983595	N-PK51	26,582	1,538	0,000000
4	303,085565	1,500871		25,169	0,261	0,000000
5	22,512356	1,826040	N-SF2	21,997	2,869	0,000000
6	14,309865	6,897254	N-PSK53	19,489	3,831	0,000000
7	28,334979	2,151095		15,759	1,118	0,000000
8 (АД)	Нескінчен.	1,111267		14,622	0,000	0,000000
9	-323,443527	1,452844	KZFS12	14,524	-0,082	0,000000
10	9,145023	5,998570	N-LAK12	14,328	3,461	0,000000
11	20,276190	5,999135		14,220	1,287	0,000000
12	2197,475399	3,999165	N-LASF44	16,468	0,015	0,000000
13	-40,170326	3,321179		17,277	-0,940	0,000000
14	46,442417	3,971477	N-BAF51	17,969	0,877	0,000000
15	148,263313	4,900596		17,725	0,265	0,000000
16	16,451425	3,993975	N-LASF46A	17,422	2,496	0,000000
17	13,785316	10,034574		15,218	2,290	0,000000
Зображ.	Нескінчен.			15,360	0,000	0,000000

Марки скла об'єктива були автоматично підібрані програмою з каталогу "SCHOTT", також потрібно враховувати абсолютну різницю температурних коефіцієнтів розширення лінз склейок: не більше  $3 * 10^6 K^{-1}$  (таблиця 3.2):

## Температурні коефіцієнти розширення використаних марок скла

№ пов.	Середовище	ТКР, $\times 1.0E-6$
0		0,0000000
1	N-PK51	12,3500000
2		0,0000000
3	N-PK51	12,3500000
4		0,0000000
5	N-SF2	6,6800000
6	14,309865	6,897254
7		0,0000000
8		0,0000000
9	KZFS12	5,1800000
10	N-LAK12	7,6000000
11		0,0000000
12	N-LASF44	6,2100000
13		0,0000000
14	N-BAF51	8,3700000
15		0,0000000
16	N-LASF46A	6,0000000
17		0,0000000
18		0,0000000

Схема розрахованої ОС об'єктива представлена на рис. 3.2.

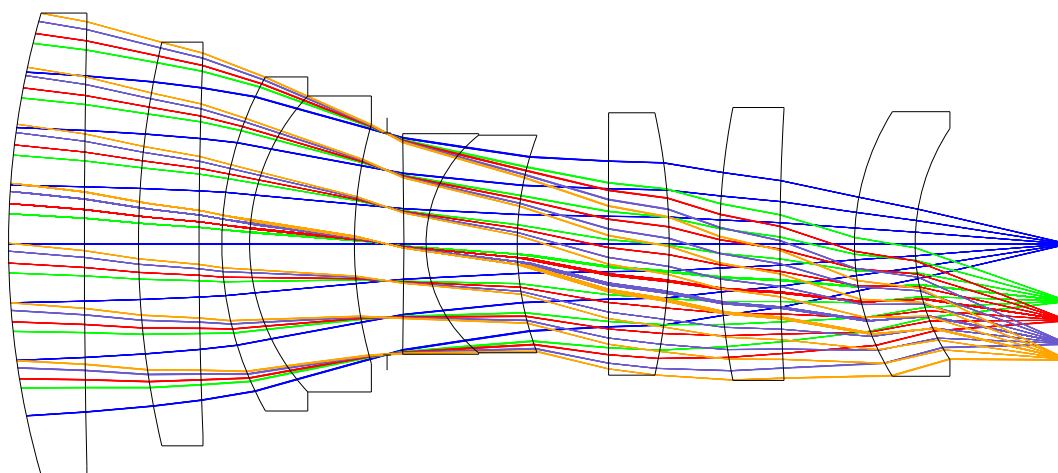


Рис. 3.3 – Двовимірна оптична схема синтезованого об'єктива

• **Оцінка якості зображення**

Аналіз якості зображення було проведено в програмному забезпеченні Aber.

**Класична точкова діаграма**

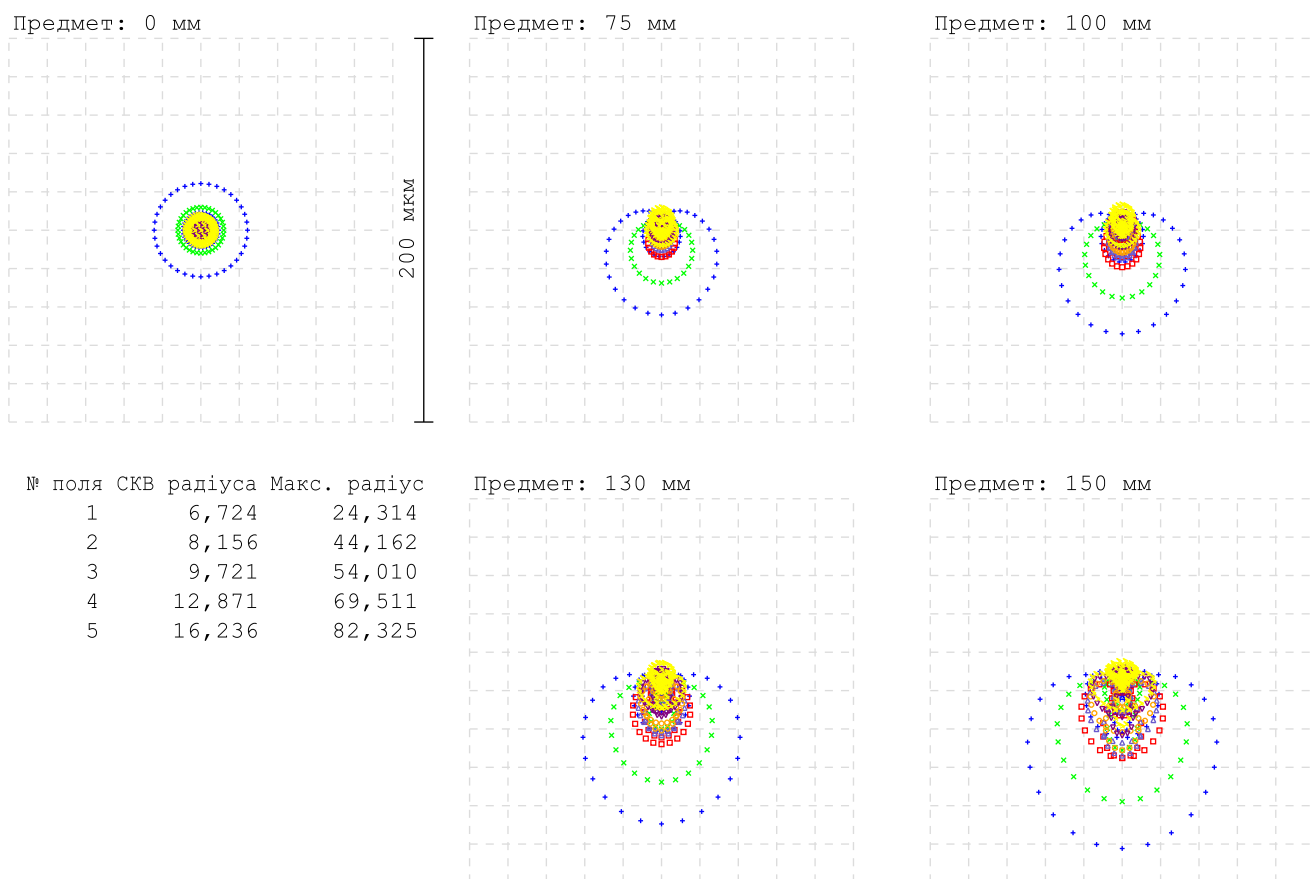


Рис. 3.3 – Класична точкова діаграма

На рис. 3.3 показана класична точкова діаграма для синтезованої ОС. Вона вказує на те, як точкове джерело світла розмивається на зображенні. Ідеальна ОС повинна мати точкову структуру з мінімальним розмиттям від точкового джерела по всьому полю зображень. Однак у реальних ОС наявність аберацій, дифракції та інших похибок системи буде призводити до розширення світлових плям.

Максимальні значення СКВ-радіусів світлових плям в заданому діапазоні (0,8 - 1,8 мкм) не перевищують 7 мкм на осі і 17 мкм на краю поля зору.

Аберації впливають на якість зображення, спотворюючи форму, розміри або розміщення об'єктів на зображенні. На рис. 3.4-3.7 представлені різні аберації згенерованої ОС.

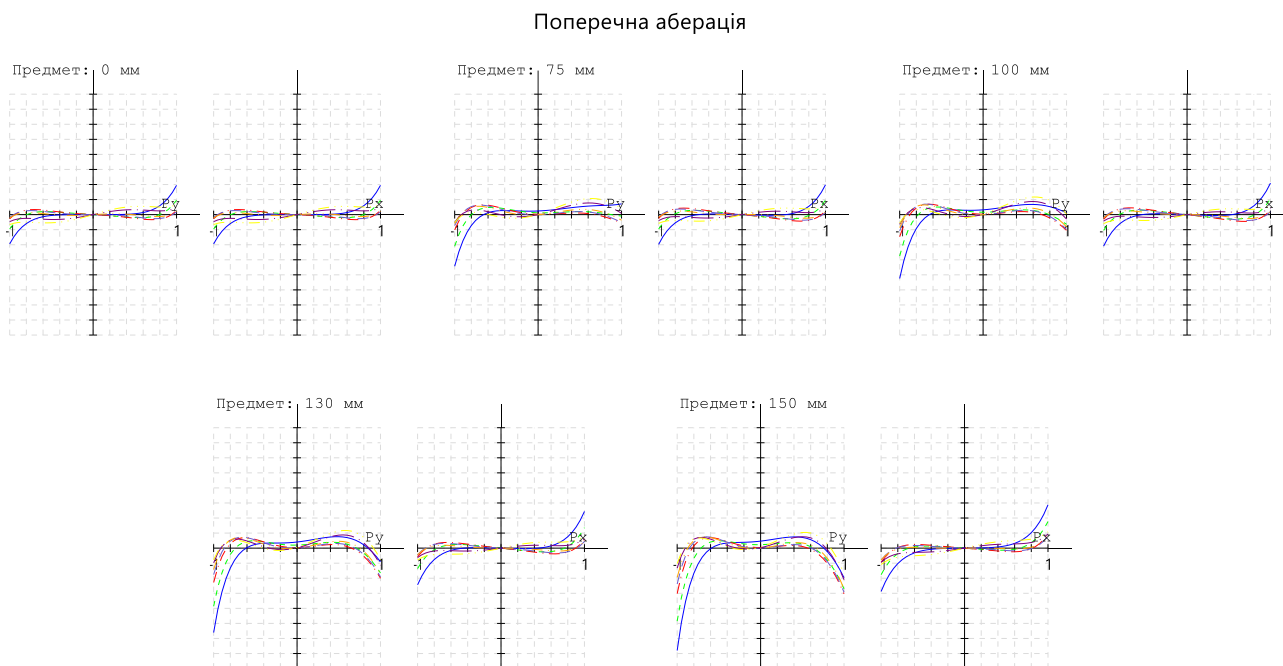


Рис. 3.4 – Графіки поперечної аберації

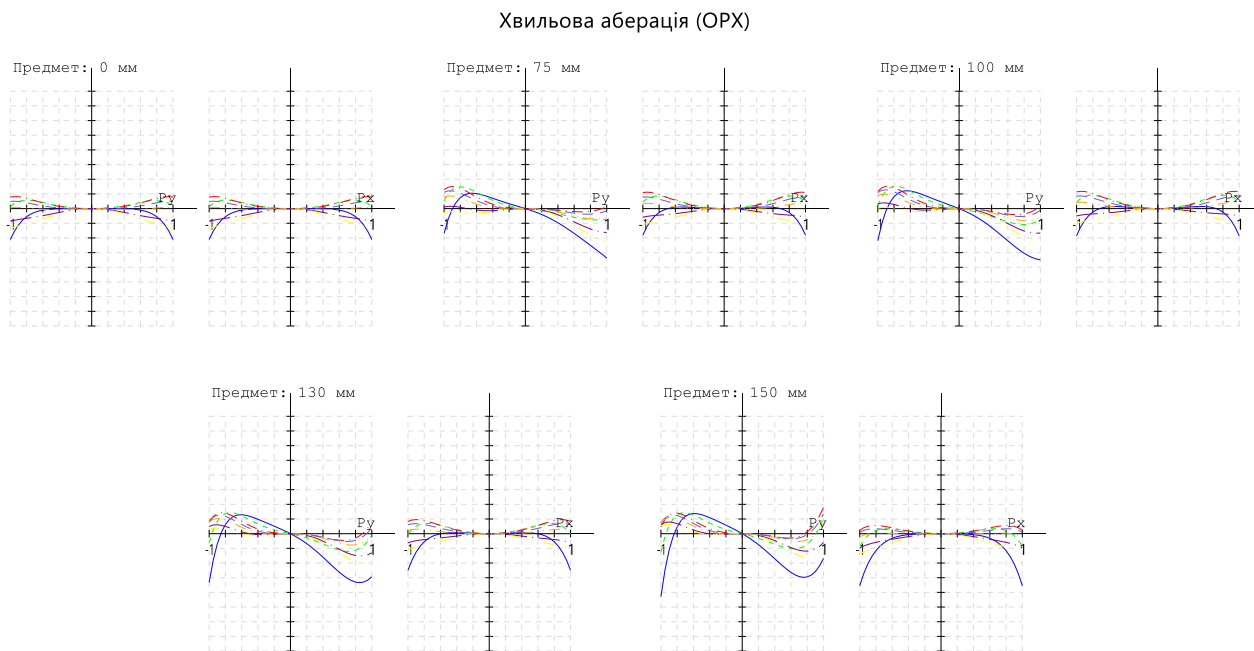


Рис. 3.5 – Графіки хвильової аберації

### Сферична аберація

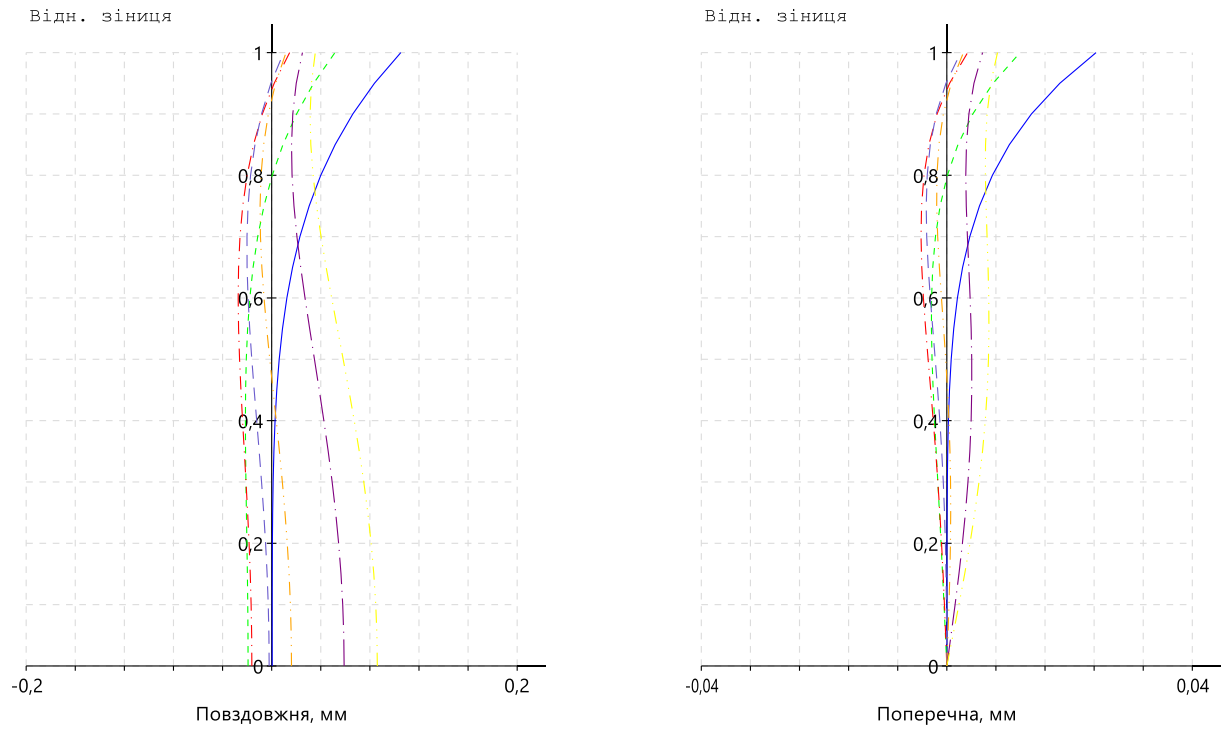


Рис. 3.6 – Графіки сферичної аберації

### Кривизна поля/Астигматизм

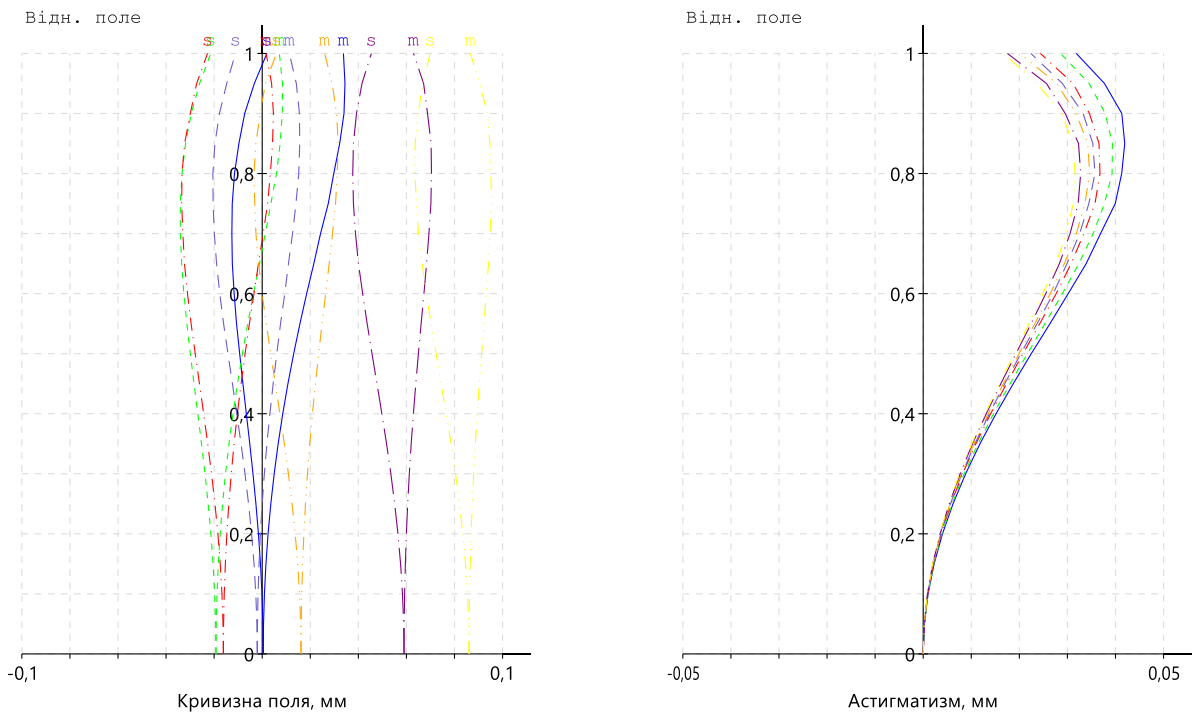


Рис. 3.7 – Графіки кривизни поля та астигматизму

Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата
-------	------	----------	--------	------

ПО91.00011.000 ПЗ

### Хроматичні аберації

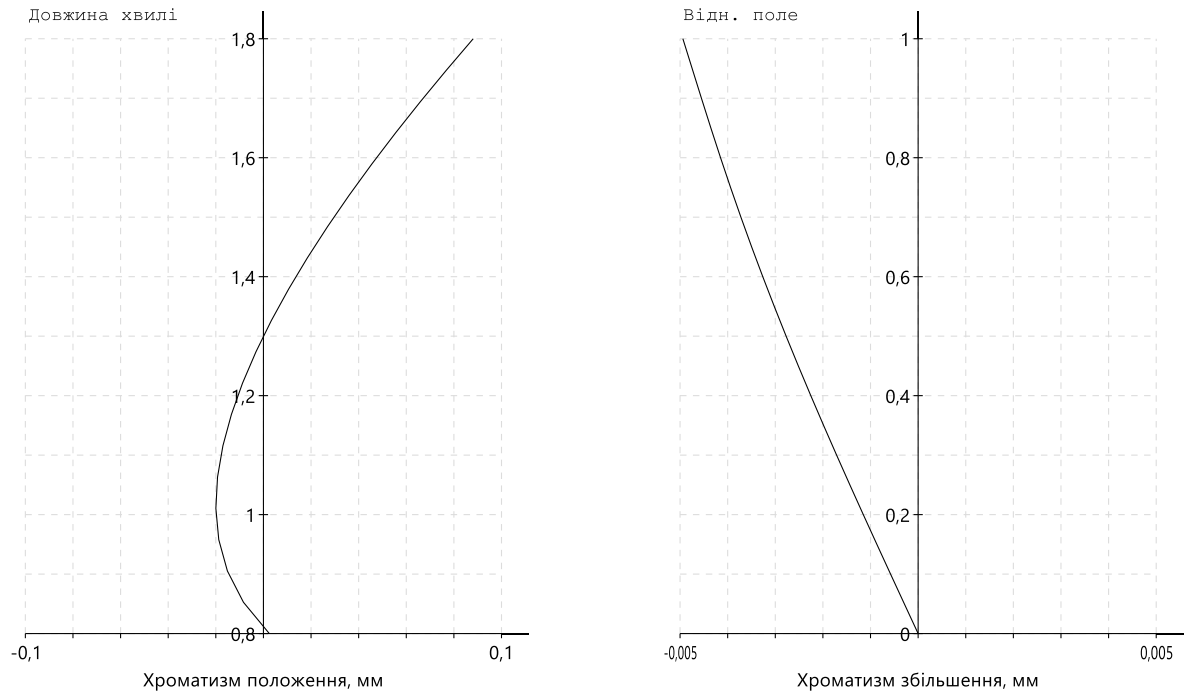


Рис. 3.8 – Графіки хроматичного положення та збільшення

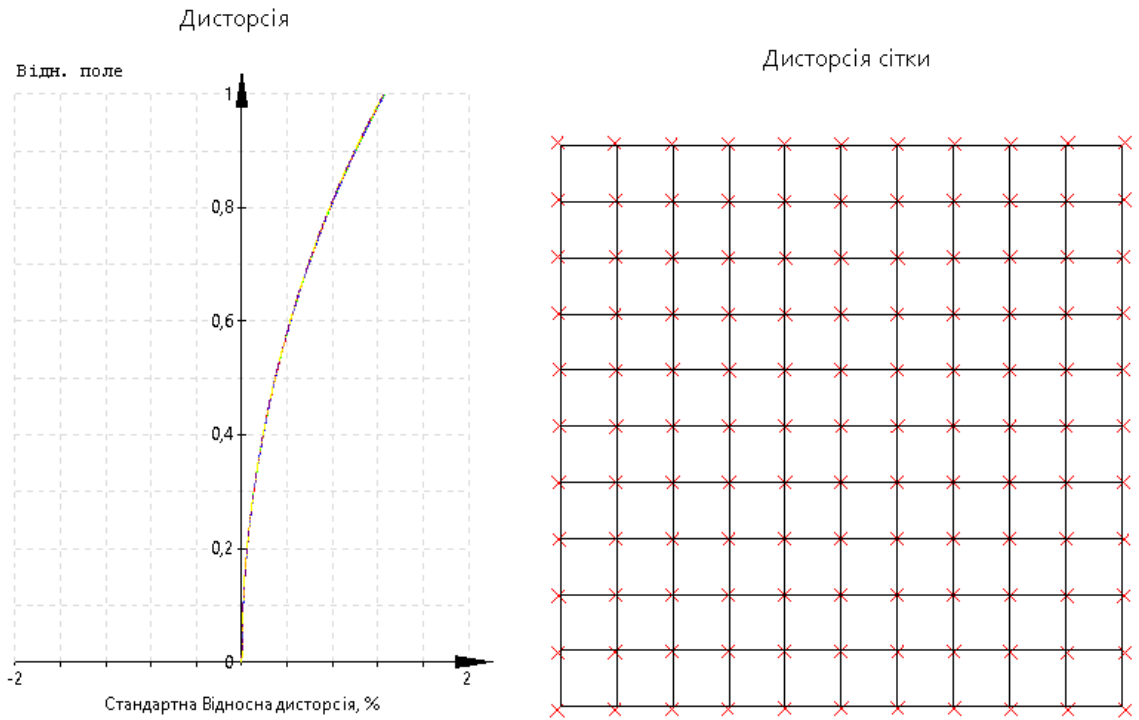


Рис. 3.9 – Графік дисторсії та дисторсія сітки

Аналіз аберацій вказує на те, що модель ОС має високу якість зображення. Відносна дисторсія об'єктива не перевищує 2,6 % та практично непомітна людському оку (рис. 3.9).

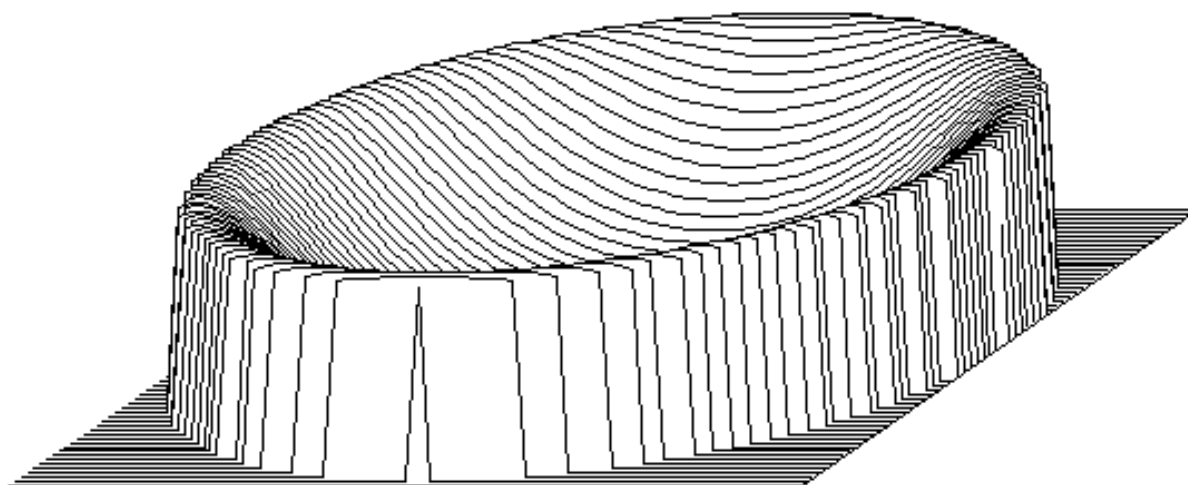


Рис. 3.10 – Деформація хвильового фронту

Для аналізу оцінки якості зображення ОС доцільно опиратися на критерії Релея та Марешаля. За критерієм Релея перепад хвильового фронту в дифракційно-обмеженій системі має бути меншим за  $0,25 \lambda$ . Цей критерій використовується для оцінки мінімального розміру деталей, які можуть бути розділені на зображенні.

Згідно з критерієм Марешаля СКВ-значення деформації хвильового фронту в дифракційно-обмеженій системі не повинно перевищувати  $0,072 \lambda$ .

В розрахованому варіанті видно, що перепад хвильового фронту дорівнює  $0,2516 \lambda$ , а СКВ деформації хвильового фронту –  $0,0894 \lambda$  (рис. 3.10). Це означає, що отримана система є близькою до ідеальної (дифракційно-обмеженої) системи.

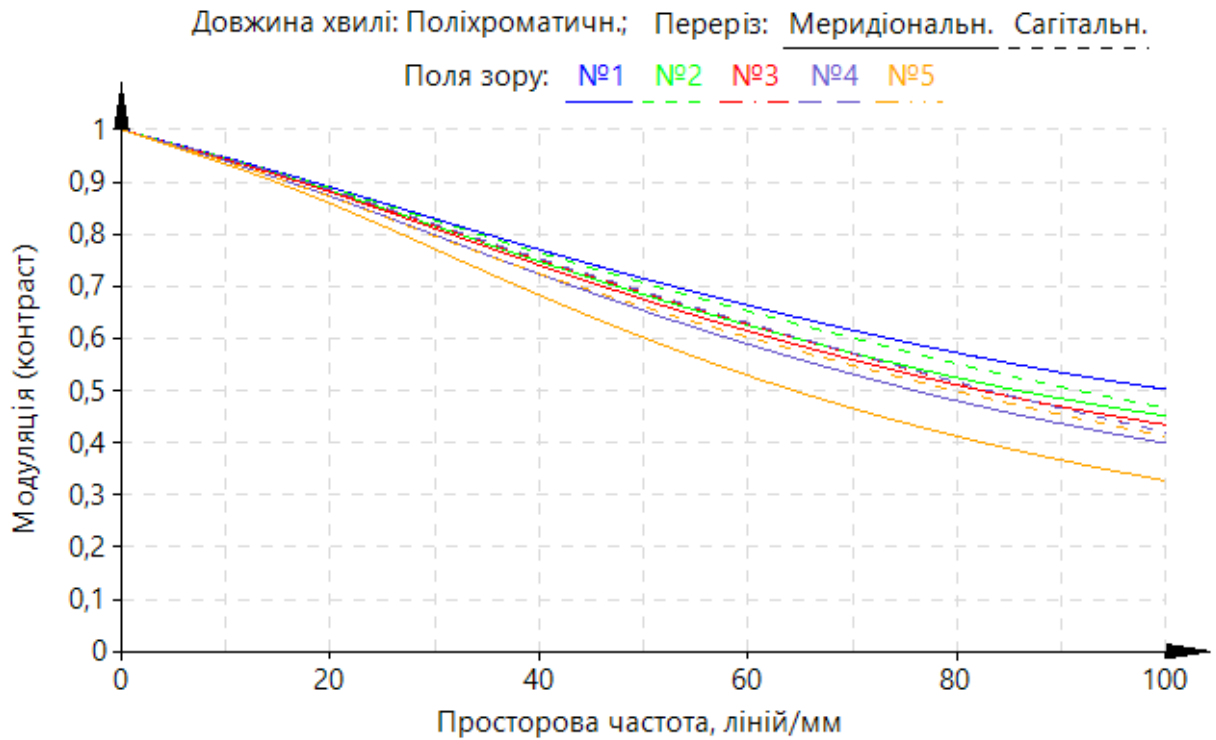


Рис. 3.11 – Модуляційна передавальна функція синтезованого SWIR-об'єктива

З графіку модуляційної передавальної функції синтезованого SWIR-об'єктива (див. рисунок 3.11) видно, що для просторової частоти 60 ліній/мм контраст дорівнює 51...68%, що є високим показником для оцінки здатності системи передавати високочастотні деталі зображення.

3D модель синтезованої ОС показана на рисунку 3.12:

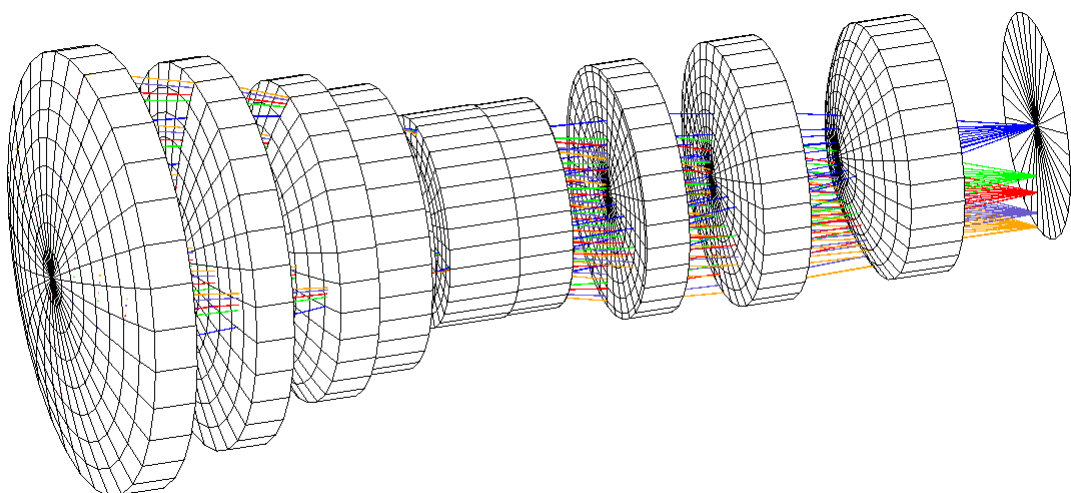


Рис. 3.12 – 3D модель синтезованого SWIR об'єктива

## 2.4. Аналіз комерційної моделі

В розділі 2 «Обґрунтування функціональної схеми та принципу роботи приладу» було зазначено, що за приклад-аналог ОС було використано комерційну зразок TECHSPEC 50mm SWIR Lens.

Надані виробником Edmund Optics конструктивні параметри об'єктива дозволили оцінити якість його зображення та порівняти отримані результати з розрахованим в проєкті об'єктивом. Для коректного аналізу системи задано лінійну відстань до предмета – 1000 мм, лінійне поле предметів – 300 мм:

Таблиця 3.3

Конструктивні параметри TECHSPEC 50mm SWIR Lens

№ пов.	Радіус Y	Товщина	Середовище	Радіус висоти	Коніч. Y
Предмет	Нескінчен.	1000,000000		150,000	0,000000
1	Нескінчен.	11,345		15,500	0,000000
2	29,036	7,570	S-LAL12	15,500	0,000000
3	165,270	1,00E-002	NOA61	15,500	0,000000
4	165,270	2,800	S-BSM14	15,500	0,000000
5	16,763	4,390		11,090	0,000000
6	60,000	5,420	S-BAL11	12,000	0,000000
7	-222,950	1,00E-002	NOA61	12,000	0,000000
8	-222,950	5,875	N-SF6	12,225	0,000000
9	559,413	4.78	KZFS12	13,160	0,000000
10 (АД)	Нескінчен.	10,96		8,023	0,000000
11	-55,345	5,090	N-KZFS11	12,925	0,000000
12	23,111	1,00E-002	NOA61	13,970	0,000000
13	23,111	10,150	N-LAK12	13,500	0,000000
14	-34,562	0,410		13,500	0,000000
15	110,372	7,250	S-PHM52	15,500	0,000000
16	-57,176	0,167		15,500	0,000000
17	Нескінчен.	0,025		12,505	0,000000
18	37,481	7,260	S-PHM52	13,500	0,000000

19	-37,481	1,00E-002	NOA61	13,500	0,000000
20	-37,481	4,160	N-KZFS11	13,955	0,000000
21	26,265	2,651		11,460	0,000000
22	Нескінчен.	4,870		10,500	0,000000
23	-16,139	6,000	S-TIMS	11,500	0,000000
24	-20,550	0,951		14,500	0,000000
25	Нескінчен.	18,392		17,000	0,000000
26	Нескінчен.	5,800		20,750	0,000000
Зображ.	Нескінчен.			15,360	0,000000

Комерційний об'єктив має 10 лінз та відносній отвір 1:2,8. Графік дисторсії та модульна передавальна функція показані на рис. 3.13 та 3.14 відповідно.

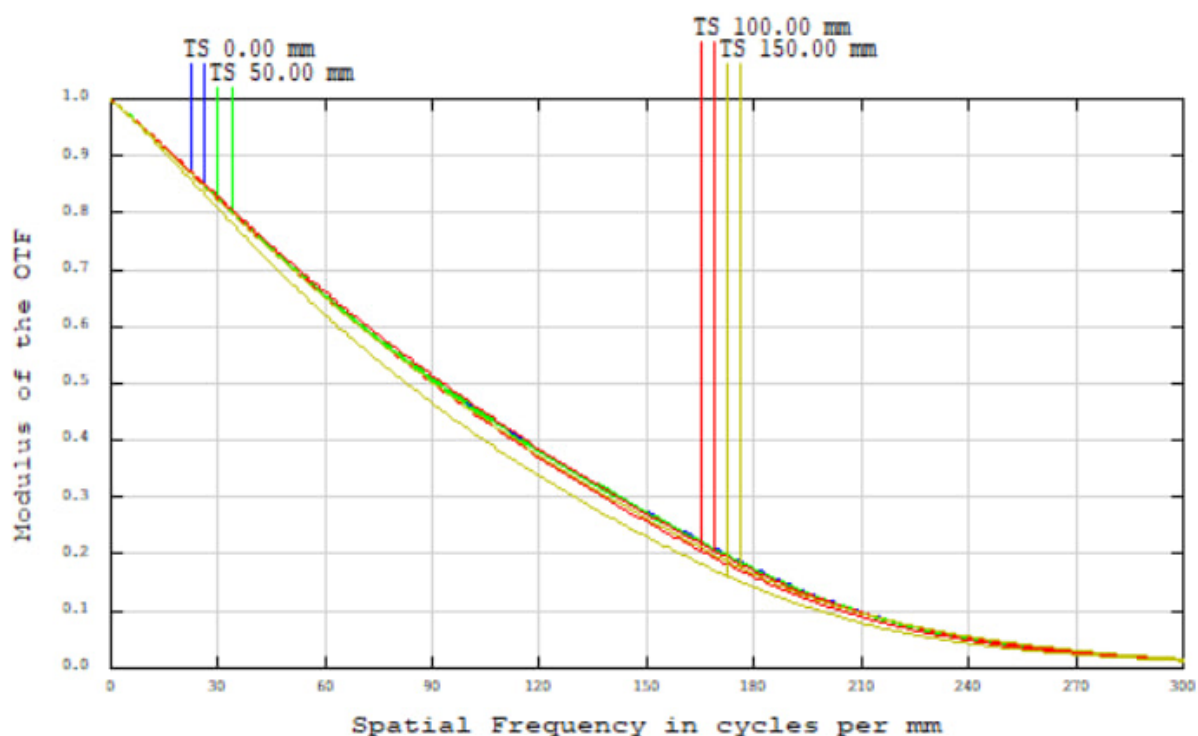


Рис. 3.13 – МПФ TECHSPEC 50mm SWIR Lens

Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата

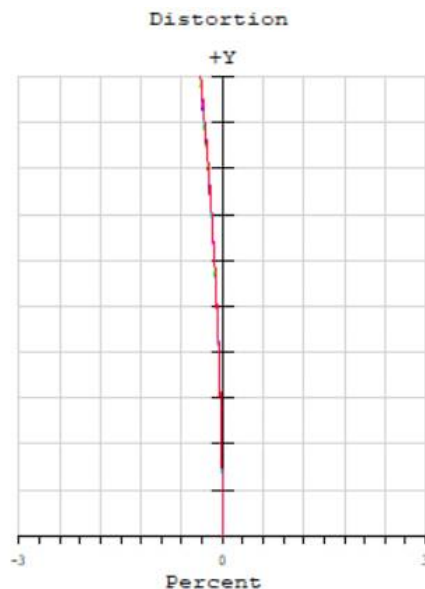


Рис. 3.14 – Графік дисторсії TECHSPEC 50mm SWIR Lens

В результаті аналізу комерційного варіанта об’єктива було визначено, що МПФ на просторовій частоті 50 ліній/мм знаходиться в межах 0,6...0,73, показники контрасту двох об’єктивів майже ідентичні. Відносна дисторсія комерційного зразка – 0,5%, що менше за показник розрахованого об’єктива. Це пояснюється тим, що під час параметричного синтезу відносна дисторсія була обмежена на рівня 3% (отримане значення – 2,6%).

При порівнянні комерційного та проєкційного об’єктивів можна зробити висновок, що дві моделі забезпечують високі показники якості зображення у поліхроматичному випроміненні. Оскільки відносний отвір синтезованого в даному проєкті об’єктива перевищує відносний отвір комерційного зразка в 1,4 рази, то опроміненість його матриці буде практично вдвічі перевищувати опроміненість матриці комерційного аналога.

## 2.5. Енергетичні розрахунки

Енергетичні розрахунки дозволяють оцінити ефективність ОС, виявити проблеми з розподілом світлової енергії, визначити зони втрат та оптимізувати систему для досягнення бажаного енергетичного розподілу.

					ПО91.00011.000 ПЗ	Лист
						45
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

### 3.5.1. Розрахунок коефіцієнту пропускання ОС

Коефіцієнт пропускання синтезованої ОС розраховується як добуток втрат світла через поверхневі покриття та втрат світла через поглинання.

$$\tau_{oc} = T_R * T_K, \quad (3.7)$$

де

$T_R = \prod_{i=1}^M (1 - R_i)$  – коефіцієнт пропускання лінз за рахунок втрат на відбивання;

$M$  – кількість поверхонь в ОС;

$R = \left(\frac{n_1 - n_2}{n_1 + n_2}\right)^2$  – френелівське відбиття на межі поділу;

$T_K = (1 - \alpha)^d$  – коефіцієнт пропускання лінз за рахунок втрат на поглинання;

$\alpha$  – коефіцієнт поглинання світла;

$d$  – товщина оптичних елементів системи в сантиметрах.

При використанні багатошарового просвітляючого покриття коефіцієнт відбиття  $R$  може бути зменшено до 0,01 у використаному спектральному діапазоні:

$$T_R = (1 - 0,01)^{14} = 0,86; \quad (3.8)$$

$$T_K = (1 - 0,01)^{3,7} = 0,93; \quad (3.9)$$

$$\tau_{oc} = 0,86 * 0,96 = 0,83. \quad (3.10)$$

Отже, при використанні багатошарового просвітляючого покриття коефіцієнт пропускання для всієї ОС становитиме біля 83%.

### 3.5.2. Розрахунок опроміненості на площині матриці

Розрахунок опроміненості на площині матриці дозволяє визначити значення світлової енергії на поверхні матриці камери:

$$E = \frac{1}{4} \pi \tau_{oc} L \left(\frac{D}{f}\right)^2, \quad (3.11)$$

					ПО91.00011.000 ПЗ	Лист
						46
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

де

$\tau_{oc}$  – коефіцієнт пропускання для ОС;

$L$  – енергетична яскравість (променистість) предмета;

$\frac{D}{f_i}$  – відносний отвір.

Типова освітленість предметів в нормальних умовах в виробничому приміщенні може варіюватися. Зазвичай при комбінованому освітленні вона становить від 300 до 750 лк (при середній точності) [28]. Для розрахунку було вибрано значення в 500 лк, або  $3,95 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 * \text{ср}}$ :

$$E = \frac{1}{4} * \pi * 0,83 * 3,95 * \frac{1^2}{2} = 0,64 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}. \quad (3.12)$$

Опроміненість на площині матриці приладу становить  $0,64 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$ . Для покращення цього результату за потреби можна поставити окреме (додаткове) джерело випромінювання.

## 2.6. Висновки до розділу 3

1. В результаті проведеного параметричного синтезу була отримана дев'ятилінзова ОС SWIR-об'єктива, яка призначена в спектральному діапазоні 0,8-1,8 мкм з фокусною відстанню 50 мм та відносним отвором 1:2. Ця система була розрахована методом глобальної оптимізації, а саме методом диференційної еволюції в програмі PODIL.
2. Проведений в програмі Aber абераційний аналіз дозволив встановити, що знайдена ОС забезпечує високу якість зображення. Так, графік дифракційної МПФ в поліхроматичному світлі досягає просторової частоти 300 ліній/мм.
3. Контраст на просторовій частоті 50 ліній/мм знаходиться в межах 0,6-0,72. По всьому полю зображення відносна дисторсія об'єкту не перевищує 2,7 %.
4. При використанні багат шарового просвітлюючого покриття коефіцієнт пропускання для всієї ОС дорівнює 83 %. Типова опроміненість на площині матриці приладу становитиме  $0,64 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$ .

					<b>ПО91.00011.000 ПЗ</b>	Лист
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		47

## РОЗДІЛ 4. КОНСТРУКТОРСЬКІ РОЗРОБКИ

Прилад складається з розрахованого об'єктива та вибраної комерційної моделі NIT SenS 1280 з датчиком NSC1901-T-SI, камера має змогу підключатися до комп'ютера (ПК).

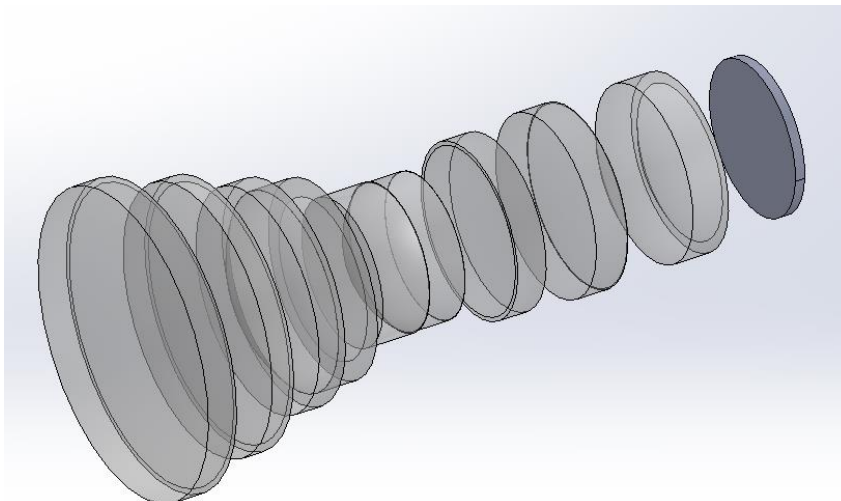


Рис. 4.2 – Тривимірна модель ОС, сформована в програмі SolidWorks

Особливості конструкції такі:

- корпус об'єктива складається з двох частин, які закріплюються між собою за допомогою різьби;
- лінзи ОС закріплюються в корпусі за допомогою притискних та різьбових кілець;
- корпус об'єктива та корпус приймача випромінення мають різьбове з'єднання;
- корпус приймача випромінення містить датчик InGaAs та електронний блок;
- задня частина корпусу ПВ оснащена роз'ємом USB та має роз'єм для живлення.

Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата

ПО91.00011.000 ПЗ

Лист

48

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. В результаті дипломного проєкту було розроблено прилад для спостереження за предметами в короткохвильовому діапазоні.
2. Проведений аналізу сучасної літератури дозволив встановити типові комерційні моделі короткохвильових інфрачервоних об'єктивів та відповідних приймачів.
3. В другому розділі було проведено обґрунтування функціональної схеми та був описаний принцип дії приладу. Як приймач випромінення було обрано матрицю InGaAs з роздільною здатністю  $1280 \times 1024$ .
4. Проведений габаритний розрахунок приладу дозволив встановити фокусну відстань та відносний отвір ОС параметричного об'єктива.
5. В результаті параметричного синтезу системи було отримано дев'ятилінзову систему з фокусною відстанню біля 50 мм, відносним отвором 1:2 та лінійним полем зору 328 мм при віддаленні площини предметів 1000 мм.
6. Оцінка якості зображення показала високі значення контрасту зображення дифракційної МПФ. Так, в поліхроматичному світлі контраст досягає просторової частоти 300 ліній/мм. На просторовій частоті 50 ліній/мм значення МПФ знаходиться в межах 0,6...0,72. По всьому полю зображення відносна дисторсія не перевищує 2,7 %.
7. В результаті порівняння розрахованого об'єктива з комерційним зразком було виявлено, що обидва варіанти мають високі та практично ідентичні значення МПФ. Комерційний зразок має кращий показник дисторсії 0,5 %, проте синтезований об'єктив має перевагу в кількості лінз (9 замість 10) та більший відносний отвір (1:2 замість 1:2,8 відповідно).
8. При використанні багат шарового просвітляючого покриття коефіцієнт пропускання для всієї ОС дорівнює 83 %, а типова опроміненість матриці при енергетичній яскравості предмета  $3,95 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{ср}}$  становитиме  $0,64 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$ .
9. Таким чином, вимоги технічного завдання виконано у повному обсязі.

					ПО91.00011.000 ПЗ	Лист
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		49

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Лавренюк Д.М., Сокурєнко В.М. Автоматизований розрахунок проєкційного об'єктива для короткохвильового інфрачервоного діапазону. – 2023.
2. Колобродов В. Г. Хвильова оптика. Частина 1. Електромагнітна теорія світла та інтерференція. – 2017.
3. R. A. Smith, F. E. Jones, R. P. Chasmar, S. F. Singer; The Detection and Measurement of Infrared Radiation. Physics Today 1 April 1958; 11 (4): 43–44.
4. Herschel, William. "Experiments on the Refrangibility of the Invisible Rays of the Sun. By William Herschel, LL. D. F. R. S." Philosophical Transactions of the Royal Society of London, vol. 90, 1800, pp. 284–92. JSTOR
5. Rogalski, A.. "History of infrared detectors" Opto-Electronics Review 20, no. 3 (2012): 279-308. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://doi.org/10.2478/s11772-012-0037-7>
6. Переносний комплекс нічного бачення "Вампір" [Електронний ресурс] // MIGHTY NETWORKS – 2023. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.wearethemighty.com/popular/night-vision-goggles-facts/>
7. Історія розвитку інфрачервоного опалення [Електронний ресурс] // Teplov – 2016. – Режим доступу до ресурсу: <https://teplov.com.ua/news/view/134>
8. Experimental Methods in the Physical Sciences | Optical Radiometry for Ocean Climate Measurements | [Електронний ресурс] // ScienceDirect.com by Elsevier – 2014. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.sciencedirect.com/topics/physics-and-astronomy/infrared-radiation>
9. Інфрачервоний спектр [Електронний ресурс] // Sunex – 2021. – Режим доступу до ресурсу: <https://sunex.com/2021/02/17/swir/>
10. What is SWIR Imaging? [Електронний ресурс] // Photonic Science – 2020. – Режим доступу до ресурсу: <https://photonicscience.com/what-is-swir-imaging/>
11. H2O absorption analysis with Allied Vision's Goldeye SWIR cameras [Електронний ресурс] // Allied Vision – 2022. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.alliedvision.com/en/news/case-studies/h2o-absorption-analysis/>

					ПО91.00011.000 ПЗ	Лист
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		50

12. Вода через SWIR об'єктив [Електронний ресурс] // Midwest Optical Systems – 2020. – Режим доступу до ресурсу: [https://midopt.com/landing\\_page/swir-imaging-with-midopt-filters/](https://midopt.com/landing_page/swir-imaging-with-midopt-filters/)
13. Contaminant Detection Using SWIR Camera Technology [Електронний ресурс] // Princeton Infrared Technologies – 2020. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.princetonirtech.com/applications/contaminant-detection-in-swir>
14. Three reasons for using SWIR infrared imaging to improve quality control in the food and beverage industry [Електронний ресурс] // Lynred.com – 2021. – Режим доступу до ресурсу: <https://lynred.com/blog/three-reasons-using-swir-infrared-imaging-improve-quality-control-food-and-beverage-industry>
15. Kamau M., Hecker C., Lievens C. Use of Short-Wave Infrared Reflectance (SWIR) Spectroscopy to Characterize Hydrothermal alteration minerals in Olkari a Geothermal System // Proceedings, 45th Workshop on Geothermal Reservoir Engineering. Kenya. – 2020. – С. 1-15.
16. York S. InGaAs SWIR Cameras Open New Opportunities // Photonics Spectra. – 2014. – Т. 48. – С. 55-58.
17. See Beyond Visible [Електронний ресурс] // Hamamatsu Photonics K.K. and its affiliates // Режим доступу до ресурсу: [https://www.hamamatsu.com/content/dam/hamamatsu-photonics/sites/static/hc/resources/webinars/SWIR\\_intro\\_V103.pdf](https://www.hamamatsu.com/content/dam/hamamatsu-photonics/sites/static/hc/resources/webinars/SWIR_intro_V103.pdf)
18. Tsuboi S., Jin T. Shortwave-infrared (SWIR) fluorescence molecular imaging using indocyanine green–antibody conjugates for the optical diagnostics of cancerous tumours // RSC advances. – 2020. – Т. 10. – №. 47. – С. 28171-28179.
19. Could quantum dots change in vivo imaging? [Електронний ресурс] // Teledyne Princeton Instruments – 2021. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.princetoninstruments.com/learn/swir-nirii/in-vivo-imaging-swir-emitting-quantum-dots>

- 20 White Paper: Short Wave Infrared (SWIR) for Surveillance Applications in Defense [Електронний ресурс] // ASP Laser Inc. – 2016. – Режим доступу до ресурсу: [https://www.alliedscientificpro.com/blog/welcome-to-our-blogs-1/white-paper-short-wave-infrared-swir-for-surveillance-applications-in-defense-137#blog\\_content](https://www.alliedscientificpro.com/blog/welcome-to-our-blogs-1/white-paper-short-wave-infrared-swir-for-surveillance-applications-in-defense-137#blog_content)
- 21 Колобродов В. Г., Микитенко В. І., Балінський Є. Г. Ефективність інфрачервоних оптико-електронних систем спостереження. – 2017.
- 22 Saauman M. Materials for infrared optics [Електронний ресурс] // OPTI 521 Tutorial. – 2016. – Режим доступу до ресурсу: <https://wp.optics.arizona.edu/optomech/wpcontent/uploads/sites/53/2016/10/Saauman-521-Tutorial.pdf>
- 23 Non-Visible Imaging: SWIR Lenses [Електронний ресурс] // Clearview Imaging – 2021. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.clearview-imaging.com/en/blog/non-visible-imaging-swir-lenses#:~:text=The%20short%20answer%20is%20yes,t%20get%20the%20best%20images>
- 24 What is SWIR? [Електронний ресурс] // ACUROS, SWIR VISION SYSTEMS – Режим доступу до ресурсу: <https://www.swirvisionsystems.com/about/what-is-swir/#:~:text=SWIR%20generally%20refers%20to%20the,the%20upper%20limit%20of%20silicon>
- 25 Sony IMX990 [Електронний ресурс] // Sony Semiconductor Solutions Corporation – Режим доступу до ресурсу: <https://www.sony-semicon.com/en/products/is/industry/swir.html>
- 26 NIT SenS 1280 // Vital Vision Technology Pte Ltd – Режим доступу до ресурсу: <https://vitalvisiontechnology.com/sens-1280/#1629878451857-7b46a456-c612>
- 27 TECHSPEC 50mm SWIR Series Fixed Focal Length Lens M42 [Електронний ресурс] // Edmund Optics – Режим доступу до ресурсу: <https://www.edmundoptics.eu/f/swir-series-fixed-focal-length-lenses/14403/>
- 28 В. Ц. Жидецький, В. С. Джигирей, О. В. Мельников. Основи охорони праці. — Вид. 2-е, стереотипне. — Львів: Афіша, 2000. — 348 с.

# Додатки

					ПО91.00011.000 ПЗ	Лист
						53
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

## Параметри TECHSPEC 50mm SWIR Lens, M42 компанії Edmund Optics



#83-167

### TECHSPEC® 50mm SWIR Series Fixed Focal Length Lens, M42

x 1.0

#83-167



50mm SWIR Fixed Focal Length Lens

TECHSPEC® SWIR Series Fixed Focal Length Imaging Lenses are compact, lightweight lenses designed for applications operating in the short-wave infrared (SWIR) spectra, ranging from 0.9 – 1.7 $\mu$ m. These lenses feature SWIR-optimized optical designs, glass types, and AR coatings from 0.8 – 1.8 $\mu$ m. Designed for high throughput and superior performance, the SWIR Series lenses are commercial-off-the shelf (COTS) lenses with low  $f/\#$ 's, covering large 25mm sensors. TECHSPEC® SWIR Series Fixed Focal Length Lenses are ideal for [range of applications](#) including inspection, sorting, and quality control.

Outer Diameter (mm):	56.0
Flange Distance (mm):	5.8
Note:	Lens will cover larger 25.6mm and 20.5mm line scan sensors.
Type:	Fixed Focal Length Lens
Coating:	0.8 - 1.8 $\mu$ m BBAR
Imaging Lens Type:	SWIR Lens
Storage Temperature (°C):	-20 to +60 For questions regarding operating temperature please contact our support team

#### Optical



#83-167

Subject to technical modifications (14-06-2023)

101 East Gloucester Pike, Barrington, NJ 08007-1380 USA  
 Phone: 1-800-363-1992 or 1-856-573-6250, Fax: 1-856-573-6295  
[www.edmundoptics.eu](http://www.edmundoptics.eu)

ПО91.00011.000 ПЗ

Лист

54

Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата
-------	------	----------	--------	------

Horizontal Field of View, 1/2" Sensor:	36.3mm - 7.3°
Horizontal Field of View, 2/3" Sensor:	50.0mm - 10.0°
Horizontal Field of View, 1/3" Sensor:	27.2mm - 5.5°
Horizontal Field of View, 1" Sensor:	72.7mm - 14.6°
Maximum Image Circle (mm):	25.60
Numerical Aperture NA, Object Side:	0.037
Horizontal Field of View @ Max Sensor Format:	98.5mm - 19.7°
Horizontal Field of View, 4/3" Sensor:	98.5mm - 19.7°
Horizontal Field of View, 1.1" Sensor:	80.7mm - 16.2°
Horizontal Field of View, 1/1.8" Sensor:	40.9mm - 8.2°
Horizontal Field of View, 1/2.5" Sensor:	32.9mm - 6.6°
Focal Length FL (mm):	50.00
Primary Magnification PMAG:	0.177
Maximum Sensor Format:	4/3"
Working Distance (mm):	275 - ∞
Aperture (f/#):	f/2.15 - f/16
Coating Specification:	0.8 - 1.8μm BBAR
Entrance Pupil Position (mm):	27.75
Horizontal Field of View, 1/4" Sensor:	20.4mm - 4.1°
Object Space Principal Plane (mm):	47.17
Image Space Principal Plane (mm):	-28.14
Field of View at Max Sensor Format:	Horizontal: 116.8mm - 23.3° Vertical: 87.4mm - 17.5° Diagonal: 146.3mm - 29°
Maximum Distortion (%):	-1.02
Exit Pupil Position (mm):	-59.88
Horizontal Field of View, 25.6mm Sensor:	140.7mm - 29.8°
Horizontal Field of View, 20.5mm Sensor:	112.3mm - 23.4°
Lens Wavelength Range:	SWIR

### Mechanical

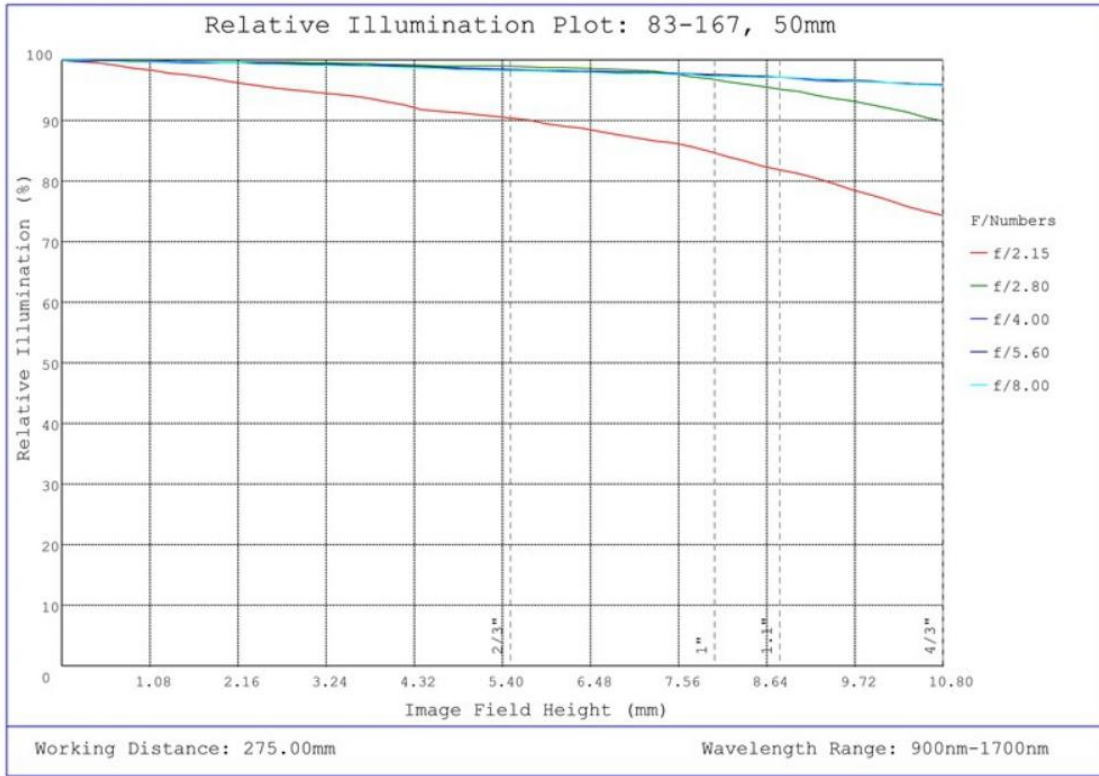
Iris Option:	Variable
Length (mm):	124.00
Filter Thread:	M43 x 0.75 (Female)
Maximum Diameter (mm):	56
Weight (g):	572
Maximum Rear Protrusion (mm):	0
Number of Elements (Groups):	10 (6)
Mount:	M42 x 1.0



#83-167, 50mm SWIR Series Fixed Focal Length Lens, M42 x 1.0, Distortion Plot

Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата

ПО91.00011.000 ПЗ



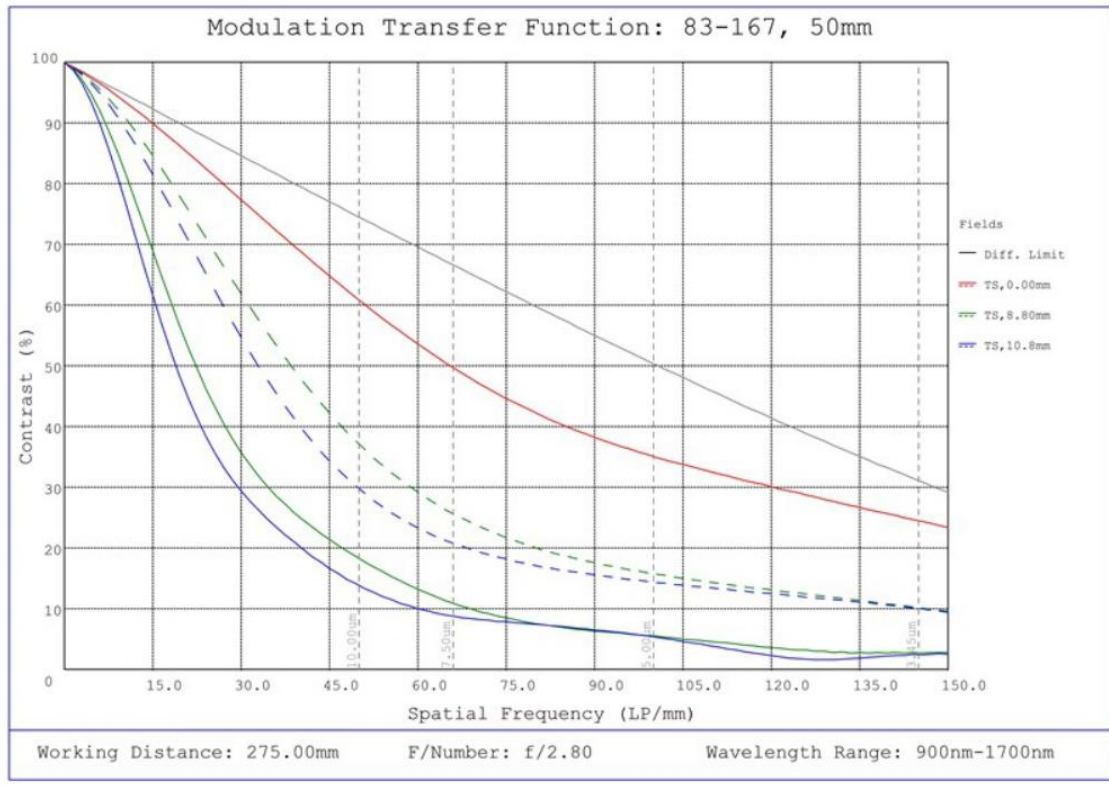
#83-167, 50mm SWIR Series Fixed Focal Length Lens, M42 x 1.0, Relative Illumination Plot

					ПО91.00011.000 ПЗ	Лист
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		57



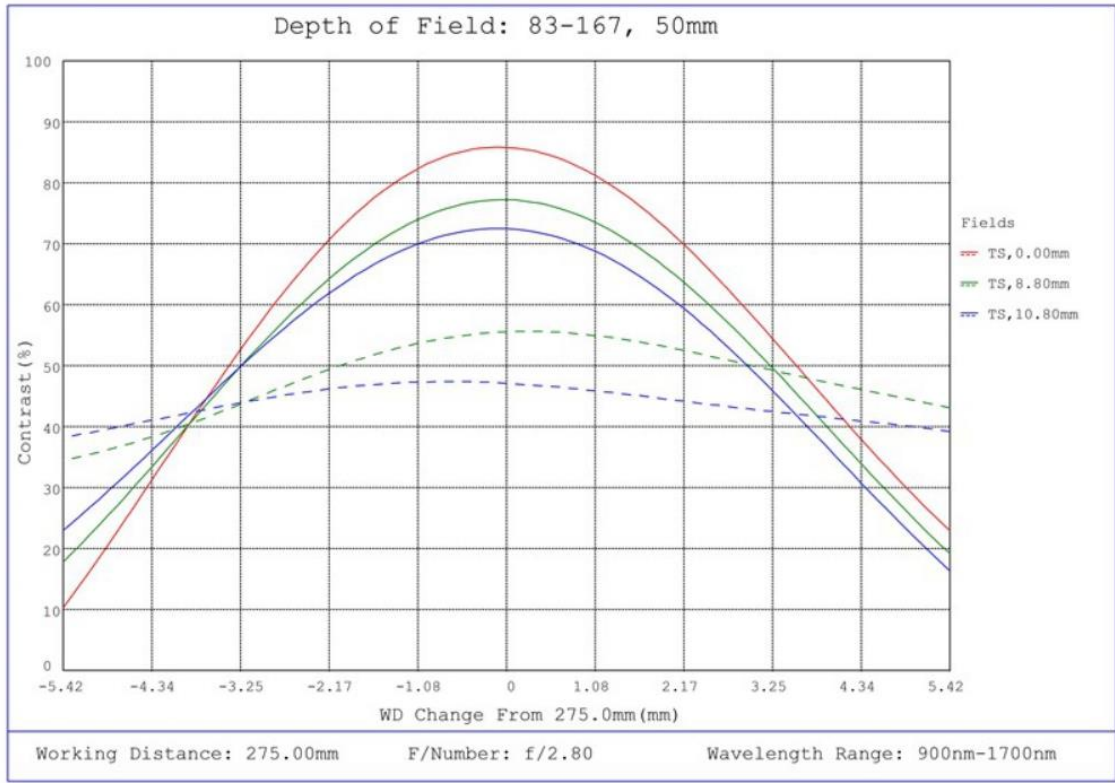
#83-167, 50mm SWIR Series Fixed Focal Length Lens, M42 x 1.0, Working Distance versus Field of View Plot

Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата



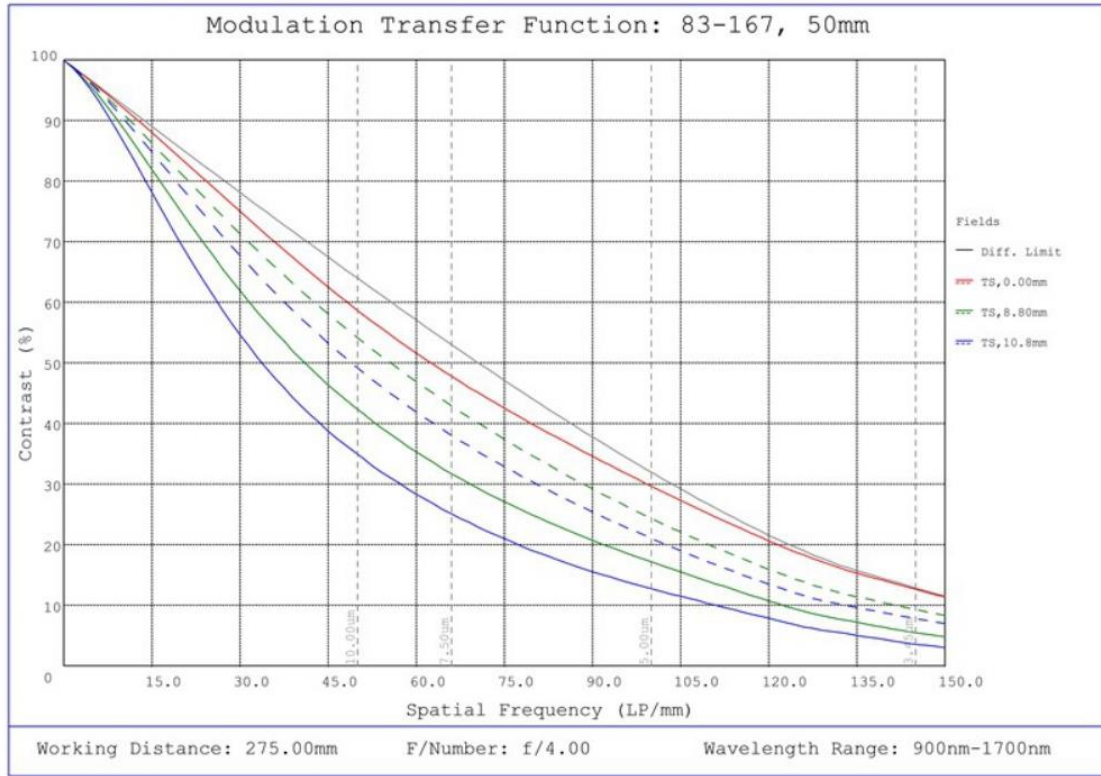
#83-167, 50mm SWIR Series Fixed Focal Length Lens, M42 x 1.0, Modulated Transfer Function (MTF) Plot, 275mm Working Distance, f2.8

					<b>ПО91.00011.000 ПЗ</b>	Лист 59
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		



#83-167, 50mm SWIR Series Fixed Focal Length Lens, M42 x 1.0, Depth of Field Plot, 275mm Working Distance, f2.8

					<b>ПО91.00011.000 ПЗ</b>	Лист 60
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		



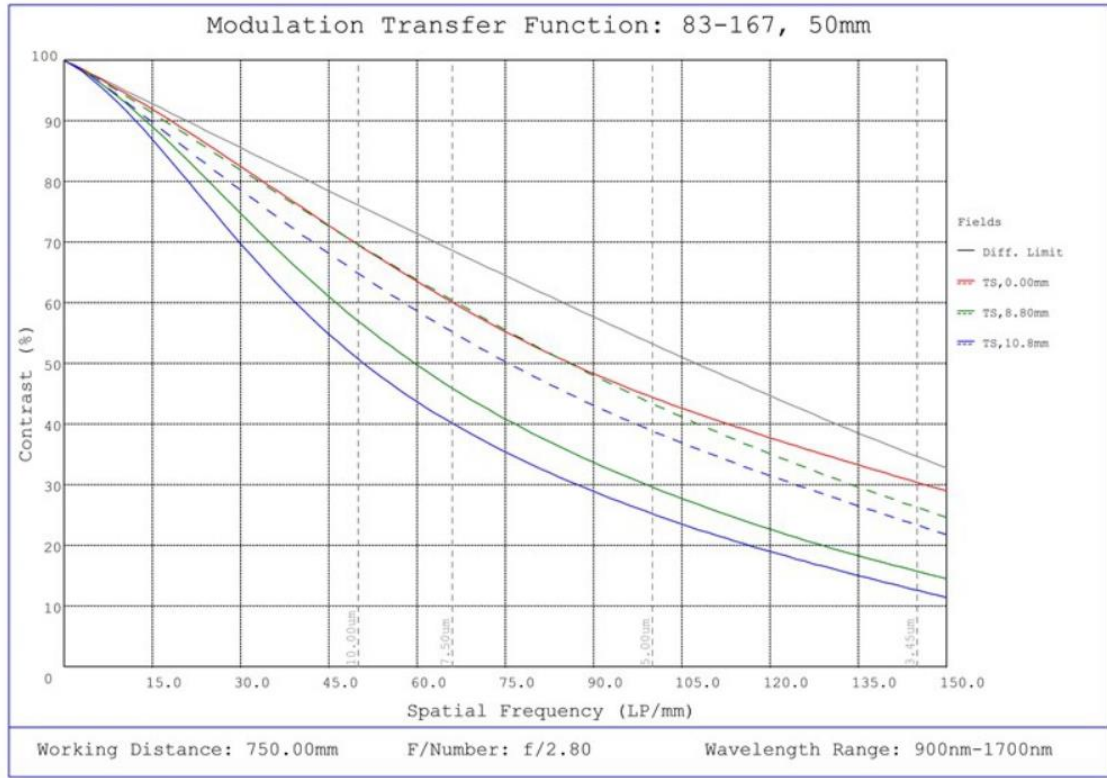
#83-167, 50mm SWIR Series Fixed Focal Length Lens, M42 x 1.0, Modulated Transfer Function (MTF) Plot, 275mm Working Distance, f4

					<b>ПО91.00011.000 ПЗ</b>	Лист 61
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		



#83-167, 50mm SWIR Series Fixed Focal Length Lens, M42 x 1.0, Depth of Field Plot, 275mm Working Distance, f4

					<b>ПО91.00011.000 ПЗ</b>	Лист 62
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		



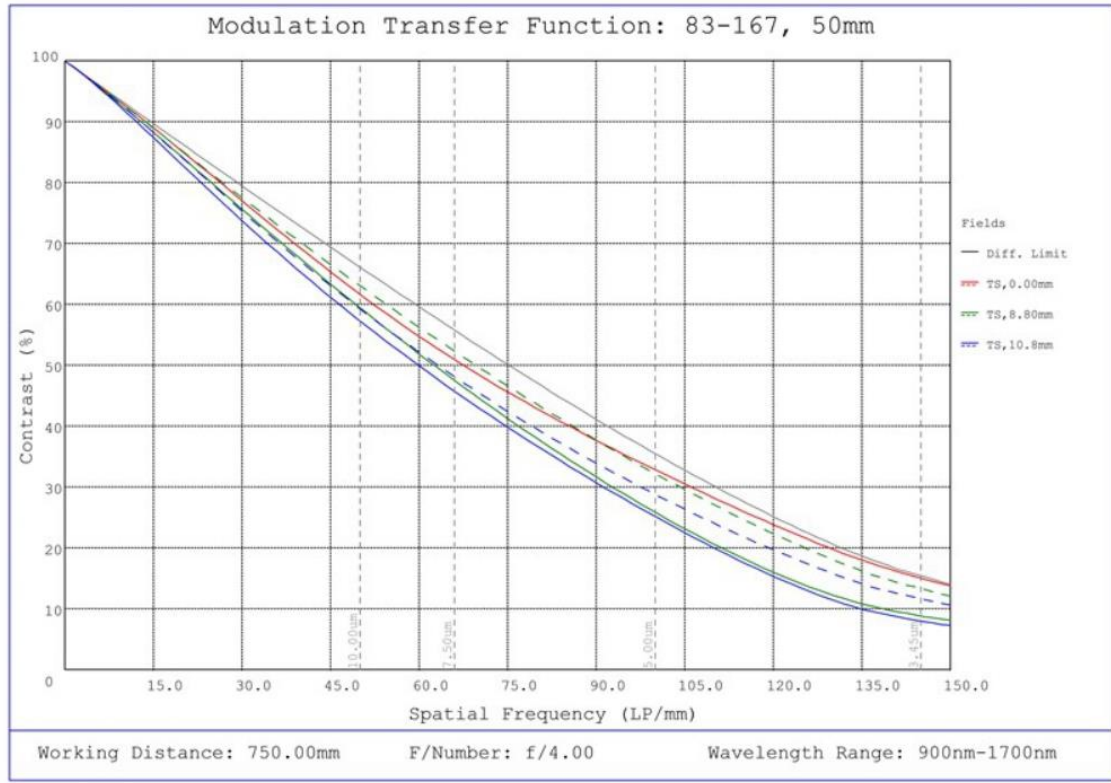
#83-167, 50mm SWIR Series Fixed Focal Length Lens, M42 x 1.0, Modulated Transfer Function (MTF) Plot, 750mm Working Distance, f2.8

					<b>ПО91.00011.000 ПЗ</b>	Лист
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		63



#83-167, 50mm SWIR Series Fixed Focal Length Lens, M42 x 1.0, Depth of Field Plot, 750mm Working Distance, f2.8

					<b>ПО91.00011.000 ПЗ</b>	Лист 64
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		



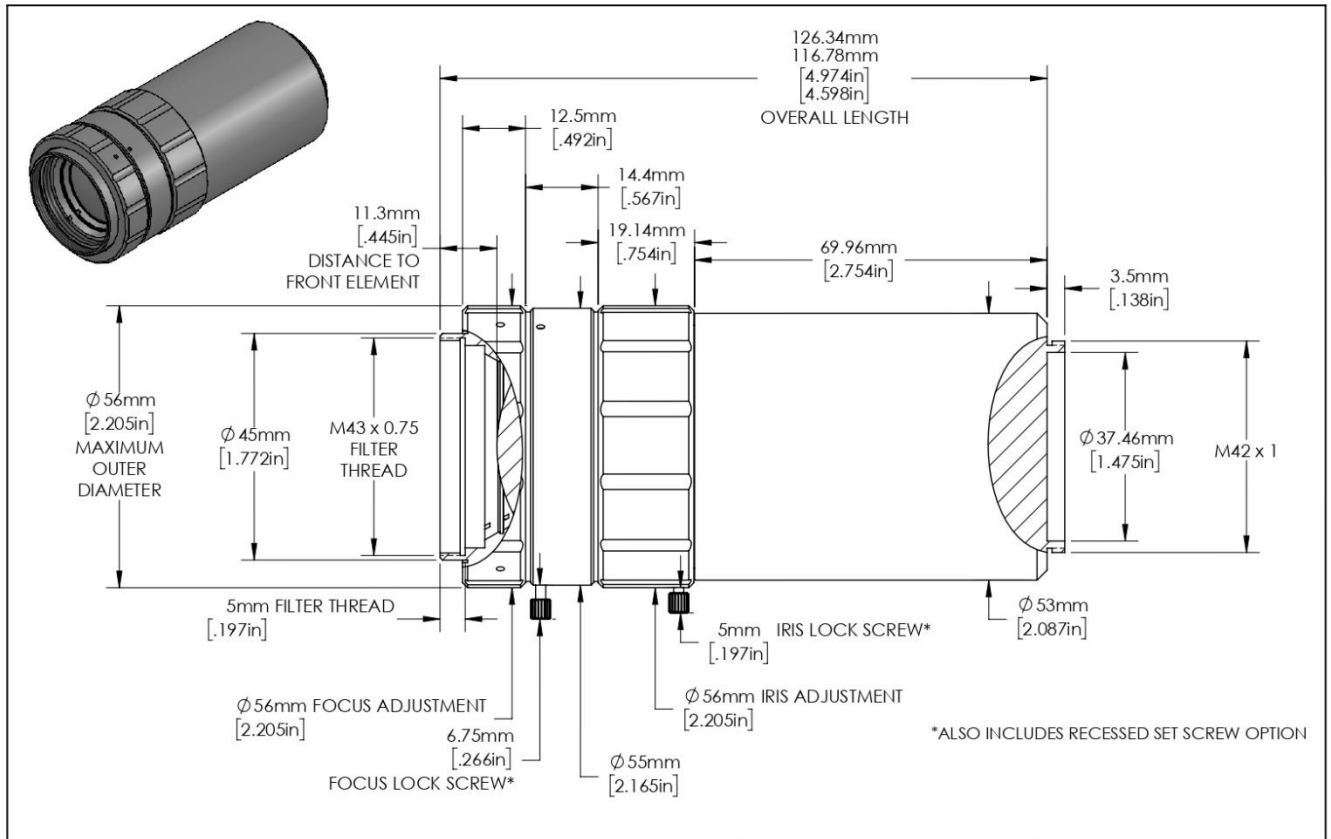
#83-167, 50mm SWIR Series Fixed Focal Length Lens, M42 x 1.0, Modulated Transfer Function (MTF) Plot, 750mm Working Distance, f4

Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата



#83-167, 50mm SWIR Series Fixed Focal Length Lens, M42 x 1.0, Depth of Field Plot, 750mm Working Distance, f4

					<b>ПО91.00011.000 ПЗ</b>	Лист 66
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		



**FOR INFORMATION ONLY:  
DO NOT MANUFACTURE  
PARTS TO THIS DRAWING**

SPECIFICATIONS SUBJECT TO CHANGE WITHOUT NOTICE. DIMENSIONS ARE FOR REFERENCE ONLY. FOR DETAILED SPECIFICATIONS, PLEASE REFER TO THE SPEC SHEET.

**EO**® Edmund Optics®

TITLE 50mm SWIR Series Fixed Focal Length Lens, M42 x 1.0

DWG NO 83167

SHEET 1 OF 1

ПО91.00011.000 ПЗ

Лист

67

Змін. Лист № докум. Підпис Дата



June 14, 2023

To Whom It May Concern,

This document certifies that the product stated below has been reviewed as requested by Edmund Optics:

<i>Stock No.</i>	<i>Description</i>
83-167	50mm SWIR Series Fixed Focal Length Lens, M42 x 1.0

This item is EU RoHS (2011/65/EU) compliant without the use of exemptions.

This certification means that:

- EO's suppliers have confirmed the material composition of this product.
- EO has implemented rigorous procedures to document this compliance.
- The information provided may, or may not, be based upon actual test data, or on information from our Vendors, Raw Material Suppliers or Subcontractors.

Jay Budd, Director of Corporate Compliance  
June 14, 2023

Edmund Optics Inc. - 101 E Gloucester Pike, Barrington, NJ 08007 | 1-800-363-1992 | [Compliance@edmundoptics.com](mailto:Compliance@edmundoptics.com)

					ПО91.00011.000 ПЗ	Лист
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		68



June 14, 2023

<i>Stock No.</i>	<i>Description</i>
83-167	50mm SWIR Series Fixed Focal Length Lens, M42 x 1.0

Edmund Optics certifies that all articles included in this shipment are in compliance with the terms and conditions of this order. The company also certifies that the articles included in this shipment are in accordance to all agreed upon specifications and quality assurance provisions. Please call 1-800-363-1992 should any questions arise from this shipment.

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Jeff Harvey'.

Jeff Harvey- EVP of Operations

					П091.00011.000 ПЗ	Лист
						69
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Параметри SenS 1280 компанії New Imaging Technologies



**NEW RELEASE**



# SenS 1280

## High Sensitivity SWIR camera

1280x1024 Pixels Resolution 10µm Pitch  
Near Infrared Imaging up to 1700nm  
Read-out noise 27e-



[www.new-imaging-technologies.com](http://www.new-imaging-technologies.com)

					ПО91.00011.000 ПЗ	Лист
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		70

## ▶ Key Features

- ☐ Linear response mode: High sensitivity
- ☐ High QE InGaAs from 900nm to 1700nm
- ☐ SXGA resolution , 1280\*1024 pixels
- ☐ Bad Pixels Replacement and Non Uniformity Correction
- ☐ USB3.0 & CamLink (July) interface

## ▶ Applications

- ☐ Active Imaging
- ☐ Laser Beam profiling
- ☐ Metrology (microscopy, hyperspectral)
- ☐ Process control (industry, semiconductors, food, ...)
- ☐ Defense and security
- ☐ Airborne cameras (UAV)

*Imagine yours...*

## ▶ Technical Specifications

<b>Sensor</b>	NSC1901-T-SI	<b>Partial Reading Mode</b>	ROI
<b>Material</b>	InGaAs		Selective line scanning
<b>Resolution</b>	1280 x 1024 pixels	<b>Integration Time</b>	10 μs to 220ms
<b>Pixel size</b>	10 μm x 10 μm	<b>Trigger</b>	IN/OUT (LVTTTL)
<b>Spectral response</b>	0.9 to 1.7 μm	<b>Trigger delay</b>	Adjustable
<b>Response</b>	Linear (CTIA) Low & High Gain	<b>Dimensions</b>	58 * 58 * 70 mm
<b>Modes</b>	ITR, CDS, ROI	<b>Weight</b>	< 400 g
<b>QE</b>	>85%	<b>Lens mount</b>	C-Mount native
<b>Output</b>	USB3.0 - CamLink (July)	<b>Operating Temp</b>	-40 °C to + 71 °C
<b>Frame rate</b>	60Hz full frame	<b>GUI</b>	NITVISION
		<b>SDK</b>	USBWindows & Linux

### Operating Modes

	CTIA High Gain	CTIA Low Gain
Sensor Noise	typ. 27e-	155e-
Well capacity	> 11Ke-	> 210Ke-
Dynamic Range	52dB	62dB

Products and specifications are subject to change without notice.

▶ [info@new-imaging-technologies.com](mailto:info@new-imaging-technologies.com)

SenS 1280-Flyer-V1.0

ISO 9001  
BUREAU VERITAS  
Certification



1 Impasse de la noisette, Bat D-1er Etage  
91370 Verrières Le Buisson, France  
Tel +33(0) 1 64 47 88 58

П091.00011.000 ПЗ

Лист

71

Змін. Лист № докум. Підпис Дата