

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»
Приладобудівний факультет
Кафедра оптичних та оптико-електронних приладів

До захисту допущено:

Завідувач кафедри

_____ Валентин КОЛОБРОДОВ

«___» _____ 20__ р.

Дипломний проєкт

на здобуття ступеня бакалавра

за освітньо-професійною програмою «Фотоніка та оптоінформатика»
спеціальності 152 «Метрологія та інформаційно вимірювальна техніка»
на тему: «Поляризатор для оптико-електронних систем тепловізора»

Виконав:

студент IV курсу, групи ПН-61-3

Доцик Андрій Ігорович _____

Керівник:

д. т. н., професор,

Колобродов Валентин Георгійович _____

Рецензент:

д. т. н., професор,

Антонюк Віктор Степанович _____

Засвідчую, що у цьому дипломному проєкті немає запозичень з праць інших авторів без відповідних посилань.

Студент (-ка) _____

Київ – 2020 року

Пояснювальна записка
до дипломного проєкту
на тему: «Поляризатор для оптико-електронних систем
тепловізора»

Київ – 2020 року

Зміст

Вступ.....	5
1. Огляд літературних джерел за темою проекту.....	6
1.1 Загальна інформація про тепловізори.....	6
1.2 Огляд ІЧ-поляризаторів.....	10
1.3. Фізичні основи поляризації.....	15
1.4 Особливості тепловізорів.....	17
1.5. Особливості оптики для ІЧ-діапазону.....	21
2. Опис оптичної системи та вибір її елементів.....	26
2.1 Вибір оптичної системи.....	26
2.2. Вибір елементів для оптичної системи.....	27
2.3. Опис конструкції.....	31
3. Габаритний та енергетичний розрахунок.....	34
3.1. Розрахунок оптичної системи.....	34
3.2. Енергетичний розрахунок.....	35
Висновок.....	36
Список літератури.....	37

					<i>ДП.ПН613. 00.000.ПЗ</i>	Аркуш
						4
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

Вступ

На даний момент системи тепlobачення є дуже поширеними і швидко розвиваються. Основним завданням таких систем є візуалізація невидимого інфрачервоного (ІЧ) випромінювання для різноманітних завдань, таких як: виявлення елементів перегріву електричних систем, втрат тепла у будівлях, медицині, військовій промисловості та інших напрямках.

До цих систем відноситься тепловізори. Всі володіють трьома основними конструкційними елементами до яких входить оптична система, приймач ІЧ-випромінювання, перетворювач сигналу.

Основним завданням даної дипломної роботи є створення поляризатора для оптико-електронних систем тепловізора, для чого було опрацьовано літературу з інформацією про основи тепlobачення, існуючі поляризатори для ІЧ-діапазону, фізичні основи поляризації для ІЧ-діапазону, а також існуючі оптичні системи для діапазону роботи тепловізорів.

					<i>ДП.ПН613. 00.000.ПЗ</i>	Аркуш
						5
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

1. Огляд літературних джерел за темою проекту

1.1 Загальна інформація про тепловізори

Тепловізор - це вимірюваний пристрій, який дозволяє в будь-який час доби бачити термічне (інфрачервоне) випромінювання поверхні предметів, вимірювати температуру в будь-якій точці поверхні з точністю 0,1 ° С і вище. Основним призначенням тепловізора є безконтактне вимірювання температури об'єктів неживої та живої природи, пошук неполадок обладнання, втрати тепла в будівлях, виявлення об'єктів. По суті це камера, яка реєструє лише ІЧ-випромінювання. Тепловізорні камери створюють чіткі теплові зображення на основі різниці температур. Найгарячіші місця зафарбовуються червоним, жовтим та оранжевими, холодніші в синій та чорному.

Сама термографія поділяється на два основних види:

- Телетермографія – це перетворення ІЧ-випромінювання від нагрітого тіла у електричний сигнал, який відображається на екрані.
- Контактна холестерична термографія – працює по принципу оптичних властивостей рідких кристалів, що проявляється зміною кольору при нанесенні їх на випромінюючу поверхню.

До провідних виробників таких пристроїв відносяться: NEC (Nippon avionics co LTD)– США/ Японія, Flir – США/Швеція/Естонія, Fluke – США, Testo AG – Німеччина, AGEMA - Швеція.

NEC R550

Інфрачервона камера високої роздільної здатності для професійної термографії. У даного пристрою є три режими з різною частотою: 120Гц, 60Гц, 30Гц. Дана камера дозволяє працювати з використанням поєднання різних режимів зображення (можна накладати на зображення в видимому діапазоні зображення в ІЧ-діапазоні). Також присутня функція «панорама», що дає

					ДП.ПН613. 00.000.ПЗ	Аркуш
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		6

можливість зберегти зображення у форматі JPEG збільшеною шириною зображення ніж може зняти камера за один раз, не використовуючи комп'ютор.

Дана модель виготовляється у двох конфігураціях: R550Pro і R550. R550Pro володіє діапазоном вимірювань від -40°C до $+2000^{\circ}\text{C}$. Ця конфігурація підходить для науково-дослідницьких робіт, для вимірювання в умовах високих температур і для прискореної реєстрації процесів. R550 призначена для меншого діапазону, що становить -40°C до $+650^{\circ}\text{C}$. Ідеально підходить для діагностування електрообладнання.

При використанні штатного об'єктива пристрій володіє полем зору, що становить $57 \times 42 \text{ см.}$, просторовою роздільною здатністю при нормальному режимі роботи 0.9 мм. і при ввімкненні надвисокої роздільної здатності 0.6 мм.

Основні властивості:

- Спектральний діапазон: $8-14 \text{ мкм.}$
- Розмір ІЧ-матриці: 640×480 пікселів
- Діапазон фокусування: від 10 см. До нескінченності

AGA-780 (AGEMA)

Свого часу найбільш поширеним на світовому ринку продукт компанії AGEMA. Ця модель є базовою, для якої розроблено три варіанти приймальної камери:

- Короткохвильова із приймачем випромінювання з InSb
- Довгохвильовий із приймачем випромінювання з HgCdTe
- Подвійна

Основний об'єктив (рис.1.1.1, 1) приймальної короткохвильової камери з відносним отвором $1:1.8$, складається з трьох кремнієвих лінз, фокусує випромінювання від об'єкта з відстані $0,95 \text{ м.}$ і до нескінченності. Після об'єктива ІЧ-випромінювання потрапляє на оптико-механічний сканувальний пристрій, який складається з двох пропускних призм, що обертаються окремими двигунами. Під час обертання призм і при використанні основного об'єктива поле зору тепловізора становить $10^{\circ} \times 10^{\circ}$. При зміні об'єктива на інші можна

					ДП.ПН613. 00.000.ПЗ	Аркуш
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		7

отримати такі поля зору: $2^\circ \times 2^\circ$, $25^\circ \times 25^\circ$, $40^\circ \times 40^\circ$. Моментальне поле зору, при

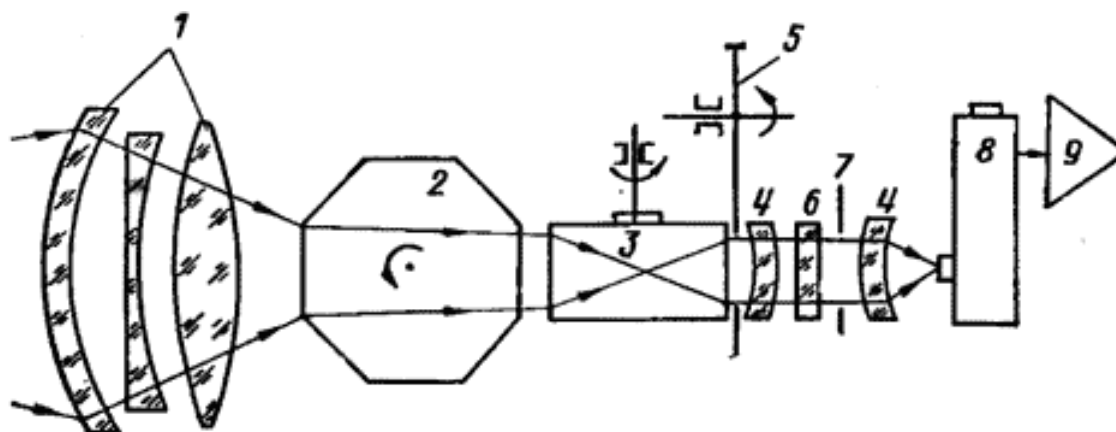


Рисунок 1.1.1. Схема АГА-780 (АГЕМА)

використанні основного об'єктива, становить 1.3мрад.

Для розширення діапазону робочих температур досліджуваних об'єктів використовується діафрагма (рис.1.1.1, 7). За найбільшої світлосили об'єктива можна досліджувати об'єкти, температура яких становить від -30°C до $+190^\circ\text{C}$. За мінімального розміру діафрагми світлосила об'єктива становить 1:14 і саме це дає можливість дослідження об'єктів з температурою від -30°C до 850°C . Зменшення світлосили об'єктива призводить до підвищення різкості, що є необхідним при дослідженні великих об'єктів. Також була передбачена можливість дослідження об'єктів з температурою до 2000°C за допомогою використання нейтрального світлофільтру (рис. 1.1.1, 6).

Лінза, що позначені на рис1.1.1 під номером 4 і розташована після елементів 6 і 7 (нейтральний світлофільтр і діафрагма відповідно) призначена для перетворення паралельного пучка в збіжний, який фокусується на приймачі випромінювання (рис. 1.1.1, 8), чутлива ділянка якого становить 0.35мм.

Піровідикон-3

Тепловізор Піровідикон-3 (рис.1.1.2) призначений для дослідження теплового випромінювання залізних доріг. Встановлюється на вагоні-лабораторії і має можливість запису термограми на відео.

До конструкції цього тепловізора входить чотири блоки:

- Тепловізорна камера з ІЧ-об'єктивом

					ДП.ПН613. 00.000.ПЗ	Аркуш
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		8

- Блок запам'ятовування інформації
- Блок живлення
- Відеоконтрольний пристрій

Тепловізорна камера перетворює ІЧ-випромінювання, яке потрапляє від досліджуваного об'єкта, в електричний сигнал, після чого цей сигнал підсилюється і формується у вигляді стандартного тепловізійного сигналу.

Досліджуваний об'єкт проектується на мішень приймача випромінювання за допомогою ІЧ-об'єктива. Піроелектрична мішень поглинає сфокусовану теплову енергію. У результаті поглинання на поверхні мішені формується тепловий рельєф, який формує електричні заряди на звороті піроелектричної мішені. Величина зарядів є пропорційною температурному рельєфу, який сформований на звороті.

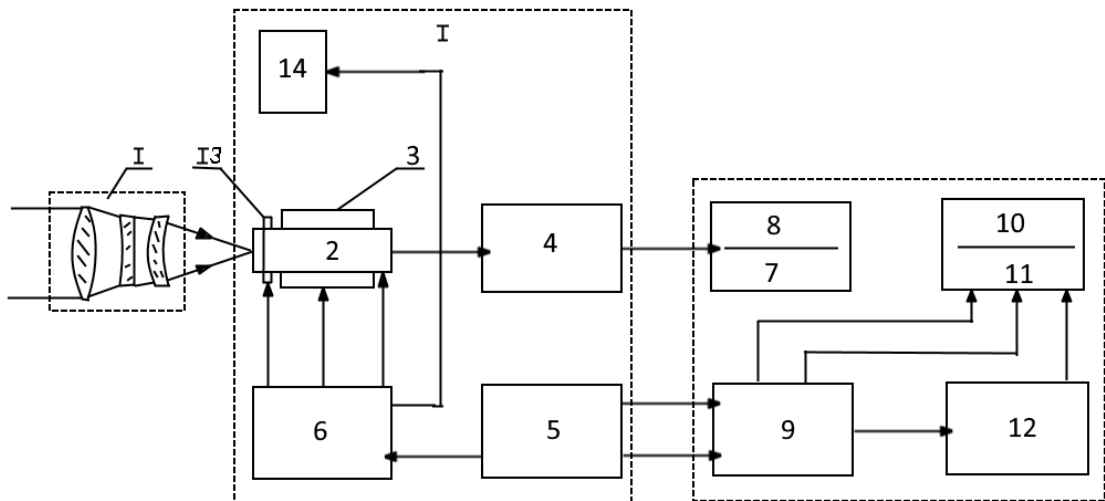


Рисунок 2.1.2. Схема Піровідикон-3

Результуючий потенціальний рельєф зчитується електронним променем, як у звичайному відеоконі. Під час зчитування відбувається стирання потенціального рельєфу за рахунок нанесення зарядів на поверхню мішені, тобто компенсація зарядів. Саме зчитування відбувається за рахунок визначення внесеної величини заряду на мішень. Сигнальна пластина сама собою представляє шар металу, нанесений на протилежну по відношенню до променя сторону мішені.

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

З цієї пластини сигнал потрапляє на відеопідсилювач, у якому відбувається підсилення струму сигналу мішені, його обробка і формування у вигляді стандартного ІЧ-сигналу сигналу. Блок запам'ятовування перетворює аналоговий сигнал у цифровий, запам'ятовує один кадр і переврдить його у стандартний теповізійний сигнал. [3]

1.2 Огляд ІЧ-поляризаторів

Широкодіапазонні поляризатори (WGP) на основі дротової сітки часто використовують при дослідженнях методами ІЧ-спектроскопії (середнього і дальнього діапазону ІЧ-випромінювання), що потребують отримання зображення з високим контрастом. Конструкція структури поляризатора виконана на тонкій кремнієвій підкладинці, яке має антирефлективне (AR) покриття, по запатентованому компанією Moxtek способу виготовлення структурованих компонентів із алюмінієвих плоских сіток. Moxtek WGP (рис.1.2.1) – поляризатори, які працюють в високочастотному і низькочастотному діапазоні ІЧ-діапазону частот і демонструє поліпшені характеристики у порівнянні з аналогічними продуктами конкурентів. Особливо це стосується контраста, забезпеченого за рахунок високого відношення стану поляризації між пройденим і поглинутим випромінюванням.



Рисунок 3.2.1. Moxtek WGP-поляризатори

					ДП.ПН613. 00.000.ПЗ	Аркуш
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		10

WGP використовуються в ІЧ-спектроскопії для дослідження характеристик діелектричних і металевих покриттів, аналізу двопронезаломлення матеріалів і для визначення коливальних мод у кристалах і структурованих плівках. Реальні поляризатори мають визначений контраст і тому світло з небажаними станами поляризації, призводять до зниження точності вимірювання. Конструкція WGP-поляризаторів має суттєві переваги перед іншими полягає у компактності, покращеному пропусканні світла, мінімальній зміні коефіцієнта пропускання при змінах кута падіння і довжини хвилі випромінювання, поліпшеній стабільності характеристик при використанні в умовах високої температури і в середовищах високої яскравості.

Поляризатори, виконані на основі дротової сітки, володіють багатьма перевагами перед іншими конструкційними рішеннями у випадках, коли їх використовують у ІЧ-спектроскопії. Хоча перші WGP-пристрої мали низький контраст, зараз такої проблеми немає. Для подолання данної проблеми Moxtek використовували AP-покриття для прозорих кремнієвих підкладинок конструкції збірки Nanowire із алюмінієвих дротових сіток.

Серія ІЧ-поляризаторів, розроблених по технологіях Moxtek, можуть бути виготовлені для вирішення різноманітних проблем. Вони можуть мати різну форму і розміри. ІЧ-поляризатор BIR04A High Contrast оптимізований для отримання максимального контрасту, у той час як BIR05A призначений для високошвидкісної передачі зображення, забезпечуючи її оптимальну ефективність.

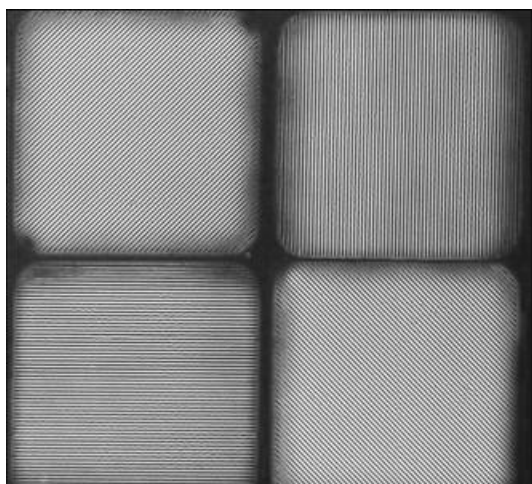


Рисунок 4.2.2.
Moxtek WGP-поляризатори

Піксель-поляризатори (рис.1.2.2) розроблені також по технології дротяної сітки (Moxtek Nanowire Technology). Піксельні-поляризатори доступні у вигляді конструкції, що складаються з двох, трьох або чотирьох елементів, які забезпечують різні стани поляризації. Вони використовують для поляриметричних досліджень, коли зображення одного об'єкта, побудоване з різною поляризацією, несе нову інформацію.

Особливістю поляризатора, що зображений на рис.1.8 є те, що поляризація кожного фільтра відрізняється на 45 градусів. У даному випадку 45-225, 90-270, 0-180, 135-315. Тобто якщо це відобразити візуально у більш наглядному вигляді, то ми отримаємо рис.1.2.3. [17]

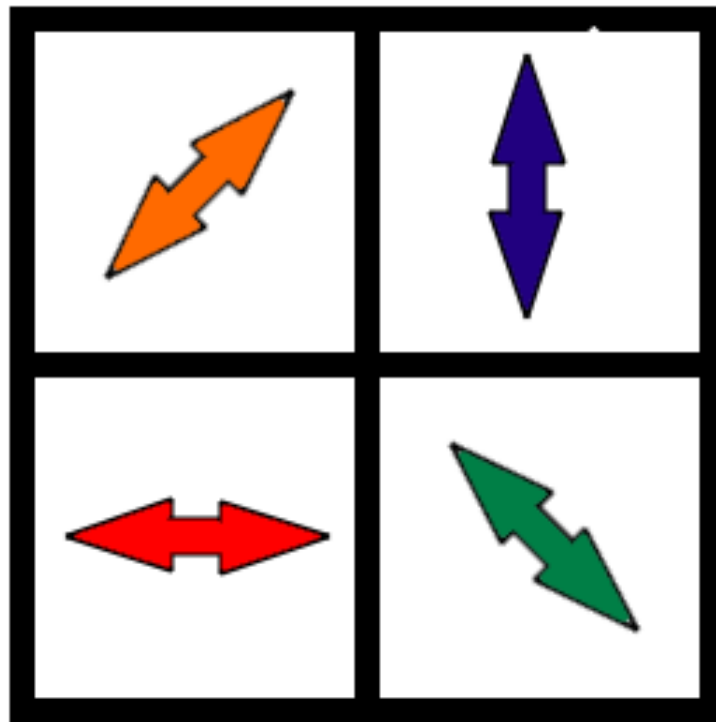


Рисунок 5.2.3. Moxtek WGP-поляризатори. Графічне відображення

Також для отримання поляризованого променя використовують турмалін. З нього виготовляють пластини у якій відбувається подвійне променезаломлення, також у таких пластинах відбувається сильне поглинання звичайного про променя, тому на виході ми отримуємо поляризований незвичайний промінь. Сам турмалін має 1 вісь променезаломлення

Широко використовуються поляроїди, що представляють тонкий шар кристалів герпатиту (сірчаноокислотний йод-хінін) , нанесений на оптичний елемент (прозора плівка, скло). Ці кристали працюють так само як і турмалін. В них відбувається подвійне променезаломлення з поглинанням звичайних променів, якщо товщина гурапатиту $\sim 0.1\text{мм.}$, то вона повністю поглинає звичайний промінь видимої області спектру.

У літературі ще описано досить багато способів для отримання поляризованого випромінювання і ІЧ-діапазоні, але останні роки найчастіше використовують поляризатори, які складаються з п'яти-шести пластинок прозорих поляризуючих плівок. Плівки відділені одна від одної невеликою відстанню і розташовані так, щоб кут падіння вістря був близьки до кута Бюстера. При такому розташуванні внаслідок втрат на відбиванні від кожної плівки сильно ослаблюється випромінювання з орієнтацією електричного вектора, перпендикулярного осі нахилу плівки. В результаті світло, яке пройшло через стопку, стає сильнополяризованим і електричний вектор паралельний осі нахилу плівок[6]. Така конструкція підходить для ІЧ-ділянки від 1мк 20мк. Зазвичай поляризуюча властивість такої конструкції становить від 85% до 95%, а при використанні високої точності може досягати 99%-99.5% . Проте, як зазначають Берд і Шеркліф, виміряти таку високу поляризацію дуже складно. Такі поляризатори представляють собою накладних пластинок, різних щілин, діафрагм і інших оптичних систем, які усувають частину непотрібних променів. Створювати іншу систему з використання даної дуже складно, так як вона дуже громізка.

У поляризаторах з хлористого срібла зазвичай присутнє розсіювання, тому вони характеризуються низькою пропускнуою здатністю і низькою поляризацією для більш короткої довжини хвилі, тобто для видимого світла. Окрім того пластинки виготовлені з цього матеріалу піддаються фотолізу, тому їх необхідно захищати від хімічно активного світла.

Оптичне хлористе срібло у вигляді листів виготовляє фірма Harshaw Chemical Co., а поляризатори із цього матеріалу випускає компанія PerkinElmer.

					ДП.ПН613. 00.000.ПЗ	Аркуш
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

Листки набагато товстіші селенових плівок, і при розміщенні або повороті такого поляризатора у пучку випромінюваного пучок суттєво відхиляється. Хоча хлористе срібло менш ефективне, ніж селен, але воно набагато міцніше. Хлористе срібло не повинно контактувати з металом оправы. Хлористе срібло темніє при освітленні його природним, денним світлом або ртутною лампою, але може використовуватись з джерелами ІЧ-випромінюванням, такими, як глобар чи штифт Нернста.

Хлористе срібло використовують для середньої ІЧ-ділянки. Воно володіє високим показником заломлення, і тому кут Брюстера відносно великий ($\sim 63.5^\circ$). З цього матеріалу можна виготовити відносно тонкі плівки, що важливо для зменшення зсуву пучка, зумовленого рефракцією випромінювання, яке проходить. [7]

У деяких випадках для ІЧ-поляризаторів використовують дуже тонкі (1-5мк) селенові плівки. При таких товщинах є несуттєвими відхилення ефекти відхилення променя і інтерференції. Експериментальні зразки забезпечують дуже високий ступінь поляризації ($\sim 99.7\%$), а промислові поляризатори, виготовлені компанією «Хилгер і Ваттс», зазвичай дають 96%.

Також використовують інші матеріали для виготовлення поляризаторів, наприклад фтористий кальцій і KRS-5¹. Висока ступінь поляризації ($\sim 99\%$) була отримана використовуючи два послідовні відбиття від межі розділу германія-ртуть. Також було виявлено, що поляризатор, виготовлений з 15 шарів тонкої поліетиленової плівки, володіє хорошими властивостями у діапазоні від 3 до 200 мк. [8]

Виміряно, що відсоток поляризації для ІЧ-випромінювання, відбитого від германієвого дзеркала, перевищує 99% у ближньому і дальньому ІЧ-діапазоні. Інтенсивність поляризованого пучка $\sim 40\%$ від початкової інтенсивності. Перевагою такого поляризатора є постійно висока ступінь поляризації у широкому діапазоні хвиль, простоті виготовлення, міцності і поляризаційних властивостях, які не змінюються з часом і при впливі сильного випромінювання [10].

					ДП.ПН613. 00.000.ПЗ	Аркуш
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

1.3. Фізичні основи поляризації

Поляризація світла – фізична характеристика оптичного випромінювання, що описує нееквівалентність різних напрямків в площині, перпендикулярній світловому променю [4].

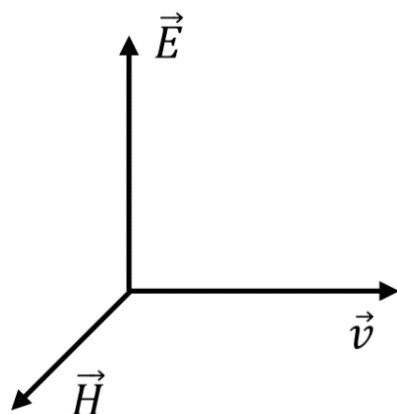


Рисунок 1.3.1. Права трійка векторів

Електромагнітна хвиля описується правою трійкою векторів \vec{E} , \vec{H} , \vec{v} (рис.1.3.1). \vec{E} визначає вид поляризації і його певна орієнтація називається поляризацією світла. Для природного світла цей вектор рівнонаправлений у всі сторони. \vec{H} вказує напрямок магнітного поля, а \vec{v} вказує напрямок поширення випромінювання. Виділяють такі види поляризації світла як плоскополяризоване (рис.1.3.2, б), циркулярно поляризоване (рис.1.3.2, а), еліптично поляризоване (рис.1.3.2, г), частково поляризоване (рис.1.3.2, в).

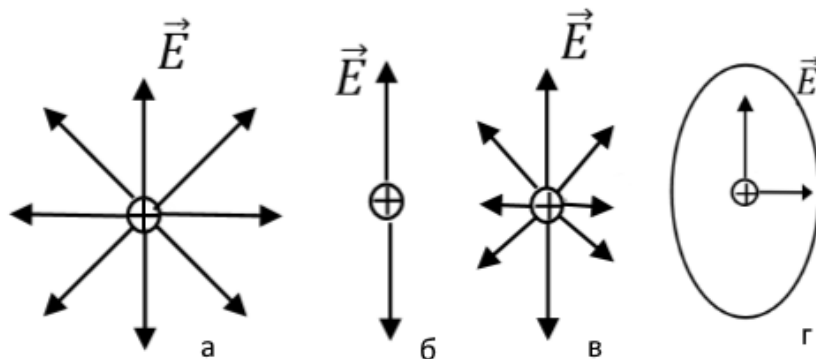


Рисунок 1.3.2. Види поляризації

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Після проходження випромінювання через поляризатор воно отримує наступні властивості:

1. Після проходження світла через поляризатор його кут поляризації рівний куту поляризатора. Тобто площина поляризації поляризованого світла паралельна осі поляризатора.

2. У випадку проходження природного світла через поляризатор використовується формула 1.3.1, де I_p – інтенсивність поляризованого світла після проходження поляризатора, а I_n – інтенсивність природного світла, що падає на поляризатор.

$$I_p = \frac{1}{2} \times I_n \quad (1.3.1)$$

3. У випадку, коли на поляризатор падає поляризоване світло, то попередня властивість замінюється за формулою 1.3.2, де φ – кут між площинами поляризації і кутом поляризації світла, яке падає.

$$I_{p2} = I_{p1} \times (\cos \varphi)^2 \quad (1.3.2)$$

Пункти 2 і 3 описують закон Малюса, який у загальному випадку має вигляд:

$$I_{p2} = \frac{1}{2} \times I_n \times (\cos \varphi)^2 \quad (1.3.3)$$

Для опису властивостей частково поляризованого світла зазвичай використовують поняття ступеня поляризації (формула 1.3.4 і 1.3.5). Де I_{max} і I_{min} максимум і мінімум інтенсивності випромінювання.

$$P = \frac{I_p}{I_p + I_n} \quad (1.3.4) \quad \text{або} \quad P = \frac{I_{max} - I_{min}}{I_{max} + I_{min}} \quad (1.3.5)$$

Також для отримання поляризованого ІЧ-проміння використовують те, що промінь відбитий від поверхні не може поширюватись у напрямку, колінеарному з його електричним вектором. Таким чином, розташовуючи під певним кутом до пучка інфрачервоного випромінювання пластинку з потрібним показником заломлення, отримуємо високу ступінь поляризації ІЧ-випромінювання, так як горизонтальна складова вектора практично не змінюється, в той момент як

					ДП.ПН613. 00.000.ПЗ	Аркуш
						16
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

вертикальна сильно послаблюється внаслідок відбивання. Цим кутом є кут Брюстера (формула 1.3.6), де n_1 і n_2 – показники заломлення середовища звідки падає промінь і куди відповідно. Використання цієї формули є набагато дешевшим і ефективнішим, але вона виконується лише для природного світла, а також потребує більших конструкційних габаритів. [4]

$$\tan \varepsilon_B = \frac{n_2}{n_1} \quad (2.1.6)$$

1.4 Особливості тепловізорів

Всі тіла, нагріті до певної температури, випромінюють електромагнітні хвилі. Випромінюваний потік, зазвичай, залежить від температури об'єкта і від властивостей його поверхні. Для опису теплового поля використовують значення ефективної температури поверхні, рівній температури абсолютно чорного тіла (далі АЧТ), створюючий еквівалентний променевий потік. ІЧ-випромінювання містить інформацію про наведені вище величини, а також про процеси, що відбуваються всередині об'єкта.

Весь діапазон ІЧ-випромінювання умовно ділять на три ділянки: ближня (0.74-2.5 мкм), середня (2.5-50мкм), дальня (50-2000мкм).

Основним принципом і функцією тепловізійних пристроїв є перетворення невидимого ІЧ-випромінювання об'єктів у видиме зображення на екрані з відповідним кольоровим забарвленням, відповідно до температур. У зв'язку з тим, що таке зображення формується з власного випромінювання і випромінювання фонів – воно суттєво відрізняється від аналогічного зображення зробленого у видимому діапазоні спектру. Наприклад, зображення, зроблене за допомогою тепловізійного пристрою не має тіней, що ускладнює його просторове сприйняття. Теплове випромінювання від фонів і об'єктів проходить через атмосферу і попадає в оптичну систему (далі ОС) приладу. Після формування ОС зображення на площині аналізатора зображення він просторовий розподіл енергії у часовий розподіл променевого потоку, що

					ДП.ПН613. 00.000.ПЗ	Аркуш
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		17

приймає приймач випромінювання. Приймач випромінювання перетворює прийнятий сигнал у електричний і посилає на підсилювач після чого він оброблюється обробником відеосигналу і відображається у вигляді зображення на моніторі, що і спостерігає оператор.

Об'єктами спостереження за допомогою системи, що працює в інфрачервоному діапазоні можуть бути будь-які живі і не живі цілі (машини, будівлі, тварини т.і.) , що нагріті до певної температури, так само і з фонами (небо, кущі, гори). Функціональна схема загальної термографічної системи наведена на рис.1.4.1. [2]

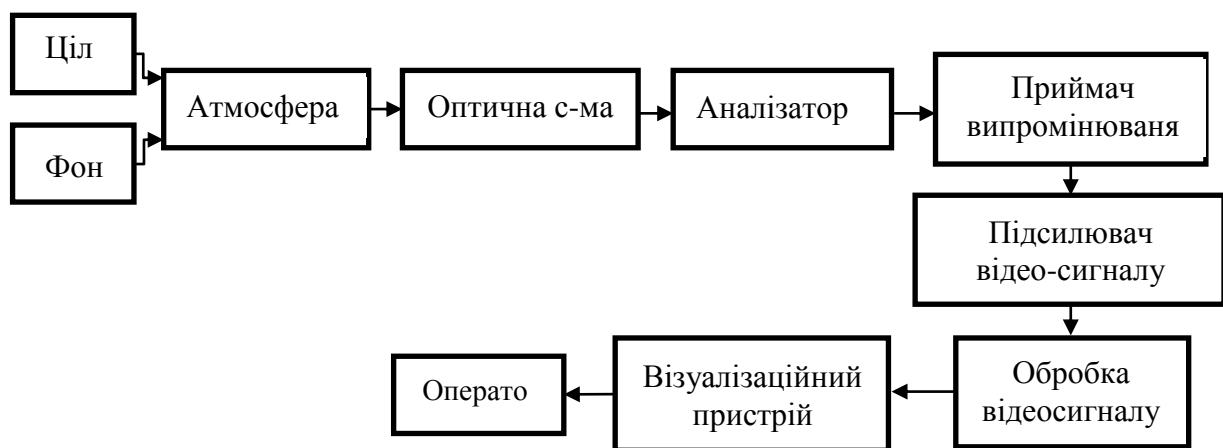


Рисунок 1.4.1. Загальна функціональна термографічна схема

Атмосфера змінює параметри поширення випромінювання, проте вони змінюються у часі випадковим чином. Поглинання у атмосфері відбувається через молекули вуглекислого газу і води.

Аналізатори бувають електронними і механічними з 2ма принципами перетворення 2х вимірного сигналу у одновимірний.

Одним з основних елементів систем теплобачення є приймач. Він визначає можливості системи і виконує функцію перетворення світлової енергії в електричний сигнал. По суті він виконує функцію детектора наявності сигналу.

Підсилювач виконує функцію підсилення сигналу, що прийшов приймача випромінювання і передає підсилений сигнал на обробник відеосигналу.

Основними характеристиками підсилювача є полосо пропускання, коефіцієнт підсилення, рівень власного шуму.

Обробник відеосигналу призначений для відкидання непотрібного корисного сигналу і формування потрібної інформації у зручному вигляді для оператора.

Сучасні тепловізори дозволяють вирішити цілий ряд завдань. Класифікація пристроїв цього напрямку відбувається по різним критеріям. Моделі відрізняються вартістю, особливостями використання, технічними характеристиками.

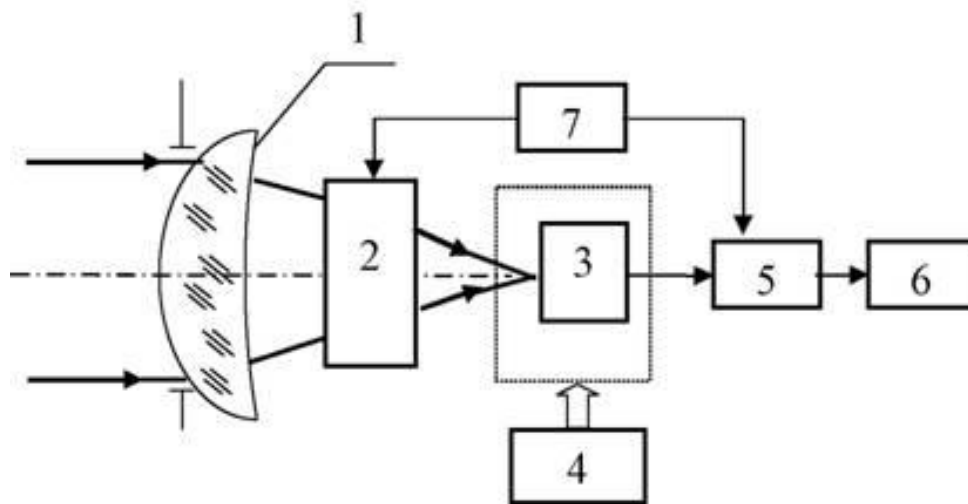


Рисунок 1.4.2 Функціональна схема тепловізора зі скануючою системою

За принципом отримання зображення виділяють скануючі та матричні тепловізори. Скануючі побудовані на основі оптико-механічного сканування (рис.1.4.2), де термограма формується за рахунок сканування простору. Скануюча система (рис.1.4.2, 2) працює на основі елементів, які коливаються або повертаються і по черзі експонують на приймач випромінювання з кожної точно досліджуваного об'єкта.

Перевагою скануючих систем є те, що вони сканують кожну точку окремо і це дає високу точність вимірювання, але вони є досить повільними і тому важливою характеристикою таких систем є час розкладу одного елементу $\tau_{ел}$ у просторі об'єкта (формула 1.4.1) де його максимальне значення визначається частотою кадрів F_k і числом активних елементів розкладання об'єкта N_a .

$$\tau_{\text{ел}} \leq \frac{1}{F_k \times N_a} \quad (1.4.1)$$

Матричні тепловізори використовують матрицю, яка розміщується у фокальній площині (рис.1.4.2, 3). Сама матриця представляє собою багатоелементний ІЧ-приймач. На даний момент більшість тепловізорів побудовані з використанням матриць, так як такі пристрої мають можливість працювати набагато швидше від аналогів зі скануючим принципом роботи.

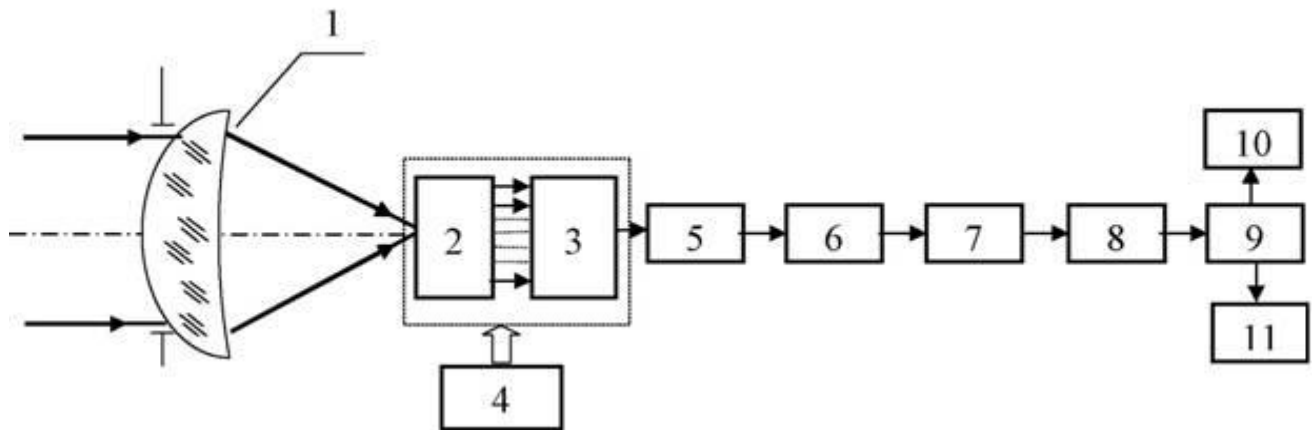


Рисунок 1.4.3 Узагальнена схема тепловізора з ІЧ-матрицею

Дешеві моделі початкового рівня мають роздільну здатність матриць від 60x60 до 180x180. Професійні тепловізори використовують матриці з роздільною здатністю від 640x480 точок. Найдорожчим елементом тепловізора є матриця, а також об'єктив. Саме вони визначають кінцеву ціну приладу.

Також тепловізори поділяються за спектральним діапазоном роботи на: короткохвильові і довгохвильові. Короткохвильові ефективно працюють у середньому діапазоні, а їхні об'єктиви виготовляються з використанням кремнію. Такі тепловізори виготовляють з охолодженням тепловізорної камери, охолодження може бути як азотним так і термоелектричним. У свою чергу довгохвильові тепловізори не потребують охолоджуючих систем, а лінзові об'єктиви таких приладів виготовляють з германію і саме ця категорія використовується у професійних моделях.

Самі тепловізори розділяють на два типи:

					ДП.ПН613. 00.000.ПЗ	Аркуш
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		20

- Вимірювальні-кожний піксель отриманого зображення відповідає конкретній температурі.
- Спостережні-подібні до вимірювальних, але забарвлення пікселів не несе точної інформації щодо температури.

Також існує поділ за способом установки:

- Переносні
- Стаціонарні

1.5. Особливості оптики для ІЧ-діапазону

Оптичне скло використовується у видимому і ближньому ІЧ-діапазоні і є прозорими лише при $\lambda < 2.7$ мкм. Матеріали лінз, що використовуються в ІЧ-діапазоні можна розділити на чотири групи [11]:

- Оптичні пластмаси
- Несилікатне скло
- Кристали

Найважливішим параметром матеріалів, які використовуються для виготовлення ІЧ-об'єктивів, є показник заломлення (і його залежність від температури і довжини хвилі). Цей параметр у поєднанні з геометрією лінз визначає фокусну відстань за формулою 1.5.1, де r_1 і r_2 – радіуси поверхонь лінзи з врахування знаку, а d – товщина лінзи.

$$\frac{1}{f_o} = (n - 1) \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) + \frac{(n - 1)^2 d}{nr_1 r_2} \quad (1.5.1)$$

Зміна оптичних характеристик від температури виражається у 200-400 разів сильніше, ніж у оптичному склі для видимого оптичного діапазону. Припустимим параметром для опису зміни фокусної відстані від температури знаходиться за формулою 1.5.2. [12].

$$V = \alpha - \frac{1}{n - 1} \frac{\partial n}{\partial T} \quad (1.5.2)$$

					ДП.ПН613. 00.000.ПЗ	Аркуш
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		21

Де α -коефіцієнт лінійного розширення, $\frac{\partial n}{\partial T}$ -зміна показника заломлення з температурою. При цьому зміна фокусної відстані знаходиться за формулою 1.5.3, де ΔT -зміна температури.

$$\Delta f_T = f_o V \Delta T \quad (1.5.3)$$

Дзеркала, які використовуються для ІЧ-термографії, складаються з підкладинки, яка володіє хорошими механічними властивостями і тонко напиленого металевого шару. Найчастіше, в якості підкладки, використовують оптичне скло, кварцове скло або склокераміку. З підвищенням довжини хвилі збільшується відбивальна здатність металів.

Виходячи з умов використання системи вибирають приймач випромінювання, а оптичну система може бути задана наступними параметрами: робочий спектральний діапазон, діаметр вхідної зіниці, фокусна відстань і мінімальна кутова роздільна здатність.

Все проектування оптичної системи поділяють на п'ять етапів. Першим етапом є вибір оптимального робочого спектрального діапазону, на основі критеріїв максимального теплового розширення. Другим етапом полягає у тому, що перевіряється можливість виготовлення необхідної оптичної системи. Під час третього етапу відбувається вибір фокусної відстані. Четвертий етап передбачає аналіз технологічних можливостей виготовлення необхідної оптичної системи. П'ятий етап уточнює данні по просторовій роздільній здатності.

Після габаритного розрахунку оптичної системи, виконаного з використанням параксіальної оптики, отримують фокусну відстань, світлові діаметри і взаємне розміщення окремих компонентів, а також просторову роздільну здатність. Наступним завданням постає проектування окремих елементів у вигляді лінзової або дзеркальної оптики.

Вибір матеріалів лінз визначає зміну фокусної відстані всієї системи у залежності від довжини хвилі і температури. У більшості випадків, коли використовується один матеріал виконується умова відображена формулою 1.5.4., для температурної компенсації двохлінзової склейки.

$$V\Phi = V_1\Phi_1 + V_2\Phi_2 \rightarrow 0 \quad (1.5.4)$$

					ДП.ПН613. 00.000.ПЗ	Аркуш
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22

Де Φ_1 і Φ_2 - оптична сила кожної лінзи V – температурний параметр лінзи.

Одним з найпоширеніших об'єктивів є об'єктив з германієвими лінзами (рис. 1.5.1). Його хроматичні аберації аналогічні хроматичним аберациям одної лінзи з германію, що визначаються рівнянням 1.5.5.

$$\Delta f_{\lambda} = -\frac{f_o}{v_{\lambda o}} \quad (1.5.5)$$

Ця аберация визначає максимальну роздільну здатність об'єктива. Також германій має високий температурний коефіцієнт V -параметр. У зв'язку з чим германієва оптика дуже чутлива до температурних коливань, через це вона обладнується механічною корекцією фокусної відстані.

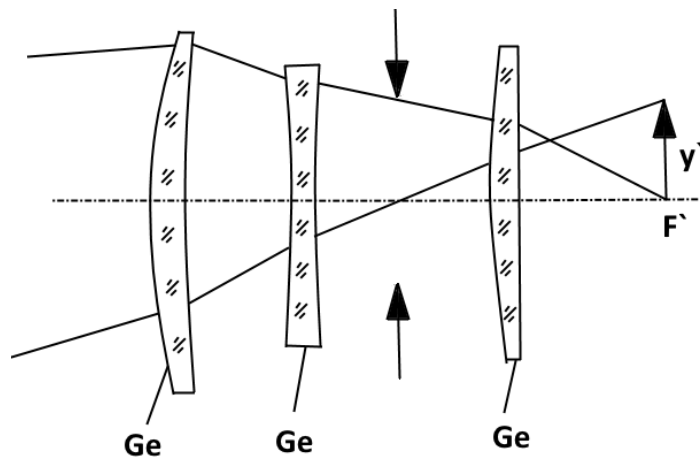


Рисунок 1.5.1. Об'єктив з германієвими лінзами

На рисунку 1.5.2 представлена типова комбінація позитивної і негативної лінз для об'єктива. Така конструкція формує рівні фокусні відстані, вона, також, є типовою для зорових труб і такі системи задовольняють роздільну здатність тільки при малих кутів поля зору.

На рисунку 1.5.3 розглядається випадок, коли хроматична аберация скорегована для атмосферних вікон 3-5мкм і 8-12мкм. Окрім того, температурні аберации досить малі і при зміні температури у межах 50К не потребують додаткового фокусування. Ця схема називається «Схема об'єктива Патцеваля», вона забезпечує високу просторову роздільну здатність при великих полях зору.

Базовою схемою дзеркальної оптики є система Кассегрена (рис.1.5.4). Ця система, для підвищення роздільної здатності використовує As_2S_3 - меніск у

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДП.ПН613. 00.000.ПЗ

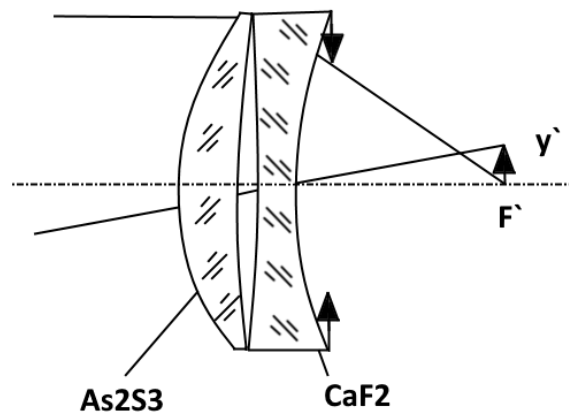


Рисунок 1.5.2 Об'єktiv з позитивною і негативною лінзою

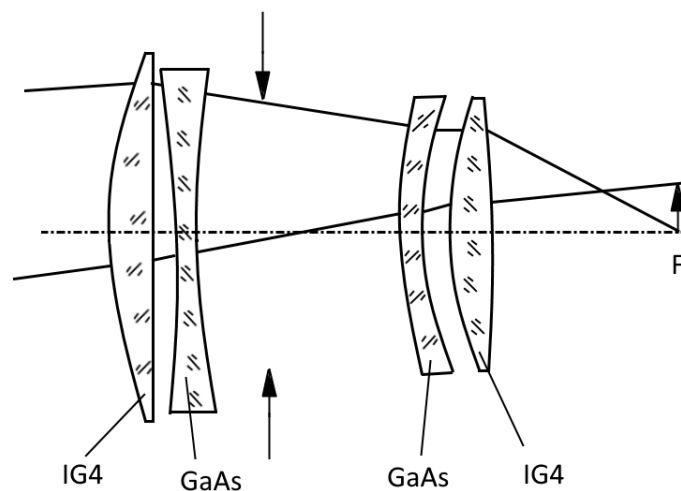


Рисунок 1.5.3 Схема об'єктива Патцеваля

якості першої лінзи, яка створює хроматичні аберації. У зв'язку з тим, що у меніска мала оптична сила – його хроматична аберация є дуже малою.

Така конструкція дозволяє досягнути великих фокусних відстаней при малих низьких діафрагмових числах. Також така система володіє наднизькими хроматичними та температурними аберациями у зв'язку з тим, що в них відсутні заломлюючі поверхні. Для оптимізації системи Кассегрена використовуються зміну відстані між дзеркалами. Чим вони ближче, тим більша кривизна дзеркала необхідна, щоб зберегти фокус системи у вершині головного дзеркала, а також погіршується просторова роздільна здатність.

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДП.ПН613. 00.000.ПЗ

Аркуш
24

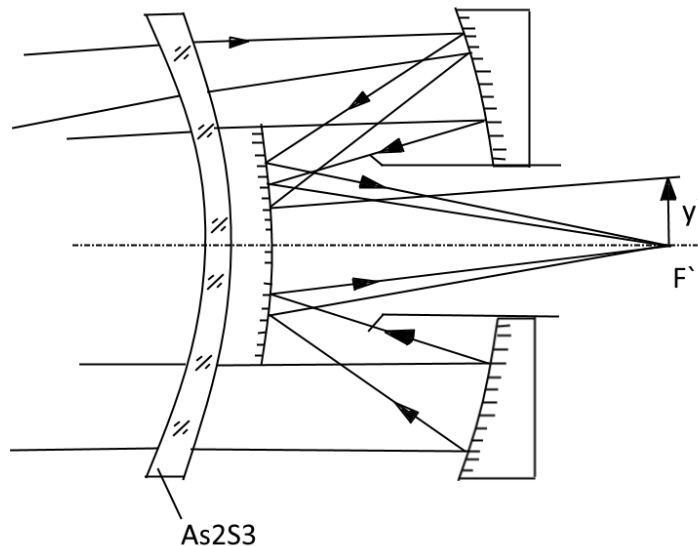


Рисунок 1.5.4 Система Кассегрена

Досить часто використовують насадки у вигляді системи Кеплера, у яких відношення фокусних відстаней $\frac{f_1}{f_2} > 0$ і воно є постійним. Проте така система потребує компенсації хроматичних аберацій кожного компонента. Зазвичай використовують системи Кеплера, де відношення фокусних відстаней може змінюватись у діапазоні, який більший від нуля. Це дає змогу спостерігати різні частини об'єкта використовуючи одну оптичну систему. Приклад такої системи наведений на рисунку 1.5.5. Зміна відношення фокусів здійснюється за рахунок пересування елемента 1 та 2 на рис. 1.5.5, варіатор і компенсатор відповідно. [3]

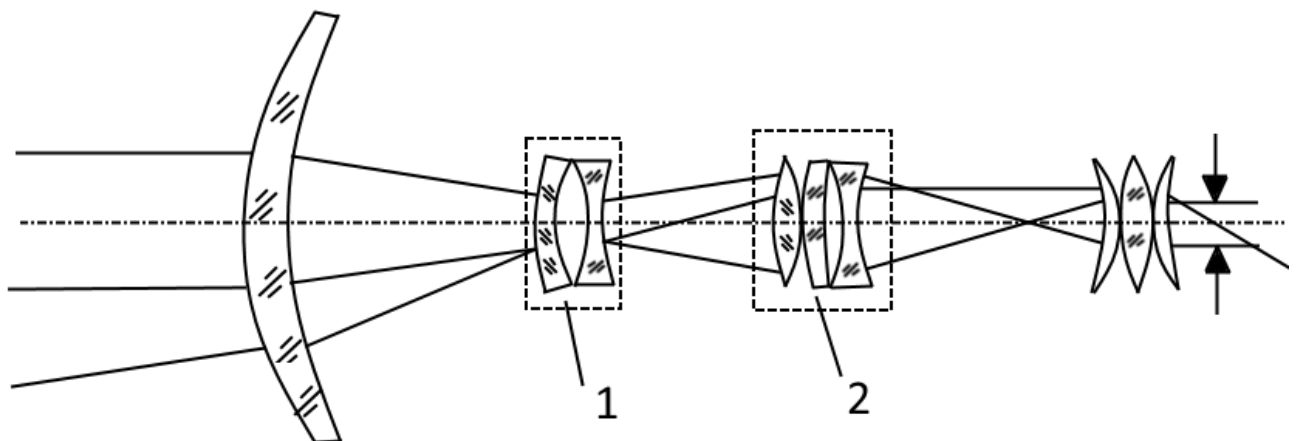


Рисунок 1.5.5. Система Кеплера зі змінною відстанню між фокусами

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

2. Опис оптичної системи та вибір її елементів

2.1 Вибір оптичної системи

За основу системи було взято принципову схему поляриметричного томографа SAR LWIR, наведений на рисунку 2.1.1. Де використовується фазова пластинка, яка швидко обертається і встановлена послідовно з лінійним поляризатором ІЧ-випромінювання.

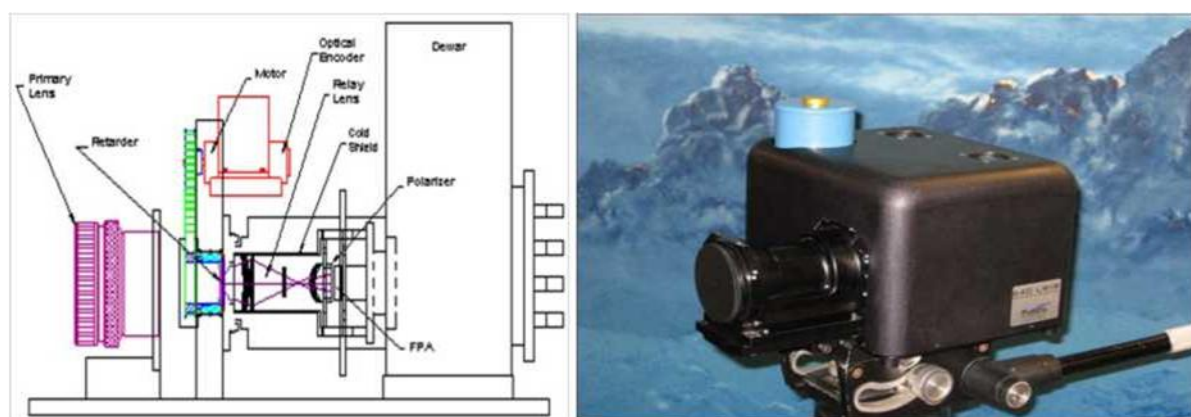


Рисунок 2.1.1. Поляриметричний томограф SAR LWIR

32-бітні зображення, які записуються з частотою 120 Гц , передаються на комп'ютер для подальшої обробки. Сама обробка використовує метод фур'є-модуляції, що полягає у зчитуванні пікселів, під час якого розраховується і інвертується послідовне розширення , яке дає можливість отримання коефіцієнтів Стокса і DoLP. Спрощена схема поляриметричного томографа розташована в лівій частині рис.2.1.1. Недоліком такого способу є те, що досліджуваний об'єкт повинен бути стаціонарним щоб отримання набор зображень для розрахунку коефіцієнтів. [1]

На рис 2.1.2 наведено зображення для порівняння звичайного теплового зображення і теплового зображення отриманого завдяки поляриметричному томографу SAR LWIR.

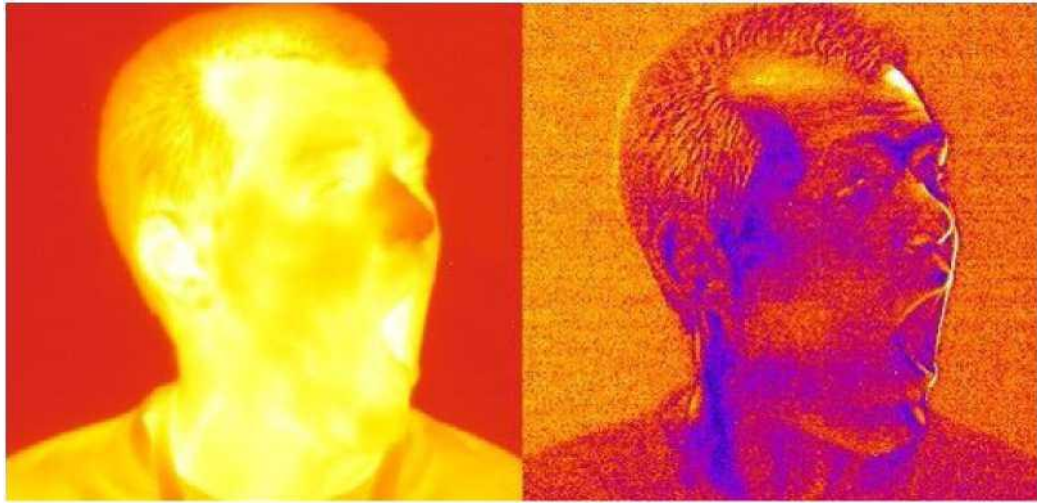


Рисунок 2.1.2. Звичайне теплове зображення LWIR (ліворуч).
Поляриметричне зображення LWIR DoPL (праворуч)

2.2. Вибір елементів для оптичної системи

У якості тепловізора було вибрано VLM640-PAL/CL-16-bit-POLAR (рис.2.2.1), призначений для науково-дослідницьких цілей. Основними перевагами вибраної моделі є:

- Висока роздільна здатність термограми
- Висока частота кадрів ІЧ-зображень
- Модульна конструкція для необхідної конфігурації
- Охолоджувач ТЕС-2 (Пельтьє)

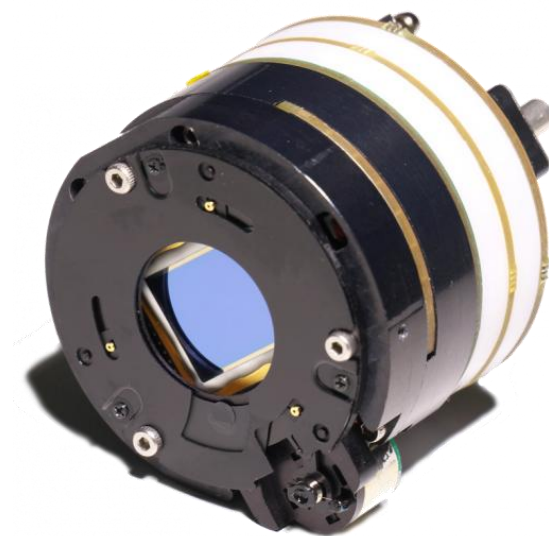


Рисунок 2.2.1.
VLM640-PAL/CL-16-bit-POLAR

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДП.ПН613. 00.000.ПЗ

Аркуш
27

Пристрій виконаний на базі матриці з використанням технології оксиду ванадія, яка дозволяє отримувати високоякісне тепловізійне зображення і дає можливість виявляти об'єкти з низьким температурним контрастом на великих відстанях. Під задньою кришкою розташовані інтерфейси для підключення сторонніх пристроїв. [14]

У таблиці 2.2.1 наведені основні характеристики даного пристрою без врахування об'єктива.

Сенсор	GWIR 0304X2A(Polarization)
Роздільна здатність	640x512 пікселів
Розмір пікселя	17x17 мкм
Частота кадрів	50Гц
АЦП	16 біт
Інтерфейс камери	CameraLink / PAL
Спектральна чутливість	8-14 мкм
Матеріал сенсору	Оксид ванадія
Охолодження	ТЕС-1 (Пельтьє)
Температурний діапазон роботи	Від -60°C до +55°C
Живлення	12 В
Вага	100г
Габарити	50x59x40

Таблиця 2.2.1. Основні характеристики VLM640-PAL/CL-16-bit-POLAR

Матриця GWIR 0304X2A(Polarization), яку виготовляє компанія GWIR наведена на рисунку 2.2.2. володіє габаритними розмірами, які складають 10.88x8.70мм, діагоналлю 13.9мм, корпус сенсору виконаний виконаний у вигляді 32-х пінного, масою 32 грама і інтерфейсом підключення до тепловізора Analog output. [15]

За основу був взятий атермальний об'єктив RT-L-75-1 0-A з характеристиками, які наведені у таблиці 2.2.2. [13]



Рисунок 2.2.2. GWIR 0304X2A (Polarization)

Задня фокусна відстань	10.95 мм
Відносний отвір	1.0
Кути огляду	8.3°x6.6°
Виявлення цілі	2941м
Визначення цілі	735 м
Ідентифікація об'єкта	368 м
Роздільна здатність	640x512
Розмір пікселя	17 мкм
Кількість пар ліній на мм	29
Світловий діаметр плями	13.9 мм
Спектральний діапазон	8-12 мкм
Діапазон фокусування	5м - ∞
Спосіб фокусування	Фіксований
Робочий відрізок	22.1 мм
Кріплення	M34x0.75
Вага	496.7 г
Габарити	95x100.95 мм
Робочий діапазон температур	-40°C+80°C
Розмір зображення	10.88x8.7 мм

Таблиця 2.2.2. Основні характеристики атермального об'єктива RT-L-75-1 0-A

					ДП.ПН613. 00.000.ПЗ	Аркуш
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		29

У якості поляризатора було вибрано поляризатор, який виготовлений на основі дифракційної решітки. Решітка поляризатора представляє собою набір штрихів трикутного профілю. На одну з граней штриха напиляється металеве покриття, зазвичай алюміній. Такі поляризатори використовують у мікроскопії, дослідженні тонких плівок, сенсорах та детекторах, системи оптико-електронних модулів, спектральних приладах та інших напрямках. Вони можуть виготовлятися як на кристалах, так і на полімерних підкладках, забезпечувати високу ступінь поляризації і працювати у широкому діапазоні ІЧ-випромінювання.

Найпопулярнішими матеріалами підкладки на основі кристала є CaF_2 , BaF_2 , $ZnSe$, Ge . На основі полімерів – фторопласт, поліпропілен. Завдяки відносно невисокому показнику заломлення CaF_2 , BaF_2 , тефлон і поліпропілен не потребують просвітлюючих покриттів. На відміну від наведених вище матеріалів, Ge та $ZnSe$ володіють високим показником заломлення і для покращення їхніх властивостей пропускання на них наносять широкополосне просвітлююче покриття. Для отримання вищих показників пропускання на поверхні наносять покриття під конкретні довжини хвиль, що у свою чергу зменшує спектральний діапазон пропускання.

На таблиці 2.2.3 наведені основні характеристики найпопулярніших поляризаторів для ІЧ-випромінювання.

Для даної роботи було вибрано поляризатор на тефлоновій підкладці, так як він повністю задовольняє як вимоги до діапазону пропускання, який навіть перевищує необхідний, так і по габаритних розмірах, так як максимально допустимий для замовлення діаметр такого оптичного елемента становить 100мм з апертурою 74 мм. [12]

У поєднанні з поляризатором використовують фазові пластинки для отримання або аналізу циркулярно, або еліптично поляризованого випромінювання. Більшість пластинок хроматичні, зсув фаз у них залежить від довжини хвилі. Розрізняють лінійні, кругові, еліптичні фазові пластинки у залежності від того, яка форма поляризації може пройти через них не зазнавши

					ДП.ПН613. 00.000.ПЗ	Аркуш
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		30

змін. Наприклад для отримання еліптично поляризованого світла з плоско-поляризованого використовують фазову пластинку, яка вирізана з одного кристала. Така пластинка вносить різницю фаз між двома компонентами електричного вектора, паралельної і перпендикулярної до виділеного напрямку в кристалі. Цей напрямок називають оптичною віссю кристалу.

Матеріал підкладинки	CaF2	BaF2	ZnSe	Ge	Тефлон	Поліпропілен
Діапазон	1-9 мкм	1.5-12 мкм	1.5-14 мкм	8-14 мкм	1.5-7 мкм	≥ 15
Кількість штрихів	2400	1200	1200	1200	2400	1200
Ступінь поляризації	94-97%	94-97%	94-97%	$>99\%$	$>97\%$	96-99.5%
Коефіцієнт пропускання	$>70\%$	$>70\%$	65-70%	$>50\%$	75-85%	70-90%
Коефіцієнт пропускання небажаних променів	1-2%	1-2%	1-2%	$<0.1\%$	$<2\%$	1-2%

Таблиця 2.2.3. Характеристики популярних

Для даної роботи була вибрана чверть-хвильова фазова пластинка, виготовлена під довжину хвилі, яка становить 10 мкм, компанії Optogama із нанесеним просвітлюючим покриттям для вказаної довжини хвилі з апертурою 68мм.

2.3. Опис конструкції

Загальна функціональна схема з використанням вибраних компонентів наведена на рисунку 2.3.1. Спершу випромінювання проходить через поляризатор і потрапляє на чверть-хвильову пластинку, що обертається серводвигуном SY57SH76-2804A, що дає можливість визначити кут поляризації. Після проходження фазового уповільнювача випромінювання потрапляє до

					ДП.ПН613. 00.000.ПЗ	Аркуш
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		31

об'єктиву RT-L-75-1 0-A, який фокусує його на сенсор тепловізора і перетворюється в сигнал, що надходить на комп'ютор для подальшої обробки.

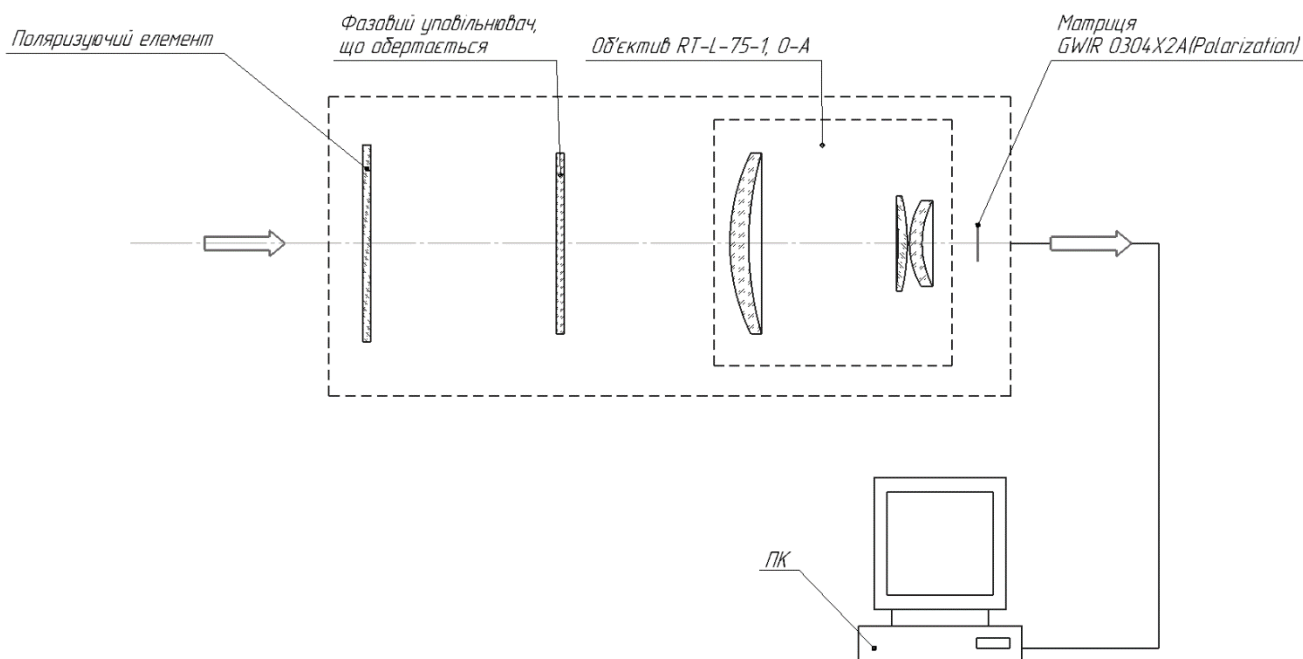


Рисунок 2.3.1. Функціональна схема

На рисунку 2.3.2 зображено фрагмент збирального креслення з перерізом по горизонталі. Під номером 4 позначено об'єктив RL-L-75-1 0-A, який є спеціально розроблений для тепловізора VLM640-PAL/CL-16-bit-POLAR, на основі матриці GWIR 0304X2A(Polarization). На передньому торці вибраного об'єктива розташовано чотири виступи з отвором радіусом 6.3 мм, для його можливості поєднання з іншими конструкціями. Завдяки цим кріпленням встановлюється додатково розроблена поляризуюча конструкція, яка складається з елементів 1, 2 та 3.

В елемент під номером 5 вкручується оправа з поляризатором, що позначена під номером 1. Після цього в цей елемент вставляється підшипник, оправа з фазовою пластинкою, на яку надітий передаточний ремінь і ще один підшипник. Після цього отримана конструкція прикручується до об'єктива гвинтами. Кроковий двигун, під номером 3, встановлюється в останню чергу. У зв'язку з особливістю конструкції він закріплюється лише зверху на гвинти до

					ДП.ПН613. 00.000.ПЗ	Аркуш
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		32

виступаючої стінки, яка належить до елемента 4. Для уникнення лишньої вібрацій при роботі знизу між елементом 5 та 3 встановлюється гумова прокладка.

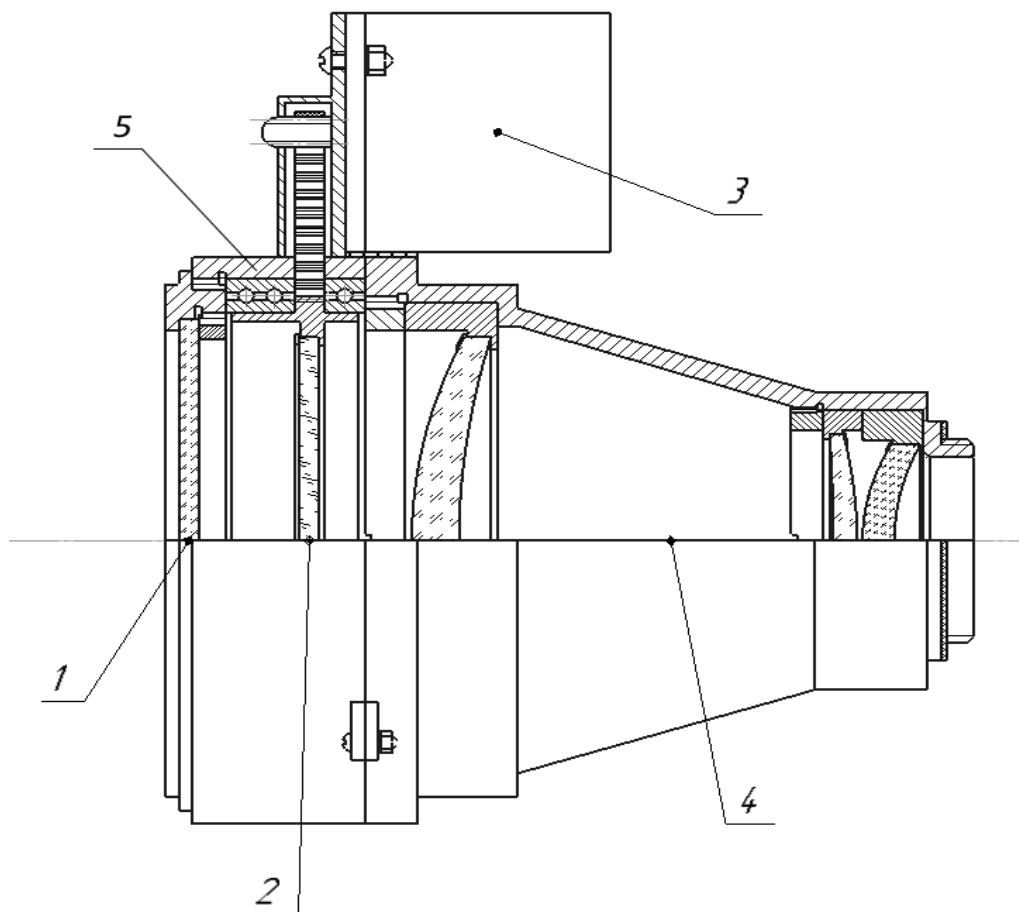


Рисунок 2.3.2. Фрагмент збирального креслення

Для фіксації поляризатора в оправі елемента 1 використовується різьбове кільце. Сам компонент 1 виступає, свого роду, різьбовим кільцем для компоненту 2. Досить великі осьові розміри оправы для фазової пластинки запобігають потрапляння змазуючих рідин на оптичний елемент.

Кроковий двигун SY57SH76-2804A дає можливість достатньо швидкого обертання оправы з фазовим уповільнювачем, а також точно визначати кут поточної позиції цієї оправы, що є одним з ключових пунктів розробленої конструкції. Недоліком такої конструкції є непередбаченість у тепловізорі підключення крокового двигуна. У зв'язку з цим існує необхідність підключення двигуна до комп'ютора, або до іншого елемента керування системою, а це призводить до певних ускладнень обробки отриманих даних.

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДП.ПН613. 00.000.ПЗ

Аркуш
33

3. Габаритний та енергетичний розрахунок

3.1. Розрахунок оптичної системи

Для одноелементних приймачів випромінювання необхідна скануюча система. Для знаходження поля зору системи з матричним приймачем випромінювання використовують формули 3.1.1 та 3.1.2, для якої необхідно знати розміри матриці (висоту і ширину) і задню фокусну відстань.

$$\tan \omega_{ox} = \frac{d}{f} \quad (3.1.1)$$

$$\tan \omega_{oy} = \frac{h}{f} \quad (3.1.2)$$

d – ширина матриці, h – висота матриці, f - задня фокусна відстань.

Використавши формули 3.1.1 та 3.1.2 знайдемо значення поля зору для осі x та y . Фокусна відстань об'єктива $f = 75$ мм, ширина матриці $d = 10.88$, висота матриці $h = 8.7$.

$$\tan \omega_{ox} = \frac{d}{f} = \frac{10.88}{75} = 0.145066 \approx 8.3^\circ$$

$$\tan \omega_{oy} = \frac{h}{f} = \frac{8.7}{75} = 0.116 \approx 6.6^\circ$$

Розраховані значення цілком співпадають зі значеннями наведеними у документації.

Роздільна здатність матриці визначається кількістю елементів, які зазвичай визначаються у мільйонах пікселів (мегапікселях). Для визначення роздільної здатності матриці потрібно перемножити кількість пікселів по висоті, ширині і на 10^{-6} .

$$640 * 512 * 10^{-6} = 327680 * 10^{-6} = 0.32768 \text{ МП}$$

Розраховане значення не зовсім співпадає з документацією, так як в ній вказано 0.33 МП у зв'язку з її заокругленням до сотих. [9]

					ДП.ПН613. 00.000.ПЗ	Аркуш
						34
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3.2. Енергетичний розрахунок

[3] Для енергетичного розрахунку використаємо абсолютно чорне тіло (АЧТ) нагріте до температури 300К. АЧТ з такою температурою володіє довжиною хвилі, яка знаходиться за законом зміщення Вінна (формула 3.2.1)

$$\lambda = \frac{0.002898}{T} = \frac{0.002898}{300} = 9.66 \text{ мкм}$$

Отримана довжина хвилі задовольняє робочий діапазон довжин хвиль вибраної конструкції.

Для визначення енергії світимості АЧТ за такої температури скористаємось формулою Стефана-Больцмана 3.2.2.

$$E = \sigma * T^4 \quad (3.2.2)$$

Де σ – стала Стефана-Больцмана, яка дорівнює $5.604 * 10^{-8} \text{ Вт/м}^2 * \text{К}^4$, а

T – температура тіла у кельвінах.

Використавши формулу 3.2.2, наведену вище, отримуємо:

$$E = \sigma * T^4 = 5.67 * 10^{-8} * 300^4 = 453.924 \text{ Вт/м}^2$$

Вибраний об'єкт пропускає 88% падаючого випромінювання, поляризатор 85%, а фазова пластинка 90%. Випромінювання, яка потрапляє на матрицю розрахуємо за формулою 3.2.3.

$$E_m = F * k_p k_{fp} k_o = 453.924 * 0.85 * 0.9 * 0.88 = 305.5816 \text{ Вт/м}^2 \quad (3.2.3)$$

Використавши формулу 3.2.4. знайдемо енергетичний потік Φ .

$$\Phi = ES \quad (3.2.4)$$

Де S – площа поверхні приймача, яка знаходиться за формулою 3.2.5.

$$S = h * d = 10.88 * 8.7 = 94.656 \text{ мм}^2 = 9.4656 * 10^{-5} \text{ м}^2$$

Після підстановки значень у формулу 3.2.4 отримуємо:

$$\Phi = E_m S = 305.5816 * 9.4656 * 10^{-5} = 2.8925 * 10^{-2} \text{ Вт}$$

					ДП.ПН613. 00.000.ПЗ	Аркуш
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		35

Висновок

Оптика для ІЧ-діапазону є досить дорогою як у плані матеріалів, так і у плані виготовлення. Проте незважаючи на дороговизну вона набуває все більшого поширення у зв'язку з розвитком цього напрямку досліджень. Досить суттєво на вартість кінцевої продукції впливають матриці, що є досить складними і різноманітними.

У ході роботи було вивчено і розроблено конструкцію поляризуючого об'єктиву для оптико-електронних систем тепловачення, а саме для тепловізору VLM640-PAL/CL-16-bit-POLAR на матриці GWIR 0304X2A з використанням об'єктиву RT-L-75-1 0-A. Розроблена конструкція є досить компактною і простою у виготовленні, у зв'язку з використанням частини готових елементів системи, які можна придбати.

Поляризація ІЧ-випромінювання розширює можливості використання тепловізійних систем за рахунок отримання більш чітких контурів, додаткових деталей, текстур. Ці беззаперечні переваги є важливими при розпізнаванні об'єктів і не тільки.

Подальшим кроком розвитку даної конструкції є її спрощення у плані виготовлення і збирання, а також більш детальне дослідження поляризованого випромінювання і його обробки для отримання об'ємних зображень об'єктів дослідження.

					ДП.ПН613. 00.000.ПЗ	Аркуш
						36
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

Список літератури

- [1] Kristan P. Gurton, Alex J. Yuffa, and Gordon W. Videen. Enhanced facial recognition for thermal imagery using polarimetric imaging.
- [2] В.Г. Колобродов, Н. Шустер. Инфракрасная термографія частина 1. 5-24
- [3] В.Г. Колобродов, Н. Шустер. Инфракрасная термографія частина 2. 71-142
- [4] В.Г. Колобродов. Хвильова оптика частина 1. Електромагнітна теорія світла та інтерференції. 33-37
- [5] А. Прохоров. Фізичний енциклопедичний словник.
- [6] Д. Кендалла. Прикладна інфрачервона спектроскопія. 60-62
- [7] У. Шеркліфф. Поляризоване світло. 112-113 [Електронний ресурс] Режим доступу:
<https://books.google.com.ua/books?id=sJ79AgAAQBAJ&lpg=PA240&dq=%D0%B3%D0%B5%D1%80%D0%BC%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D0%B9%20%D0%BF%D0%BE%D0%BB%D1%8F%D1%80%D0%B8%D0%B7%D0%B0%D1%82%D0%BE%D1%80%20%D0%98%D0%A7&hl=uk&pg=PA2#v=onepage&q=%D0%B3%D0%B5%D1%80%D0%BC%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D0%B9%20%D0%BF%D0%BE%D0%BB%D1%8F%D1%80%D0%B8%D0%B7%D0%B0%D1%82%D0%BE%D1%80%20%D0%98%D0%A7&f=false>
- [8] Ф. Девід, Едвард та Марта Брюммер. Журнал оптичної спілки Америки 1959. Поляризація інфрачервоного випромінювання відбиттям від поверхні германії.
- [9] Г. Г. Слюсарев. Методи розрахунку оптичних систем, 1969. 672
- [10] К. Р. Gurton and M. Felton. Remote detection of buried land-mines and IEDs using LWIR polarimetric imaging. Sep 2012, pp. 22344-22359
- [11] J. E. Solomon. Polarization imaging, May 1981, pp. 1537-1544
- [12] TYDEX. ІЧ-поляризатори. [Електронний ресурс] Режим доступу:
http://www.tydexoptics.com/pdf/ru/IR_polarizers.pdf
- [13] Фотоника. Об'єктив RT-L-75-1, 1-А. [Електронний ресурс] Режим доступу:
<https://www.npk-photonica.ru/ir-lens/ds.php?id=195#>
- [14] Фотоника. Тепловізор VLM640-PAL/CL-16-bit-POLAR. [Електронний ресурс] Режим доступу: <https://www.npk-photonica.ru/product/18252/>

					ДП.ПН613. 00.000.ПЗ	Аркуш
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		37

[15] Фотоника. Матриця GWIR 0304X2A(Polarization). [Електронний ресурс]

Режим доступу: <https://npk-photonica.ru/product/7279/>

[16] М. Георг, В. Магидов. Поляризатори на основі дротяної сітки для ІЧ-діапазону. [Електронний ресурс] Режим доступу:

http://www.photonics.su/files/article_pdf/4/article_4053_265.pdf

					<i>ДП.ПН613. 00.000.ПЗ</i>	Аркуш
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		38