

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»
Приладобудівний
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: «Система автофокусу камери»

Виконав:

студент ІV курсу, групи ПН-61-3

Луцюк Іван Михайлович _____

Керівник:

к. ф.-м. н., доцент,

Богатирьова Галина Вікторівна _____

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

ВІДОМІСТЬ ДИПЛОМНОГО ПРОЄКТУ

№ з/п	Формат	Позначення	Найменування	Кількість листів	Примітка
1	A4		Завдання на дипломний проєкт	2	
2	A4	ДП.ПН613. 00.000ПЗ	Пояснювальна записка	30	
3	A1	ДП.ПН613. 01.000ТК	Оптична схема	1	
4	A1	ДП.ПН613. 02.000ТК	Схема функціональна	1	
5	A1	ДП.ПН613. 03.000ТК	Збиральне креслення	1	
6	A2	ДП.ПН613. 04.000ТК	Вузол об'єктива	1	
7	A3	ДП.ПН613. 05.000ТК	Корпус	1	
8	A4	ДП.ПН613. 06.000ТК	Лінза	1	
9	A4	ДП.ПН613. 07.000ТК	Лінза	1	
10	A4	ДП.ПН613. 08.000ТК	Лінза	1	
11	A3	ДП.ПН613. 09.000ТК	Оправа	1	
12	A4	ДП.ПН613. 10.000ТК	Специфікація	1	
13	A4	ДП.ПН613. 11.000ТК	Специфікація	1	

				ДП ПН613 00.000.00		
	ПІБ	Підп.	Дата			
Розробн.	Луцок І.М.			Відомість дипломного проєкту	Лист	Листів
Керівн.	Богатирьова Г.В.				1	1
Консульт.					КПІ ім. Ігоря Сікорського Каф. ООЕП Гр. ПН-61-3	
Н/контр.						
Зав.каф.						

Пояснювальна записка
до дипломного проєкту
на тему: «Система автофокусу камери»

Київ – 2020 року

Зміст

Вступ.....	5
1. Огляд літературних джерел за темою проекту.....	6
1.1 Технології.....	6
1.2 Контрастний автофокус.....	7
1.3 Фазовий автофокус.....	9
2. Габаритний розрахунок.....	15
2.1 Енергетичний розрахунок.....	21
3. Конструкція приладу.....	24
Висновок.....	26
Список літератури.....	27

					<i>ДП.ПН-61-3.00.000.ПЗ</i>	Аркуш
						5
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

Вступ

Авто-фокус - адаптивна система, що забезпечує автоматичне фокусування об'єктива фотоапарата, кінокамери або відеокамери на один або кілька об'єктів зйомки. Авто-фокус складається з датчика, керуючої системи і приводу, що переміщує оправу об'єктива або його окремі лінзи. Різновидом авто-фокусу можна вважати електронний далекомір без виконавчого механізму, але з індикацією напрямки фокусування і її завершення. Для позначення авто-фокусу зазвичай використовується міжнародна аббревіатура AF.

					<i>ДП.ПН-61-3.00.000.ПЗ</i>	Аркуш
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		6

1. Огляд літературних джерел за темою проекту.

1.1. Технології.

Для автоматичного фокусування необхідно визначити точну відстань від фокальній площині до об'єкту зйомки. Залежно від способу визначення цього параметра всі існуючі системи авто-фокусу діляться на два основних типи: активні і пасивні [1]. Активні системи отримали свою назву через наявність елементів, що взаємодіють з об'єктом зйомки, таких як ультразвуковий або інфрачервоний локатор [* 1]. Подібні пристрої дозволяють обчислити відстань, на яке фокусується об'єктив, за допомогою ехолокації або тріангуляції [2]. Ультразвуковий активний авто-фокус набув широкого поширення в фотоапаратах одноступеневого процесу Polaroid (англ. Sound navigation ranging, SONAR) і побутових кіно- і відеокамерах. Інфрачервоний локатор авто-фокусу вперше використаний в 1979 році в компактному фотоапараті «Canon AF-35M» [3]. Активні системи не залежать від умов освітлення і можуть наводитися в повній темряві на об'єкти без контрастних деталей. Разом з тим, вони мають ряд недоліків, одним з яких вважається неможливість точного фокусування, якщо між об'єктом і камерою є прозоре перешкоду, наприклад скло. Випромінювання таких систем, які не сприймаються людиною, можуть лякати тварин або становити небезпеку для зору [джерело не вказано 240 днів]. Крім того, в зв'язку з труднощами отримання направленої пучка ультразвуку, фокусування на конкретний об'єкт зйомки утруднена, часто спрацьовує на найближчий перешкода. З цих причин активні системи вийшли з ужитку з появою більш досконалих пасивних. Пасивний авто-фокус заснований на аналізі світлових пучків, що потрапляють всередину камери, і нічого не випромінює в навколишній простір.

Перша така система, заснована на вимірі світла, що пройшло через оптичний далекомір, розроблена фірмою Leica Camera в 1970 році. Подальші розробки цієї технології використовувалося, головним чином в компактних любительських фотоапаратах. Більш широке поширення одержав спосіб під назвою «Візітронік» (англ. Visitronic), який розроблений компанією «Honeywell» для однооб'єктивних

					ДП.ПН-61-3.00.000.ПЗ	Аркуш
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		7

дзеркальних фотоапаратів [4] [5]. Система використовувалася також в недзеркальній апаратурі, в тому числі в єдиному радянському фотоапараті з автофокусуванням «Елікон-автофокус» [5] [6]. Сучасні системи засновані на вимірі максимального контрасту зображення, створюваного об'єктивом, або на порівнянні протилежних частин пучка світла, що формує зображення точки. Ці технології називаються контрастним і фазовим авто-фокусом.

1.2. Контрастний авто-фокус.

Контрастний авто-фокус працює наступним чином: процесор оцінює гістограму, одержувану з матриці фотоапарата, трохи переміщує лінзи об'єктива - зміщуючи точку фокусування, потім виробляє переоцінку, щоб побачити, підвищився або знизився контраст. Якщо контраст підвищився, камера продовжує зміщувати точку фокусування в обраному напрямку, поки зображення не стане максимально контрастним. Якщо ж контраст знизився, об'єктиву дається вказівка зміщувати точку фокусування в іншу сторону. Процес повторюється до досягнення максимального контрасту (що по суті означає просування точки фокусування трохи далі положення максимального контрасту і повернення до точки, після якої контраст почав знижуватися). «Сфокусоване» методом контрастного авто-фокусу зображення - це зображення з максимальним контрастом. Якщо ваша камера показує гістограму в режимі Live View можна вручну фокусуватися по контрасту. При контрастному авто-фокусі оцінюється зображення з невеликої ділянки матриці - використовуваного в якості датчика і збігається з точкою фокусування, обраної фотографом. Це дозволяє вибрати об'єкт, на якому потрібно сфокусуватися, і позбавляє процесор фотоапарата від необхідності оцінювати контраст всього зображення - оцінюється контраст тільки в обраних точках автофокусування.

1.2.1 Недоліки контрастного автофокусу

Основним недоліком контрастного авто-фокусу є його неквапливість.

Багатоходовий процес «зрушення точки фокусування / лінз об'єктива - оцінка -

					ДП.ПН-61-3.00.000.ПЗ	Аркуш
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		8

зрушення - оцінка» вимагає часу, та й фотоапарат може почати з переміщення точки фокусування в неправильному напрямку - потім потрібно буде повертатися. Через вкрай невисокою швидкості і неможливості стежити фокусування, контрастний авто-фокус мало підходить для динамічних сюжетів. Повільність ускладнює навіть зйомку нерухомих об'єктів. Контрастний авто-фокус значно більше ніж фазовий залежить від хорошого освітлення, та й - що очевидно - вимагає хорошої контрастності об'єкта, на якому проводиться фокусування.

1.2.2. Переваги контрастного авто-фокусу

Є у контрастного авто-фокусу і переваги, завдяки яким він не тільки до цих пір використовується в фотоапаратах, а й збільшує свою присутність. По-перше, система контрастного авто-фокусу простіше. Вона не вимагає додаткових датчиків і мікросхем, які потрібні для фазового авто-фокусу. Простота знижує вартість і (а для багатьох ціна важливіше швидкості) є основною причиною використання контрастного авто-фокусу в компактних цифрових фотоапаратах. (Інша причина полягає в тому, що глибина різкості у компактних фотоапаратів спочатку більше і вимоги до точності авто-фокусу істотно нижче). Простота системи контрастного авто-фокусу зменшує її розмір. Наприклад, з'явилися недавно без дзеркальні цифрові фотоапарати зі змінною оптикою прагнуть до мініатюрності, а система контрастного авто-фокусу не вимагає «відводити» зображення в сторону від матриці фотоапарата: значить не потрібні призми, дзеркала та лінзи, необхідні для системи фазового авто-фокусу. Мініатюрність - одна з найважливіших переваг без дзеркальних фотоапаратів із змінною оптикою - всі вони використовують контрастний авто-фокус. Друга перевага полягає в тому, що в системі контрастного авто-фокусу використовується матриця фотоапарата. Немає необхідності «відводу» пучка світла через спеціальні призми і дзеркала на додаткові датчики, які можуть бути не точними по відношенню до матриці фотоапарата. При контрастній автофокусуванні оцінюється реальне зображення на матриці фотоапарата, а не окреме зображення, яке повинно бути

					ДП.ПН-61-3.00.000.ПЗ	Аркуш
						9
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

(а «повинен» ще не означає, що так і є) точно вивірене на відповідність з матрицею. Саме з цієї причини контрастний авто-фокус забезпечує більш точне автофокусування, ніж фазовий. Підкреслю: "при використанні матриці для контрастної фокусування". У дзеркальних фотоапаратах Olympus і Sony для контрастного авто-фокусу в режимі Live View використовується додаткова, менша матриця, а значить - як і в будь-якій системі, що вимагає юстирування - залишається можливість неправильної юстирування. В цілому, система контрастного авто-фокусу простіше, дешевше, менше за розмірами, і теоретично більш точна, ніж фазовий авто-фокус. Але вона набагато повільніше. Виробники докладають усіх зусиль, щоб прискорити контрастний авто-фокус, є успіхи, але в найближчому майбутньому він буде залишатися більш повільним.

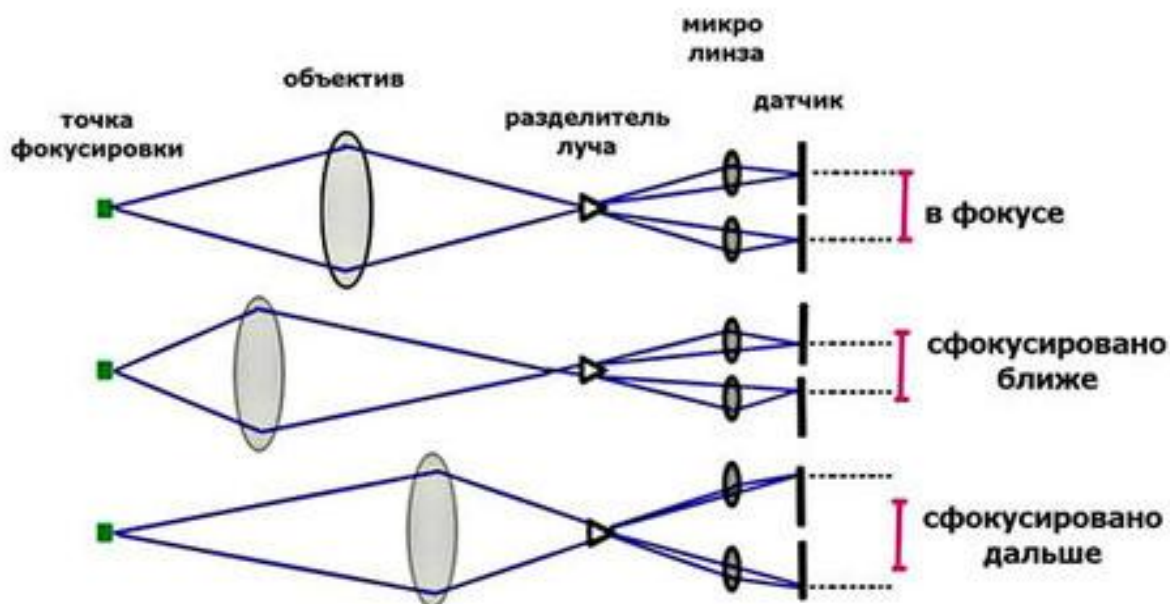
1.3. Фазовий авто-фокус

1.3.1. Основні принципи

Систему фазового авто-фокусу (також відомого як phase matching) запропонувала фірма Honeywell в 1970-х роках; вперше серійно її використовували в фотоапараті Minolta Maxxum 7000. Honeywell подала на Minolta позов за порушення патенту прав і виграла справу; так що виробникам довелося заплатити Honeywell за право використовувати фазову систему авто-фокусу. Фазовий авто-фокус заснований на принципі, згідно з яким, вихідні / відбиті від точки, що знаходиться у фокусі, промені будуть в рівній мірі висвітлювати протилежні сторони об'єктива («будуть перебувати у фазі»). Якщо об'єктив сфокусований перед або позаду цієї точки, ці промені світла по-різному проходять через краю об'єктива («перебувають не в фазі»). Більшість існуючих систем фазового авто-фокусу використовують дзеркала, лінзи або призми (роздільники пучка), щоб розділити промені, що проходять через протилежні краю об'єктива на два промені; і вторинну систему лінз, щоб знову сфокусувати ці промені на датчику авто-фокусу (як правило, CCD). Цей датчик визначає, куди падають промені світла проходять через протилежні краю об'єктива. Якщо точка знаходиться у фокусі, промені потрапляють на датчик на певній відстані

					ДП.ПН-61-3.00.000.ПЗ	Аркуш
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		10

один від одного. Якщо об'єктив сфокусований ближче або далі необхідної точки, відстань між цими променями буде менше або більше. Багато слів, давайте спробуємо подивитися на графічне відображення процесу - (рис. 1).



На малюнку ясно видно, що процесор фотоапарата в системі фазового авто-фокусу відразу визначає, сфокусований об'єктив занадто близько або занадто далеко від об'єкта, так що один з недоліків контрастного авто-фокусу (камера не знає, в який бік зміщувати точку фокусування) спочатку відсутня - замість переміщення вперед і тому і визначення в якому напрямку лежить велика контрастність, в фазовому авто-фокусі процесор відразу бачить, в який бік зміщувати точку фокусування. А далі йде процес. Кожен авто-фокусний об'єктив оснащений мікропроцесором, який повідомляє фотоапарату про свою присутність і стані, наприклад, "Я об'єктив 50 / 1.4 і мій фокусує елемент знаходиться в положенні на 20% ближче, ніж нескінченність" - або щось подібне. Коли Ви натискаєте на кнопку затвора наполовину, відбувається наступне:

- Фотоапарат зчитує дані з датчика авто-фокусу, звіряється з масивом даних, що містять відомості про властивості авто-фокусних об'єктивів цього виробника, робить деякі розрахунки і каже об'єктиву щось на кшталт "Перемісти точку авто-фокусу ось настільки до нескінченності".

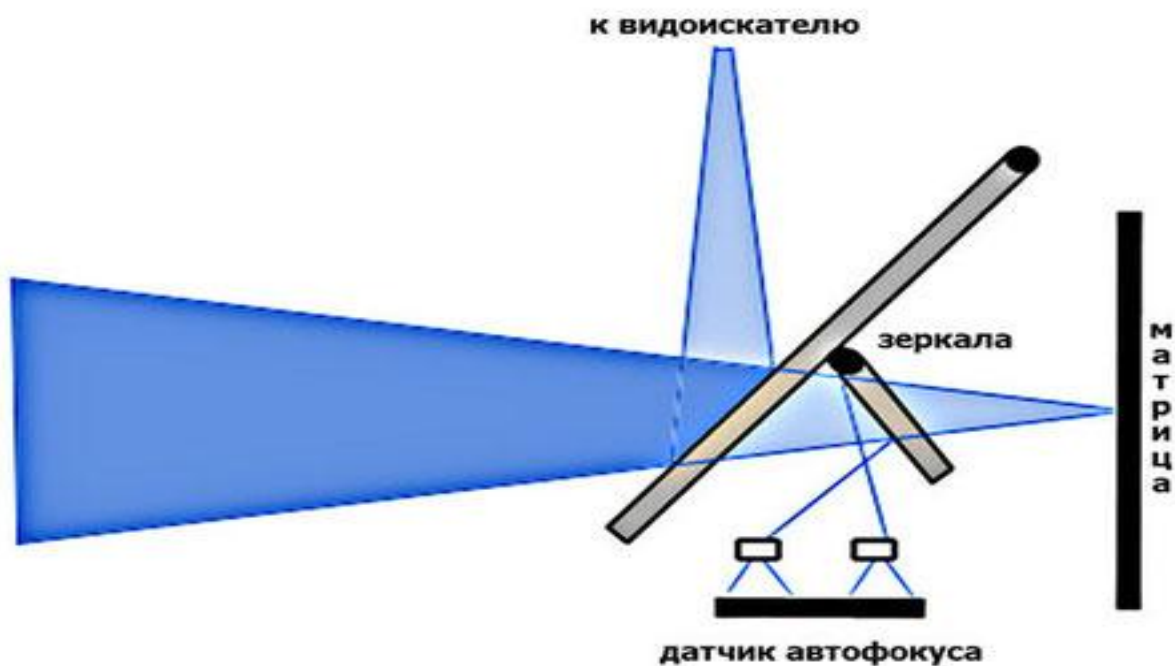
- В об'єктиві є датчики і мікросхеми, що вимірюють або кількість струму, поданого на моторчик фокусування, або наскільки пересунувся фокусує елемент. Об'єктив зміщує фокусний елемент і посилає сигнал фотоапарату "майже у мети".

- Фотоапарат перевіряє ще раз дані з датчиків авто-фокусу, і відправляє сигнал об'єктиву до більш точного налаштування; процес точного фокусування може повторюватися кілька разів, поки об'єктив не сфокусується «точно в ціль». Якщо щось йде не так, відбувається сумнозвісне "рискання" об'єктива.

- Після фокусування, фотоапарат наказує об'єктиву зафіксувати фокус, і інформує фотографа (звуком і індикатором в видошукачі). Весь процес займає децищу секунди, дуже швидко.

1.3.2. Схема фазового авто-фокусу

Датчик авто-фокусу не може перебувати перед матрицею, тому виробники використовують частково прозорі області в дзеркалі, пропускають світло на вторинне дзеркало, від якого він і відбивається на датчик авто-фокусу (рис. 2).



Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДП.ПН-61-3.00.000.ПЗ

Аркуш
12

Зазвичай датчик авто-фокусу розташовується під основним дзеркалом (рис. 3) разом з датчиками визначення експозиції. Червоною стрілкою показаний датчик авто-фокусу фотоапарата Canon EOS 5D. Зображення взято з сайту CanonUSA

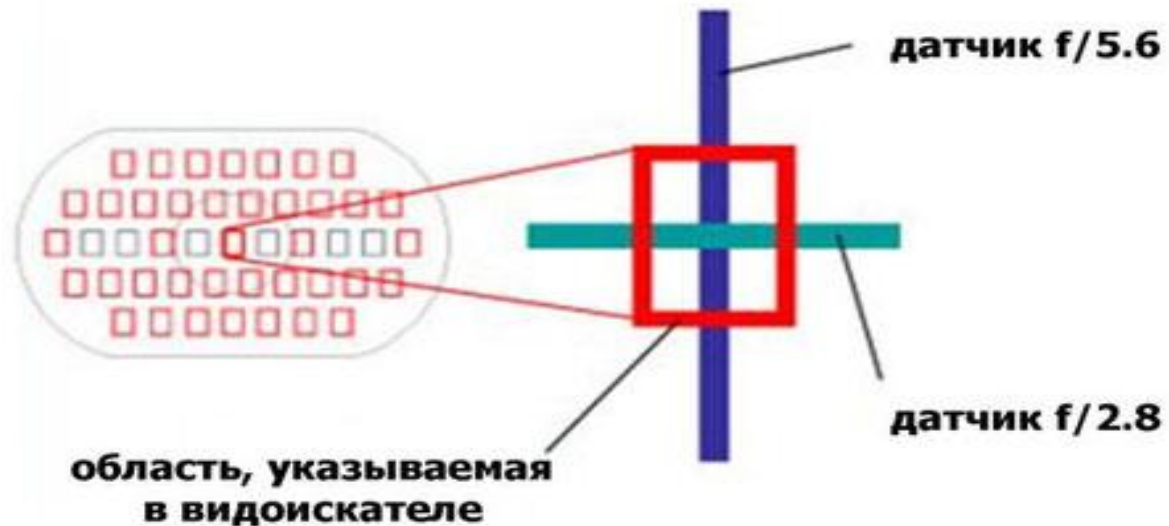


1.3.3. Типи датчиків фазового авто-фокусу

Кожен датчик здатний оцінити лише невелику частину зображення. Горизонтальні датчики точніше працюють з вертикальними деталями. У більшості зображень вертикальні деталі переважають, тому горизонтальних датчиків більше. Є і вертикальні датчики, як правило, розташовані хрестоподібно з горизонтальними (рис. 4). Деякі фотоапарати обладнані навіть діагональними датчиками фазового авто-фокусу. Деякі датчики авто-фокусу (майже завжди розташовуються в центрі), за допомогою різних лінз і розміру самого датчика, досягають більшої точності авто-фокусу, особливо при використанні світлосильних об'єктивів. Найчастіше вони включаються в роботу тільки при використанні об'єктивів з світлосилою $f / 2.8$ або світліше. На малюнку 4, наприклад, показано, що при використанні об'єктива $f / 2.8$ буде використовуватися хрестоподібний датчик, а для більш темних об'єктивів буде

здіяний лише один менш точний датчик авто-фокусу.

Принцип работы крестообразного датчика автофокуса

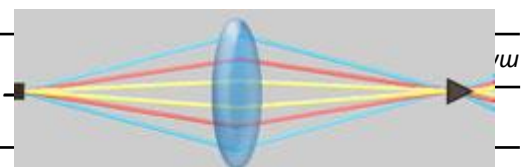


У перших системах фазового авто-фокусу (і в деяких сучасних фотоапаратах середнього формату) був тільки один датчик в центрі зображення. З ростом обчислювальної потужності і інженерного майстерності додавалися все нові і нові датчики. Зараз у більшості фотоапаратів їх від семи / дев'яти і до 52. Можна - в залежності від вимог сцени, що знімається - вибрати один, все, або групу датчиків. Можна повідомити фотоапарату який датчик / датчики використовувати. Численні датчики фазового авто-фокусу, спільно з процесором фотоапарата, здатні на чудові речі. Визначаючи, в яких датчиках рухомий об'єкт знаходиться у фокусі і як це змінюється - вимірюючи переміщення об'єкта та зчитуючи показання через найкоротші проміжки часу - фотоапарат може передбачати, де буде знаходитися об'єкт, що рухається через певний проміжок часу. На цьому заснована робота стежить авто-фокусу.

1.3.4. Вплив світлосили об'єкта

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДП.ПН-61



Незалежно від типу датчика, авто-фокус буде більш точним при використанні світлосильних об'єктивів. У процесі фокусування фотоапарат максимально відкриває об'єктив, закриваючи діафрагму до обраного вами значення тільки в момент відкриття шторок. Фазовий авто-фокус тим точніше, чим ширше кут променів світла. На наведеній схемі кут променів, отриманих від об'єктива $f / 2.8$ (сині лінії), буде більше, ніж від об'єктива $f / 4$ (червоні лінії), які в свою чергу більше, ніж від об'єктива $f / 5.6$ (жовті лінії). При використанні об'єктива з максимальною діафрагмою $f / 8$, тільки найточніші датчики здатні працювати, але фокусування буде повільною і менш точною. Саме з цієї причини припиняється авто-фокусування об'єктиви $f / 5.6$, коли ми намагаємося використовувати телеконвертер, що знижує їх максимальну світлосилу до $f / 8$ або $f / 11$.

1.3.5. Переваги фазового автофокусу

Основні переваги фазового авто-фокусу ми вже згадали:

- Він багато швидше контрастного - досить швидкий для зйомки об'єктів, що рухаються.
- Фотоапарат здатний використовувати групу датчиків для оцінки руху об'єкта, що дає нам стежить / предикативний авто-фокус.

Є й менш явні переваги. Групи датчиків фазового авто-фокусу можуть використовуватися для "електронного ГРИП" - попередньої оцінки глибини різкості. Деякі фотоапарати (правда, їх небагато) оснащені функцією авто-фокусної пастки (trap auto-focus) - вони роблять знімок в момент, коли щось потрапляє в активну точку фокусування. Якщо датчики виявляють рух в статичній сцені, вони можуть повідомити про неприйнятний ворухіння фотоапарата. Але головне - швидкість і стеження авто-фокуса.

1.3.6. Недоліки фазового авто-фокусу

По-перше, система фазового авто-фокусу вимагає фізичної юстирування.

Шлях світла до матриці фотоапарата повинен бути узгоджений з шляхом світла

					ДП.ПН-61-3.00.000.ПЗ	Аркуш
						15
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

до датчика авто-фокусу так, щоб предмет, що знаходиться у фокусі на датчику автофокусування був у фокусі і на матриці. Кожен об'єктив повинен містити мікросхему, що забезпечує зворотний зв'язок з фотоапаратом і що повідомляє йому інформацію про точному положенні фокусуємого елемента, про те, на яку відстань елемент переміщається при подачі певного струму на моторчик авто-фокусу. Все це повинно бути точно погоджена і вивірено таким чином, щоб об'єктив зміщує точку фокусування саме туди, куди йому вказав фотоапарат, а фотоапарат знав точне положення цієї точки. Найменша неузгодженість призводить до неточної фокусуванні. По-друге, система вимагає програмної настройки. Кожен фотоапарат і об'єктив програмується виробником, в пам'ять вноситься велика кількість даних. Завдяки цим даним забезпечується злагоджена робота фотоапарата і об'єктива, а точність авто-фокусу іноді може бути поліпшена шляхом поновлення прошивок. Такі оновлення часто випускаються слідом за появою нових об'єктивів. Виробники приховують алгоритми роботи своїх систем фазового авто-фокусу. Сторонні виробники об'єктивів змушені експериментальним шляхом зчитувати і декодувати сигнали, якими обмінюються фотоапарат і об'єктив і на основі цих даних розробляти свої мікропроцесори і свої алгоритми. Через це точність авто-фокусу при використанні об'єктивів сторонніх виробників може бути нижче. Зміна алгоритмів виробниками фотоапаратів призводить до того, що авто-фокус на об'єктивах сторонніх виробників відмовляється працювати (їх потрібно перепрограмувати, як недавно сталося з Sigma AF 120-300 / 2.8 і Nikon D3X). Як уже згадувалося, світлосила об'єктива впливає на точність фазового автофокусу. Світлосильні об'єктиви здатні фокусуватися в більш складних умовах. Зазвичай залежність від світлосили не викликає проблем, тому що у темних об'єктивів велика глибина різкості. Однак, є значення максимальної світлосили (як правило, $f/5.6$ або $f/8$), коли фазовий автофокус просто відмовляється працювати. (Пам'ятаєте, мова йде про максимальну світлосилу об'єктива - фотоапарат автоматично повністю відкриває діафрагму об'єктива в процесі фокусування, тому встановлене значення не надає вплив на авто-фокус, якщо максимальна

					ДП.ПН-61-3.00.000.ПЗ	Аркуш
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16

діафрагма об'єктива відповідає можливостям фотоапарата). Оскільки світло потрапляє на датчики авто-фокусу тільки коли дзеркало опущено, вони перестають працювати в момент знімка, і не починають працювати до того, поки дзеркало не повернеться в початкове положення. Саме тому фазовий авто-фокус не працює в режимі Live View, а стежить авто-фокус може помилятися при серійній зйомці. Є й інші проблемки, які ми не помічаємо. Лінійні поляризаційні фільтри заважають фазового авто-фокусу. Таких на даний момент зараз залишилося небагато, але буває, що купивши його «по-дешевці» власник потім дивується неточності авто-фокусу. Фазовий авто-фокус може просто «луснути» на деяких сюжетах (типу шахової дошки або решітки), а контрастний легко справляється з ними.

2. Габаритний розрахунок

Розрахунок об'єктива

Вихідними даними є такі параметри:

- Спектральний діапазон: 8-14 мкм;
- Приймач випромінювання - болометрична камера TAU 320 (324x256 пікселів розміром 25x25 мкм);
- Поле зору $2\omega_x \times 2\omega_y = 12^\circ \times 9^\circ$;
- Видиме збільшення – $\Gamma=3^x$;

Знаючи кількість пікселів та розмір одного пікселя можна розрахувати діагональ та розміри матриці. Довжину матриці розрахуємо за формулою (2.1):

$$a = 324 \cdot 25 = 8100 \text{ мкм} = 8,1 \text{ мм} \quad (2.1)$$

Далі розрахуємо ширину матриці за формулою (2.2):

$$b = 256 \cdot 25 = 6400 \text{ мкм} = 6,4 \text{ мм} \quad (2.2)$$

Так, як формат кадру $q = 512$, а формат матриці $q_D = 256$, то сканування проходить в два заходи, тому:

$$2l_{D_y} = 2 \cdot W_D \cdot q_D = 2 \cdot 25 \cdot 256 = 12,8 \text{ мм} \quad (2.3)$$

Знаючи діагональ матриці порахуємо фокусну відстань об'єктива (2.4):

					ДП.ПН-61-3.00.000.ПЗ	Аркуш
						17
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$f'_{об} = \frac{l_{Dy}}{\tan \omega_y} = \frac{6,4}{\tan 4,5} = 81,3 \text{ мм} \quad (2.4)$$

$$\Gamma = \frac{\tan \omega'}{\tan \omega} \quad (2.5)$$

звідки

$$\tan \omega' = \tan \omega \cdot \Gamma = \tan 4,5 \cdot 3 = 0,236 \quad (2.6)$$

$$\omega' = 13,27^\circ \quad 2\omega' = 26,54^\circ$$

Знаючи фокусну відстань можна вибрати об'єktiv, який має такі характеристики:

$$f'_{об} = 114,87 \text{ мм}; \quad 2\omega = 18^\circ; \quad \frac{D}{f'_{об}} = 1:1.$$

Таблиця 2.1

Параметри об'єктива

№	Радіус, мм	Осьова відстань, мм	Висота, мм	Показник заломлення	Марка скла
1				Повітря	1,000
2	82,22	9	46	Крон	4,0024
3	122,74	36,6	44,45	Повітря	1,000
4	438,5	5	19,35	Крон	4,0024
5	80,72	41,8	18,05	Повітря	1,000
6	30,9	4	14,2	Крон	4,0024
7	37,76		13,05	Повітря	1,000

Перерахуємо об'єktiv з урахуванням коефіцієнта перерахунку (2.7):

$$k_{пер} = \frac{f'_{об}}{f'_{об \text{ кат}}} = \frac{81,3}{114,87} = 0,7$$

Перераховані параметри об'єктива

Таблиця 2.2

					ДП.ПН-61-3.00.000.ПЗ	Аркуш
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

№	Радіус, мм	Осьова відстань, мм	Висота, мм	Показник заломлення	Марка скла
1				Повітря	1,000
2	57,55	6,3	32,2	Крон	4,0024
3	85,92	25,62	31,12	Повітря	1,000
4	306,95	3,5	13,54	Крон	4,0024
5	56,5	29,26	12,63	Повітря	1,000
6	21,63	2,8	9,94	Крон	4,0024
7	26,43		9,13	Повітря	1,000

Відстань від об'єктива до матриці – 47,2 мм.

Діаметр вхідної зіниці об'єктива дорівнює фокусній відстані об'єктива – 81,3 мм.

The screenshot shows the 'Lens Data Editor' window with a table of lens parameters. The table columns are Surf, Type, Comment, Radius, Thickness, Glass, and Semi-Diameter. The rows correspond to the lens elements described in the table above, with numerical values in scientific notation.

Surf	Type	Comment	Radius	Thickness	Glass	Semi-Diameter
OBJ	Standard		Infinity	Infinity		0.000000
STO	Standard		Infinity	0.000000		32.000000
2*	Standard		57.550000	6.300000	Cron	32.200000
3*	Standard		85.920000	25.620000		31.120000
4*	Standard		306.950000	3.500000	Cron	13.540000
5*	Standard		56.500000	29.260000		12.630000
6*	Standard		21.630000	2.800000	Cron	9.940000
7*	Standard		26.430000	18.260000		9.130000
IMA	Standard		Infinity			0.000000

Рис.2.2. Характеристики об'єктива в системі ZEMAX

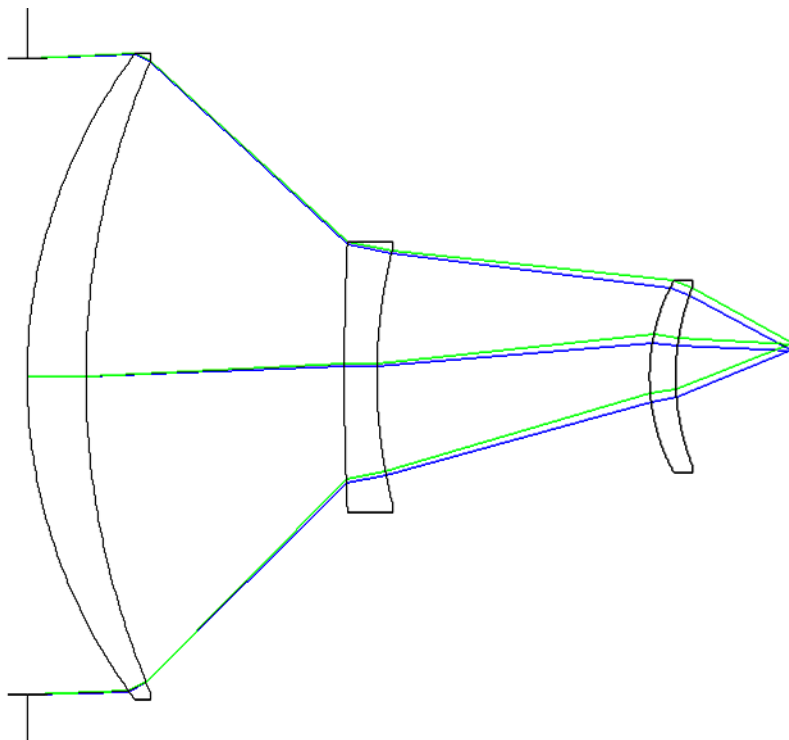


Рис.2.3. Вигляд об'єктива в ZEMAX

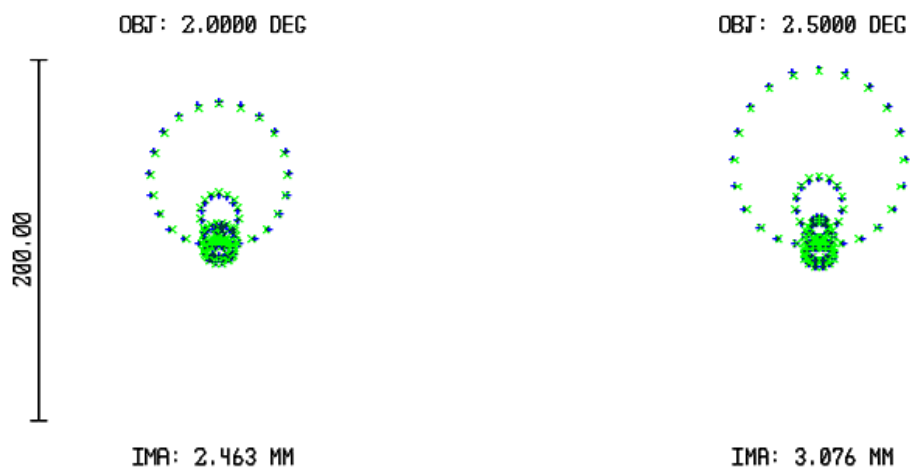
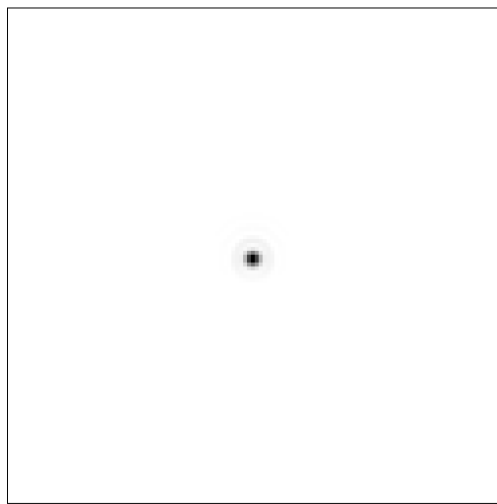


Рис.2.4. Пляма розсіяння в системі ZEMAX

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДП.ПН-61-3.00.000.ПЗ



POLYCHROMATIC FFT PSF

MON DEC 3 2012
 10.5000 TO 10.6000 μm AT 2.0000 DEG.
 SIDE IS 540.22 μm .
 SURFACE: IMAGE
 REFERENCE COORDINATES: 0.00000E+000, 2.46366E+000

LENS.ZMX
 CONFIGURATION 1 OF 1

Рис.2.5. Розмір кружка розсіяння

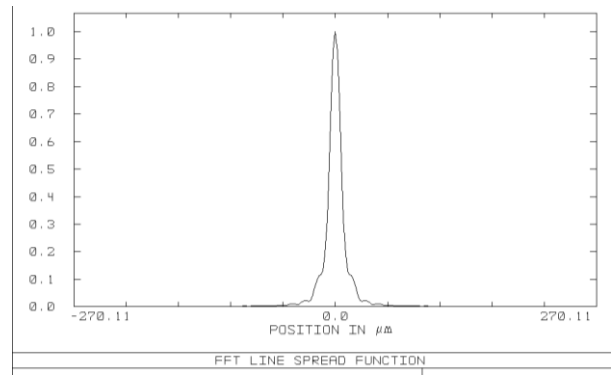
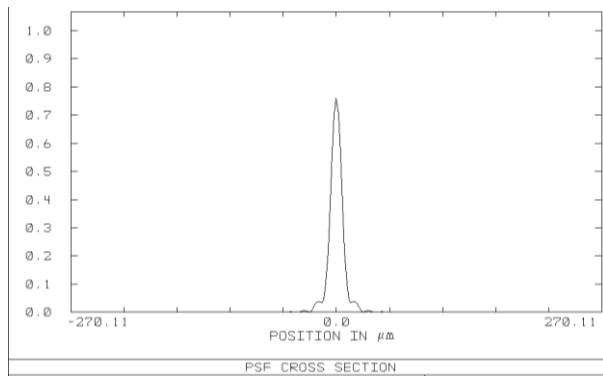
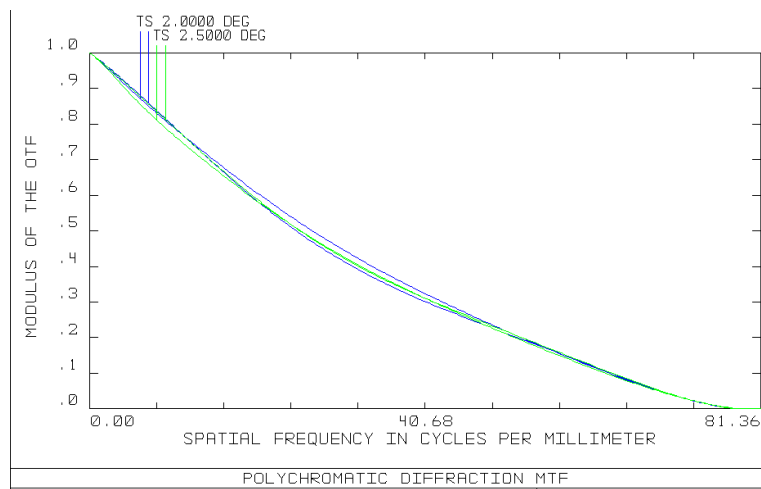


Рис.2.6. Функція розсіяння точки



TUE DEC 11 2012
 DATA FOR 10.5000 TO 10.6000 μm .
 SURFACE: IMAGE

Рис.2.7. Модуляційна передавальна функція

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДП.ПН-61-3.00.000.ПЗ

2.1. Енергетичний розрахунок

2.1.1. Розрахунок максимальної дальності розпізнавання

Для розпізнавання об'єкта необхідно, щоб уздовж його критичного розміру l_{cr} розміщувалось N_r штрихів, тобто:

$$l_{cr} = 2N_r\delta V \quad (2.8)$$

де N_r визначається конкретним критерієм розпізнавання.

Для двовимірної моделі зображення, в якій інформація про об'єкт спостереження зосереджена по усій площі об'єкта, критичний розмір розраховують за формулою (2.9):

$$l_{cr} = \sqrt{V_t W_t} \quad (2.9)$$

Розрахуємо граничну МДР, що використовує ПЗС матрицю яка має такі параметри:

- розмір пікселя $V_D \times W_D = 25 \times 25$ мкм²;
- формат кадру $p_D \times q_D = 324 \times 256$;
- $NETD = 0,5$ К.

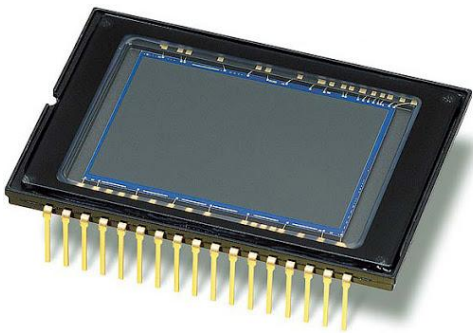


Рис.2.8. ПЗС-матриця

Камера використовує трьох лінзовий об'єктив, який має такі параметри:

- фокусну відстань $f'_{об} = 81,3$ мм;
- діафрагмове число $k_o = 1$;
- інтегральний коефіцієнт пропускання $\tau_o = 0,85$.

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДП.ПН-61-3.00.000.ПЗ

Об'єктив спостерігає об'єкт розміром $V_t \times W_t = 0,5 \times 1,8 \text{ м}^2$ розташований на рівномірному фоні. Коефіцієнт ослаблення атмосфери $k_A = 0,2 \text{ км}^{-1}$.

Імовірність розпізнавання об'єкта $P_r = 0,9$.

Вихідним для розрахунку МДР контрастно обмеженої системи є рівняння (2.10):

$$M_s(v_x) = C_{E,th}(v_x) \quad (2.10)$$

в якому кутову просторову частоту v_x визначають у просторі «дисплей – оператор». МДР є розв'язком цього рівняння, в якому відношення сигнал/шум SNR_E розраховують за формулою (2.11):

$$P_r = \frac{(SNR_E)^k}{1 + (SNR_E)^k} \quad (2.11)$$

а число штрихів N_r – за формулою (2.12):

$$P_r = \frac{\left(\frac{N_r}{N_D}\right)^k}{1 + \left(\frac{N_r}{N_D}\right)^k} \quad (2.12)$$

за заданої ймовірності розпізнавання P_r .

ПЗС камери $M_s(v_x)$ може мати максимальне значення, якщо ОС є дифракційно обмеженою, а електронний тракт і дисплей не вносять додаткових спотворень у зображення об'єкта спостереження. У цьому випадку радіус кружка розсіювання об'єктива r_s у формулі (2.13):

$$M_s(v_x) = \exp(-2\pi^2 r_s^2 v_x^2) \quad (2.13)$$

буде визначатись кутовими розмірами пікселя МПВ α_D і β_D . У підручнику сказано, що для апроксимації цієї формули $r_s = 0,28\sqrt{\alpha_D\beta_D}$. Очевидно, що

$$\alpha_D\beta_D = \frac{A_D}{f_{об}^{\prime 2}} = \frac{V_D W_D}{f_{об}^{\prime 2}} = \frac{25^2 \cdot 10^{-6}}{81,3^2} = 0,094 \text{ мрад}^2 \quad (2.14)$$

Тоді $r_s = 0,085 \text{ мрад}$.

Із вихідних даних видно, що система «Камера – оператор» має видиме збільшення $\Gamma = 3^x$.

З урахуванням формул (2.15) та (2.16):

					ДП.ПН-61-3.00.000.ПЗ	Аркуш
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		23

$$M_s(v_x) = \exp(-2\pi^2 r_s^2 v_x^2) \quad (2.15)$$

$$C_{E,th}(v_x) = \frac{C_E}{\exp(-c_1 v_x) - \exp(-c_2 v_x)} \quad (2.16)$$

запишемо рівняння:

$$M_s(v_x) = C_{E,th}(v_x) \quad (2.17)$$

перепишемо дане рівняння

$$\exp(-2\pi^2 r_s^2 v_x^2) = C_{E,th}(v_x) \quad (2.18)$$

або

$$\exp(-1,137v_x^2) = \frac{0,01033}{\exp(-1,986v_x) - \exp(-5,673v_x)} \quad (2.19)$$

Розв'язком цього трансцендентного рівняння є $v_{x,max} = 1,47$ мрад⁻¹.

МДР розраховуватимемо за формулою (2.20):

$$R_r = \frac{v_{x,max} l_{cr} |\Gamma|}{N_r} \quad (2.20)$$

де кількість штрихів уздовж критичного розміру об'єкта знаходимо із табл.2.3

для ймовірності розпізнавання $P_r = 0,9$: $N_r/N_D = 1,75$. Звідки $N_r = 7$.

3. КОНСТРУКЦІЯ ПРИБАДУ

3.1. Вузол об'єктива

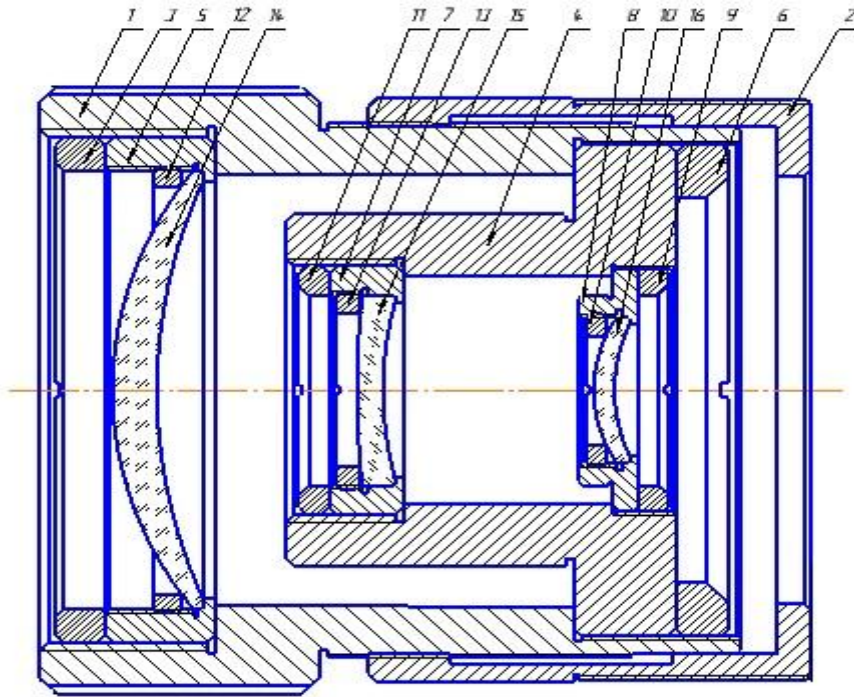


Рис. 3.1. Вузол об'єктива

Розглянемо детально конструкцію об'єктива, його збирання і одночасне юстування див. рис. 3.1.1. Збір і юстування відбувається в такому порядку:

Деталь 1 – корпус 1 для юстування 3-лінз об'єктива.

Деталь 2 – корпус 2 для приєднання об'єктива до корпусу з МПВ.

Деталь 3 – різьбове кільце, яке закріплює оправу першої лінзи в корпусі 1.

Деталь 4 – корпус 3 для встановлення 2-ої та 3-ої лінз об'єктива в корпусі 1.

Деталь 5 – оправу 1-ої лінзи об'єктива.

Деталь 6 – різьбове кільце, для закріплення корпусу 3(деталь 4) в корпусі 1 (деталь 1).

Деталь 7 – оправу 2-ої лінзи об'єктива.

Деталь 8 – оправу 3-ої лінзи об'єктива.

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДП.ПН-61-3.00.000.ПЗ

Деталь 9 – різьбове кільце, яке закріплює оправу 3-ої лінзи об'єктива(деталь 8) в корпусі 3(деталь 4).

Деталь 10 – різьбове кільце, що закріплює 3-тю лінзу об'єктива в оправі(деталь 8).

Деталь 11 – різьбове кільце, яке закріплює оправу 2-ої лінзи об'єктива(деталь 7) в корпусі 3(деталь 4).

Деталь 12 – різьбове кільце, яке закріплює 1-шу лінзу об'єктива в оправі(деталь 5).

Деталь 13 – різьбове кільце, яке закріплює 2-гу лінзу об'єктива в оправі(деталь 7).

Деталь 14 – лінза з германію, 1-ша лінза об'єктива.

Деталь 15 – лінза з германію, 2-га лінза об'єктива.

Деталь 16 – лінза з германію, 3-тя лінза об'єктива.

За допомогою виступу 1-го та 2-го корпусів відбувається налаштування та фокусування об'єктива.

3.2. Панель керування

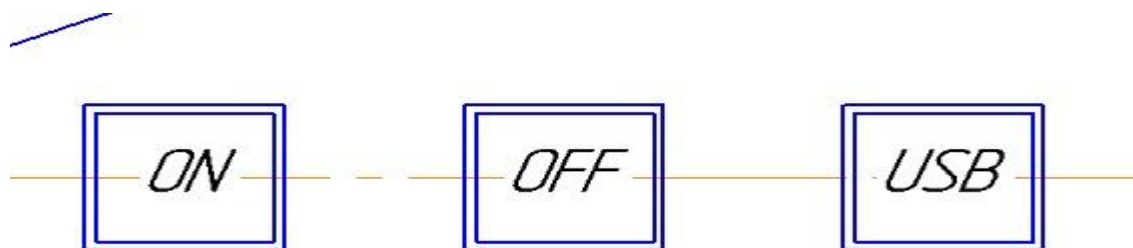


Рис. 3.2. Панель керування приладом

Розглянемо детально панель керування:

«*ON*» – клавіша яка вмикає прилад.

«*OFF*» – клавіша яка вимикає прилад.

«*USB*» – вхід для підключення через USB до ПК і детального налаштування параметрів приладу через нього.

					ДП.ПН-61-3.00.000.ПЗ	Аркуш
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26

Висновок

В даній роботі проведено аналіз типів систем автофокусу, переваги та недоліки кожної з них, виконано габаритний та енергетичний розрахунок, описано конструкцію об'єктива та його деталювання.

					<i>ДП.ПН-61-3.00.000.ПЗ</i>	Аркуш
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		27

Список літератури

1. Розрахунок і конструювання оптичних приладів. Методичні вказівки до курсового проекту для студентів спеціальності “Оптичні та оптично-електронні прилади” / Уклад.: О. К. Кучеренко.- К.: НТУУ “КПІ”, 2010, -65с.
2. Кучеренко О.К. Розрахунок і конструювання оптичних приладів: Навч. посіб.- К.: ІВЦ «Політехніка», 2011. 307 с.:іл.
3. Кучеренко О.К. Юстування та випробування оптичних приладів : Конспект лекцій.- К.: ІВЦ «Політехніка», 2012. 112 с.:іл.
4. Быков Б. З., Перов В. А. Оформление рабочих чертежей оптических деталей и выбор допусков на их характеристики. — 1-е изд. — М.: МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2009.
5. Чиж І. Г. Теорія оптичних систем «Кредитний модуль 1»: конспект лекцій / І. Г. Чиж,. – Київ: НТУУ “КПІ”, 2011. – 191 с.
6. Чиж І. Г. Теорія оптичних систем «Кредитний модуль 2»: конспект лекцій / І. Г. Чиж,. – Київ: НТУУ “КПІ”, 2011. – 83 с.
7. Справочник конструктора оптико-механических приборов под ред. В.А. Панова (1980)
8. Технология автофокуса [Електронний ресурс] Режим доступу: <http://www.foto-video.ru/tech/review/24323/>
9. Система автофокусу зеркальных та беззеркальных камер [Електронний ресурс] Режим доступу: <http://evtifeev.com/7655-sistema-avtofokusa-zerkalnyih-i-bezzerkalnyih-fotokamer.html>
10. Фокусировка в фотографии [Електронний ресурс] Режим доступу: <https://profotovideo.ru/uroki-fotografii/fokusirovka-v-fotografii-kak-ee-ponyat>

					ДП.ПН-61-3.00.000.ПЗ	Аркуш
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		28

					<i>ДП.ПН-61-3.00.000.ПЗ</i>	Аркуш
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		29

Додаток А

					ДП.ПН-61-3.00.000.ПЗ	Аркуш
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		30

Додаток Б

					<i>ДП.ПН-61-3.00.000.ПЗ</i>	Аркуш
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		31