

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

«На правах рукопису»
УДК 53.084.4

«До захисту допущено»
В.о. завідувача кафедри
КІОНС Надія Бурау
«___» _____ 20__ р.

Магістерська дисертація
на здобуття ступеня магістра
зі спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»
на тему: «Оптико-електронний координатор цілі
автоматизованої системи керування рухомим об'єктом»

Виконав :
студент II курсу магістратури, групи ПО-11мп
Храбан Андрій Андрійович

Керівник:
д.т.н., професор Чиж І.Г.

Консультант з розділу розробка стартап проекту:
завідувач кафедри економічної кібернетики, д.е.н.,
проф. Бояринова К.О.

Рецензент:
к.т.н. доцент Терещенко М.Ф.

Засвідчую, що у цій магістерській дисертації
немає запозичень з праць інших авторів без
відповідних посилань.

Студент Храбан А.А.

Київ – 2022 року

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

Кафедра комп'ютерно інтегрованих оптичних та навігаційних систем

Рівень вищої освіти – другий (магістерський)

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

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

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри КІОНС
_____ Надія Бурау
« ____ » _____ 2022 р.

**ЗАВДАННЯ
на магістерську дисертацію студента**

Храбан Андрія

**ТЕМА ДИСЕРТАЦІЇ
Оптико-електронний координатор цілі
автоматизованої системи керування рухомим об'єктом**

науковий керівник дисертації Чиж Ігор Генріхович, д.т.н., професор
_____ (прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від « ____ » _____ 2022 р. № _____

1. Строк подання студентом дисертації 16 грудня 2022 р.

2. Об'єкт дослідження: Процес перетворення кутових координат цілі в електричні керуючі сигнали координатора автоматизованої системи керування рухом об'єкта.

3. Предмет дослідження: Оптико-електронний датчик кутових координат світлової плями на цілі від лазерного цілевказівника.

4. Вихідні дані Лазер цілевказівника –Nd YAG з розбіжністю пучка -3 мрад. Можлива потужність лазерного випромінювання цілевказівника в безперервному режимі випромінювання – (60-100) Вт. Довжина хвилі випромінювання лазера –1.064 мкм. Робоча дистанція до цілі для координатора (500 -20) м. Робоча дистанція між лазером цілевказівника та ціллю (1000 -500) м. Фотоприймач датчика квадрантний фотодіод YAG-444-4A. Фокусна відстань об'єктива 30-40 мм. Допустимий максимальний поперечний габарит оптики координатора 50 мм. Поле зору координатора $2\omega = 10^\circ$. Розміри зображення світлової плями від цілі в площині фотодіода –5х5мм. Діапазон переміщення зображення світлової плями в площині фотодіода ± 5 мм. Коефіцієнт відбиття цілі –

0.2. Мінімальний коефіцієнт світлопропускання атмосфери для лазерного випромінювання на дистанції 1000м – 0.3.

5. Перелік завдань, які потрібно розробити

Розділ 1 Обґрунтування вибору принципу дії датчика кутових координат цілі, освітленої лазерним цілевказівником.

Розділ 2 Габаритний та енергетичний розрахунки оптичної системи з визначенням потрібної потужності лазерного випромінювання. Визначення робочого діапазону дистанції між координатором та ціллю. Визначення потрібного діаметру світлової плями від цілевказівника у площині цілі.

Розділ 3 Обґрунтування оптичної системи координатора, її параметричний синтез і аналіз відпрацювання лінійного зсуву світлової плями на світлодіоді в заданих межах.

Розділ 4 Стартап проєкт.

6. Перелік графічного (ілюстративного) матеріалу

1. Прототипи координаторів цілі.
2. Схема функціональна координатора, що розробляється в дисертації.
3. Схема оптична координатора.
4. Збиральний кресленик макету датчика.
5. Оптичний випуск оптичної системи координатора.
6. Робочі кресленики оптичних елементів датчика

7. Орієнтовний перелік публікацій

Стаття: Оптичний координатор самонаведення для лазерного цілевказівника

8. Консультанти розділів дисертації*

Розділ 4	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Стартап проєкт	Бояринова К.О. професор		

9. Дата видачі завдання 12.09.2022 р.

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Строк виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	Розділ 1	03.11.2022	
2	Розділ 2	11.11.2022	
3	Розділ 3	22.11.2022	
4	Графічний матеріал	29.11.2022	
5.	Розділ 4	29.11.2022	
6	Перевірка матеріалу дисертації на плагіат	05.12.2022	
7	Попередній захист дисертації	10.12.2022	

Студент

Андрій Храбан

Керівник

Ігор Чиж

РЕФЕРАТ

Обсяг роботи – 92

Кількість ілюстрацій – 46

Кількість таблиць – 28

Кількість додатків – 0

Кількість джерел за переліком посилань – 31

Оптико-електронний координатор цілі автоматизованої системи керування рухомим об'єктом є первинним перетворювачем в системі керування траєкторією польоту. Тому розробка таких елементів систем керування є актуальною технічною задачею, яка має важливе як наукове, так і практичне значення.

Об'єктом дослідження у цій роботі є процес перетворення кутових координат цілі в електричні керуючі сигнали на виході координатора автоматизованої системи керування рухом об'єкта, підвищення його точності та ефективності.

Предметом дослідження є оптико-електронний датчик кутових координат світлової плями на цілі від лазерного цілевказівника.

У першому розділі обґрунтовується вибір принципу дії датчика кутових координат цілі, що освітлена лазерним цілевказівником на основі аналізу існуючих оптичних головок самонаведення.

У другому розділі проводиться габаритний та енергетичний розрахунки оптичної системи з визначенням необхідної потужності лазерного випромінення, визначається робочий діапазон дистанції між координатором та ціллю та визначено потрібний діаметр світлової плями від цілевказівника у площині цілі. Результатом розрахунків обґрунтовано, що діаметр вхідної зониці повинен мати 40мм, фокусна відстань оптичної системи – 32,7 мм. Встановлено що на дистанції 1000 м достатня потужність лазера становить 1023 Вт. При потужності лазера 100 Вт відстань до цілі може бути 314 м.

У третьому розділі обґрунтовується вибір оптичної системи, зроблено її параметричний синтез та аналіз відпрацювання лінійного зсуву світлової плями на світлодіоді в заданих межах. Оптичну систему розраховано як систему із одного компоненту. Була підібрана серійна асферична лінза, що забезпечує потрібне функціонування, як і складна система із декількох компонентів. В ній мінімізована кома та виправлена сферична аберація. Для підвищення лінійності вихідної характеристики в оптичній системі встановлено квадратну діафрагму. Аналіз, що наведений у спот-діаграмі у програмі Zemax, показав, що зсув плями при куті поля зору 10° та її форма і розміри в площині квадрантного фотодіода відповідає завданню, що підтверджено комп'ютерним моделюванням.

В четвертому розділі розроблено стартап-проект. У ньому описано необхідні рішення та дії для успішного виходу на ринок та пошук потенційних споживачів.

За темою дисертації опублікована стаття

Храбан А.А., Чиж І.Г. Оптичний координатор самонаведення для лазерного цілевказівника / Збірник праць *XV Всеукраїнської науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених «Погляд у майбутнє»*, стор.71-73.

Ключові слова: оптичний координатор, Оптико-електронний датчик кутових координат світлової плями на цілі від лазерного цілевказівника, фотоприймач, лінза, оптична система, лазерний цілевказівник, лазерний оптичний ГСН.

ABSTRACT

Number of pages – 92

Number of figures – 46

Number of tables – 28

Number of applications – 0

Number of references – 31

The optical electronic target coordinator of the automated moving object control system is the primary transducer in the flight path control system. Development of such elements of control systems is a crucial technical task that has both scholastic and practical importance.

The object of research in this work is the process of converting the angular coordinates of the target into electric control signals at the output of the coordinator of the automated movement control system, as well as improvements of the coordinator's accuracy and efficiency.

The subject of this research is an optical electronic sensor of the angular coordinates of the light spot on the target from the laser target pointer.

In the first section, the selection of the operation principle of the angular coordinates sensor of the target illuminated by the laser target pointer is substantiated based on the analysis of the existing optical homing heads.

In the second section, dimensional and energy calculations of the optical system are carried out to determine the power requirements of laser radiation, the working range of the distance between the coordinator and the target is found, and the required diameter of the light spot from the target pointer in the target area is determined. As a result of the calculations, it is calculated that the diameter of the entrance lens should be 40 mm, the focal length of the optical system should be 32.7 mm. It was established that at a distance of 1000 m, the sufficient power capacity of the laser is 1023 W. With a 100 W laser, the distance to the target can be as far as 314 m.

In the third section, the choice of the optical system is justified, its parametric synthesis and analysis of the linear shift of the light spot on the LED within the specified range are performed. The optical system is designed as a single-component system. A serial aspherical lens was selected, which provides the required functionality, as well as a complex system of several components was developed. It minimizes coma and corrects spherical aberration. To increase the linearity of the output characteristics, a square diaphragm is installed in the optical system. The analysis presented in the spot diagram in the Zemax software demonstrates that the shift of the spot at a field of view angle of 10° and its shape and dimensions in the area of the photodiode quadrant correspond to the goal which was confirmed by computer simulations.

In the fourth chapter, a startup project is developed. It describes the necessary decisions and actions for successful entry into the market and identification of potential customers.

This dissertation inspired the following article:

Khraban A.A., Chizh I.G. Optical location of the homing coordinator for a laser target pointer / *Proceedings of the 15th All-Ukrainian Research and Practical Conference of Students, Postgraduates, and Young Scholars "Looking into the Future"*, pp. 71-73

Keywords: optical laser seeker, laser seeker, optical electronic sensor of the angular coordinates of the light spot on the target from the laser target pointer, LED, lens, optical system, laser optical missile.

ЗМІСТ

ВСТУП	9
РОЗДІЛ 1. ОБҐРУНТУВАННЯ ВИБОРУ ПРИНЦИПУ ДІЇ ДАТЧИКА КУТОВИХ КООРДИНАТ ЦІЛІ, ОСВІТЛЕНОЇ ЦІЛЄВКАЗІВНИКОМ	11
РОЗДІЛ 2. ГАБАРИТНИЙ ТА ЕНЕРГЕТИЧНИЙ РОЗРАХУНКИ ОПТИЧНОЇ СИСТЕМИ КООРДИНАТОРА	33
2.1. Складання та розв'язання системи рівнянь	34
2.2. Енергетичний розрахунок	42
2.3. Аналіз впливу та діаметру плями на цілі	47
2.4. Обґрунтування потрібного діаметру світлової плями в площині цілі	52
РОЗДІЛ 3. ОБҐРУНТУВАННЯ ОПТИЧНОЇ СИСТЕМИ ЦІЛЄВКАЗІВНИКА, ЇЇ ПАРАМЕТРИЧНИЙ СИНТЕЗ І АНАЛІЗ ВІДПРАЦЮВАННЯ ЛІНІЙНОГО ЗСУВУ СВІТЛОВОЇ ПЛЯМИ НА СВІТЛОДІОДІ В ЗАДАНИХ МЕЖАХ	59
3.1. Обґрунтування вибору структури, параметричний синтез та аналіз оптичної системи координатора.	59
РОЗДІЛ 4. РОЗРОБКА СТАРТАП ПРОЕКТУ «ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННИЙ ДАТЧИК КУТОВИХ КООРДИНАТ СВІТЛОВОЇ ПЛЯМИ НА ЦІЛІ ВІД ЛАЗЕРНОГО ЦІЛЄВКАЗІВНИКА»	69
4.1. Опис та технологічний аудит ідеї проекту	69
4.2. Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту	71
4.3. Розроблення ринкової та маркетингової програми стратегії проекту	79
4.4. Календарний план реалізації проекту	84
Висновки	86
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	88

ВСТУП

На сьогоднішній день дуже швидко розвивається розробка головок самонаведення. Їх бувають три принципи дії: радіолокаційна, акустична та оптична ГСН. В оптичній є підтипи: теплова оптична, телевізійна оптична та лазерна оптична ГСН. У кожній з них свій принцип дії, але більш за все виділяється лазерна, адже боєголовка з таким типом ГСН супроводжується оператором весь шлях від початку запуску снаряду до ураження підсвіченої цілі. Це забезпечує велику точність при влучанні, бо кожен запуск таких ракет коштує немалих витрат, а також витрат за попадання не по заданим параметрам і призводить до непотрібних пошкоджень.

Оптико-електронний координатор цілі автоматизованої системи керування рухомим об'єктом забезпечує безпечну відстань для оператора, який в даній роботі представлений як БПЛА. Як розробка, він має велике наукове та практичне значення для розвитку даного пристрою у сучасних технологіях. Також оптико-електронний координатор цілі вважається «оком» боєголовки. Він корегує траєкторію польоту через оптичну систему, що є основою для кожного оптичного ГСН. При цьому його принцип дії та обробка отриманих сигналів, перетворених світлової плями фотоприймачем, достатньо прості. Тому швидкість реагування на зсув плями на фотоприймальний елемент та зміна польоту дуже високий.

Такий принцип дії головки самонаведення необхідно розвивати в галузі. Тому дана тема роботи є **актуальною**.

Метою і задачею дослідження є розробка, структурний та параметричний синтез оптико-електронного координатора цілі для автоматизованої системи керування рухом об'єктом. Синтез складається з наступних завдань:

- 1) Обґрунтування вибору принципу дії датчика кутових координат цілі, освітленої лазерним цілевказівником;
- 2) Габаритний та енергетичний розрахунки оптичної системи з визначенням потрібної потужності лазерного випромінювання;
- 3) Визначення робочого діапазону дистанції між координатором та ціллю;

- 4) Визначення потрібного діаметру світлової плями від цілевказівника у площині цілі;
- 5) Обґрунтування оптичної системи координатора, її параметричний синтез і аналіз відпрацювання лінійного зсуву світлової плями на світлодіоді в заданих межах;
- 6) Стартап–проект.

Об’єктом дослідження є процес перетворення кутових координат цілі в електричні керуючі сигнали координатора автоматизованої системи керування рухом об’єкта. Це перетворення відбувається за рахунок отримання квадрантним фотоприймачем фотодіодом світлової плями від цілі. Проходячи через оптичну систему пляма фокусується на поверхні фотодіоду. Сам фотоприймач складається із чотирьох зон, які приймають зображення від світлової плями в площині цілі та перетворюють його на відповідні сигнали. Далі вони проходять через підсилювач та передають оцифровані сигнали мікропроцесору. Принциповою відмінністю фотоелектричної системи координатора від аналогів є те, що на фотодіоді формується сильно дефокусоване зображення світлової плями від цілі. Це дає можливість забезпечити лінійність вихідних сигналів від кутового положення цілі і потрібний кутовий діапазон роботи координатора.

Предметом дослідження являється система та конструкція оптико-електронного координатора цілі, який функціонує у взаємодії із лазерним цілевказівником.

РОЗДІЛ 1. ОБҐРУНТУВАННЯ ВИБОРУ ПРИНЦИПУ ДІЇ ДАТЧИКА КУТОВИХ КООРДИНАТ ЦІЛІ, ОСВІТЛЕНОЇ ЦІЛЄВКАЗІВНИКОМ

Сучасні ГСН розробляються з метою боротьби з потенційними повітряними цілями та більшість боєголовок розробляються за принципом «вистрілив-забув». Але не завжди кожен випущений снаряд потрапляє у ціль, що наведено на рис.1.1, бо використання автоматичного керування здебільшого може або змінити місце влучання, або траєкторію польоту самостійно або засобами, що можуть завадити виконання бойового завдання.



Рис. 1.1 – Наслідки влучення боєголовки не в задану ціль [1]

[2]На сьогоднішній день для успішного враження заданої цілі боєголовкою\снарядом використовують декілька принципів для наведення та наступного коректування траєкторії польоту, а саме:

- 1) Радіолокаційні ГСН
- 2) Оптичні ГСН
- 3) Акустичні ГСН.

Водночас оптичні ГСН діляться на наступні системи:

- Лазерні системи
- Телевізійні системи.
- Теплові системи [1]

Кожен із них має свої переваги у виконанні своєї функціональності та досягнення поставленої бойової цілі, а також недоліки, що можуть завадити або змінити траєкторію польоту боеголовки. Завдяки цьому зменшується об'єм руйнування об'єктів, що не мають ніякого значення до самого завдання, та розміру вартості у відбудовуванні знищеної випадкової місцевості, будівлі, інфраструктури.

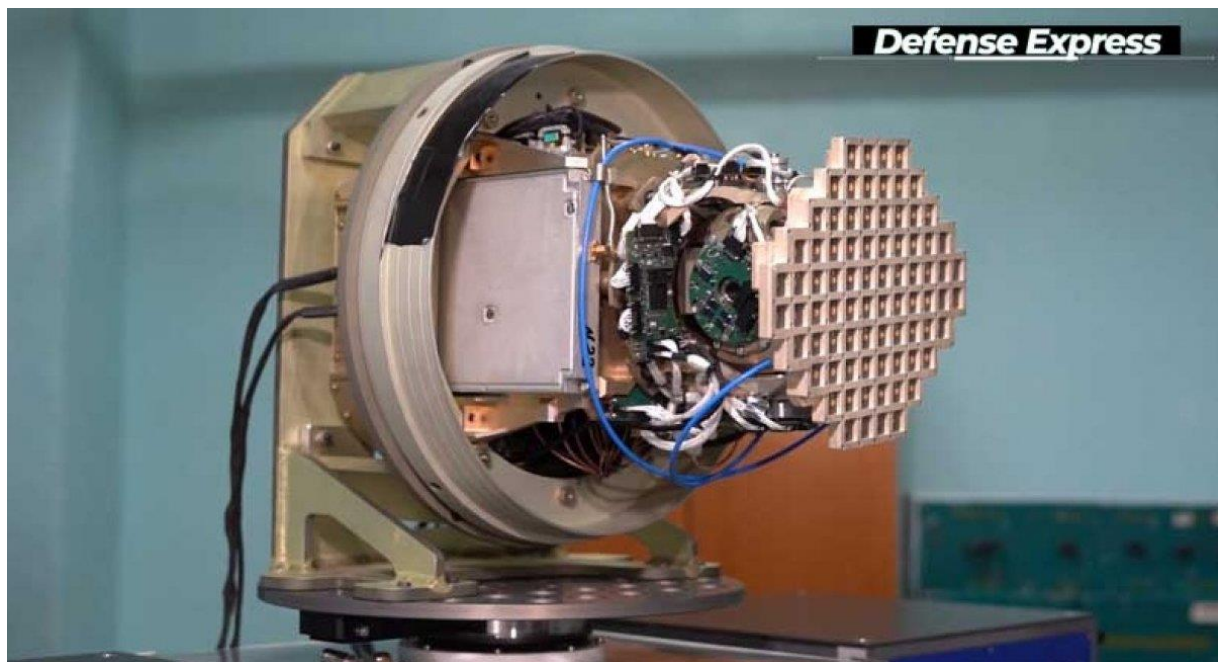


Рис. 1.2 – Радіолокаційна головка самонаведення.[3]

На даний момент для реалізації принципу «вистрілив-забув» для радіолокаційного ГСН (рис.1.2) використовують перехід в активну радіолокаційну ГСН (далі АРГСН) для збільшення точності вимірювання положення цілі, точності наведення та дальності застосування самого снаряду на кінцевому етапі польоту засобу ураження між джерелом запуску боеголовки та заданою ціллю (рис. 1.3).

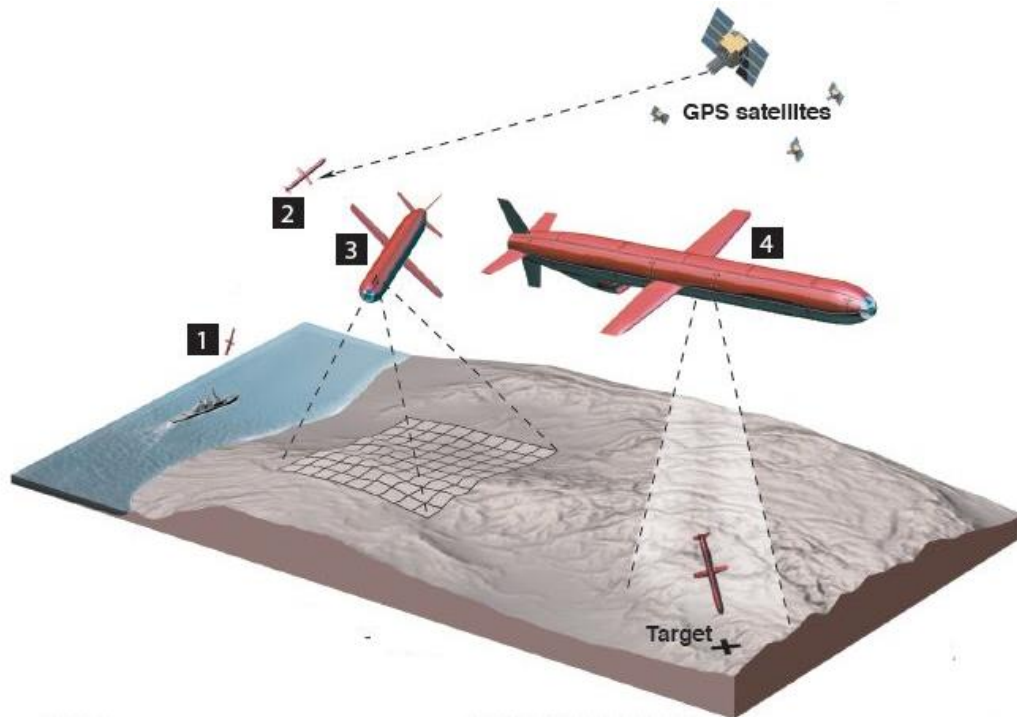


Рис. 1.3 – Схема принципу дії боєголовки з радіолокаційною ГСН, де
 1 – обирається ціль і запускається ракета з установки, після чого снаряд приводиться в рух двигуном; 2 – боєголовка використовує супутники GPS та інші системи наведення для навігації, під час польоту також може переключатися на нову ціль; 3 – ракета робить зображення цілі або інших місць під час польоту та зависає біля неї перед тим як її уразити; 4 – ракета вражає рухому або нерухому ціль або попадає в область біля неї, де вона отримує ушкодження.[4]

В сучасних АРГСН застосовуються:

- Цифрова обробка сигналів, що поглинаються з першої проміжної частоти в широкій смузі частот.
- Високопродуктивні малогабаритні швидкодіючі багатфункціональні процесори.
- Малогабаритні низьковольтні електровакуумні прилади з високим ККД.
- Багатоканальні НВЧ-модулі, що мають низьке значення шуму.
- Волоконно-оптичні датчики кутової швидкості.
- Малогабаритні електродвигуни.

Тому АРГСН мають розміри 150-350мм та важать в межах 8-15 кг, забезпечують супроводження цілі за дальністю, швидкістю та кутовими координатами, режими роботи без цілевказівника, виконують алгоритми щодо захисту від завад як внутрішніх, так і зовнішніх. Прикладом такої боєголовки є АРГСН міліметрового діапазону ЗКР «ERINT». Вона отримує точну інформацію про ціль в кінці польоту.

З метою підвищення завадостійкості ГСН та дублювання каналів отримання інформації про місцезнаходження цілі на етапі самонаведення застосовують багатодіапазонні ГСН, що виконують свої функції в радіолокаційному та оптичному діапазоні хвиль. Прикладом є ЗРК «Aster-30», що оснащена двохдіапазонною ГСН та функціонує в інфрачервоному та радіолокаційному діапазоні хвиль[5].

Перевагами активної системи самонаведення[6] є:

Автономність.

Незалежність від метеоумов та власного випромінювання цілі.

Можливість додаткової селекції по швидкості та дальності.

Недоліками даної системи є:

Мала дальність дії бортової РЛС ракети, необхідне попереднє виведення ракети в положення, яке забезпечує виявлення цілі координатором ракети.

Низька кутова здатність, потрібна додаткова селекція цілей по дальності або швидкості.

Акустична ГСН[7] використовує акустичну сигнатуру, тобто звук, цілі для наведення боєголовки. Зазвичай дану систему використовують для торпед, як на рис. 1.4 та на рис. 1.5. Акустичне ГСН може бути пасивним та активним.

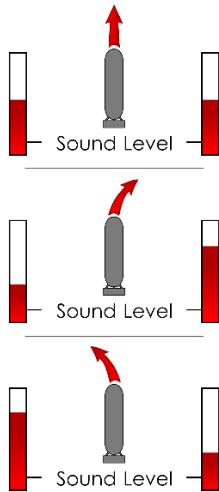


Рис. 1.4

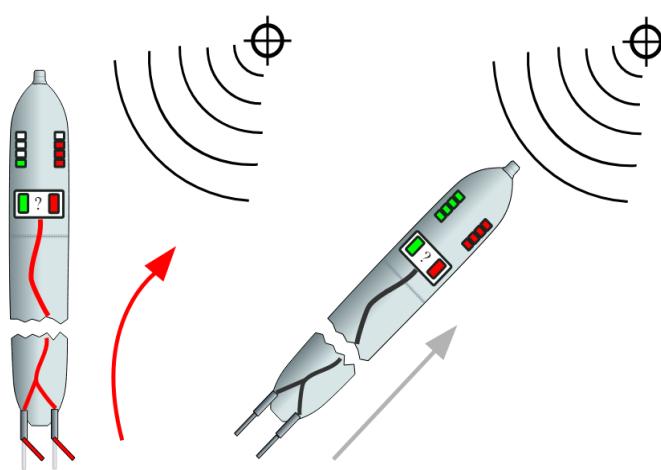


Рис. 1.5 – Принципи роботи торпеди, в якій є акустична ГСН[7][8]

Пасивна акустична ГСН[8] розроблена з метою корегування траєкторії за звуком, тобто їй назустріч або навпаки. Система корегується на виконання даної системи в межах деякого певного звуку^[6] як показано на рис.1.6.

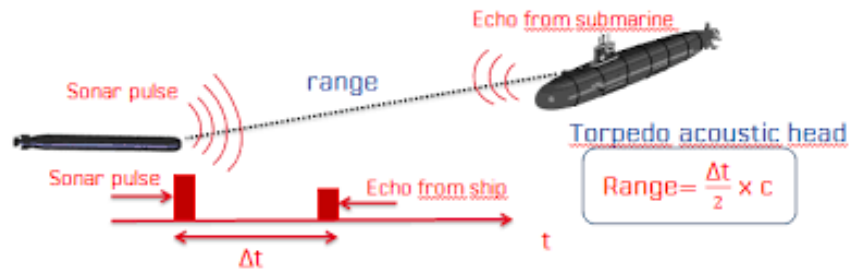


Рис. 1.6 – Принцип корегування траєкторії руху торпеди з пасивною акустичною ГСН.[9]

Активна акустична ГСН використовує активний гідролокатор (рис.1.7). Дана система випромінює звуковий імпульс[8], що згодом відбивається від об'єктів, після чого повертається та розраховуються сигнали відлуння, аби визначити його місце розташування[9].

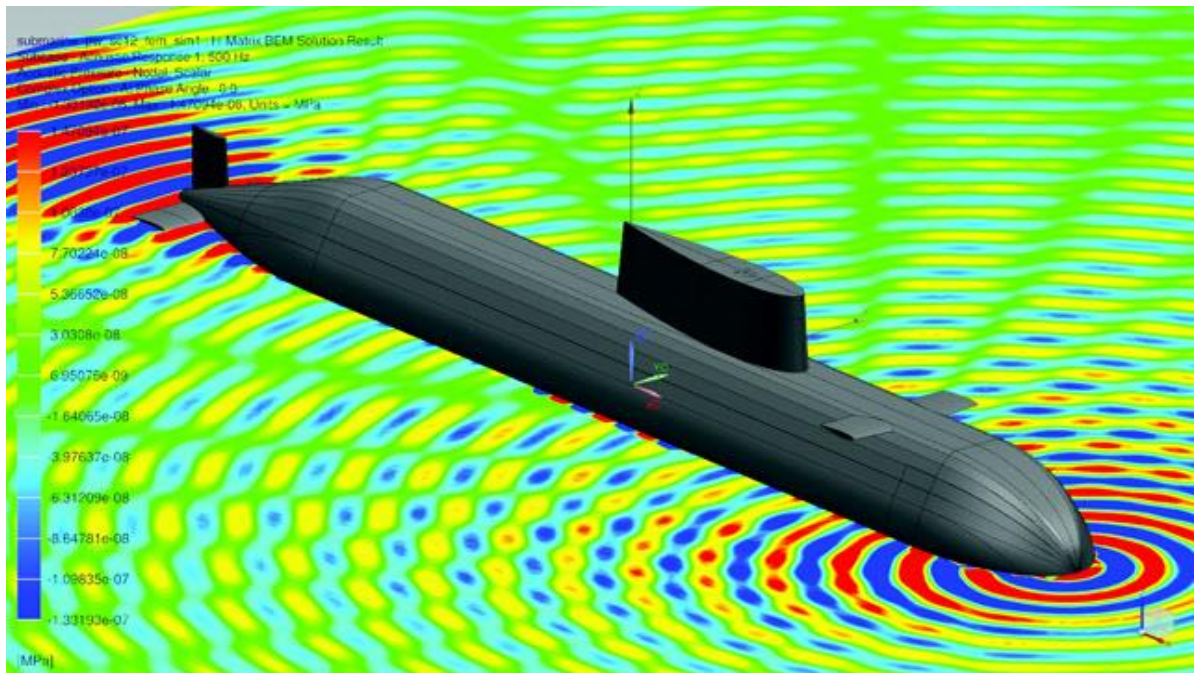


Рис. 1.7 – Принцип роботи виявлення місцезнаходження заданої цілі для активної акустичної ГСН за допомогою гідролокатора.[10]

Боеголовка розробляється з двома та більше акустичними перетворювачами, що виконують функції мікрофонів та динаміків. Велика кількість датчиків дозволяє отримувати та керувати точніше. Якщо перетворювач отримує гучніший звук, ніж отриманий іншим, то снаряд повертається в бік того, де гучніше. На рис.1.8 зображено будову акустичної торпеди.

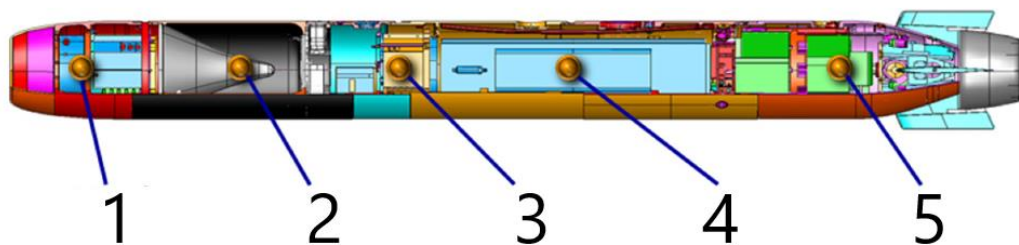


Рис. 1.8 – Будова акустичної торпеди, де 1 – акустична ГСН; 2 – бойова частина; 3 – частина, що відповідає за керування та подачі команд; 4 – батарея або блок живлення; 5 – двигун.[11]

Оскільки в даній роботі розробляється оптична ГСН, то буде розглянута кожна така система з обґрунтуванням вибору однієї з них.

Лазерна система оптичної ГСН з оптичною головкою самонаведення з лазерним цілевказівником – система, принцип дії якої полягає у визначенні головкою самонаведення положення плями, що відображається на визначеній лазерним цілевказівником поверхні рухомого або нерухомого об'єкту.

Телевізійна система оптичної ГСН або телевізійна головка самонаведення – система, принцип дії якої полягає в орієнтуванні світлоконтрастної темної або білої цілі відносно у навколишньому середовищі. Після закріплення боєголовки до цілі, зображення фіксується в даних боєголовки і оновлюється при наближенні до неї.

Теплова система оптичної ГСН або тепла головка самонаведення (Інфрачервона головка самонаведення) [12] – система, принцип дії якої схожий з телевізійною, але вона працює в інфрачервоному монохроматичному діапазоні довжин хвиль, а не в поліхроматичному (рис.1.9).

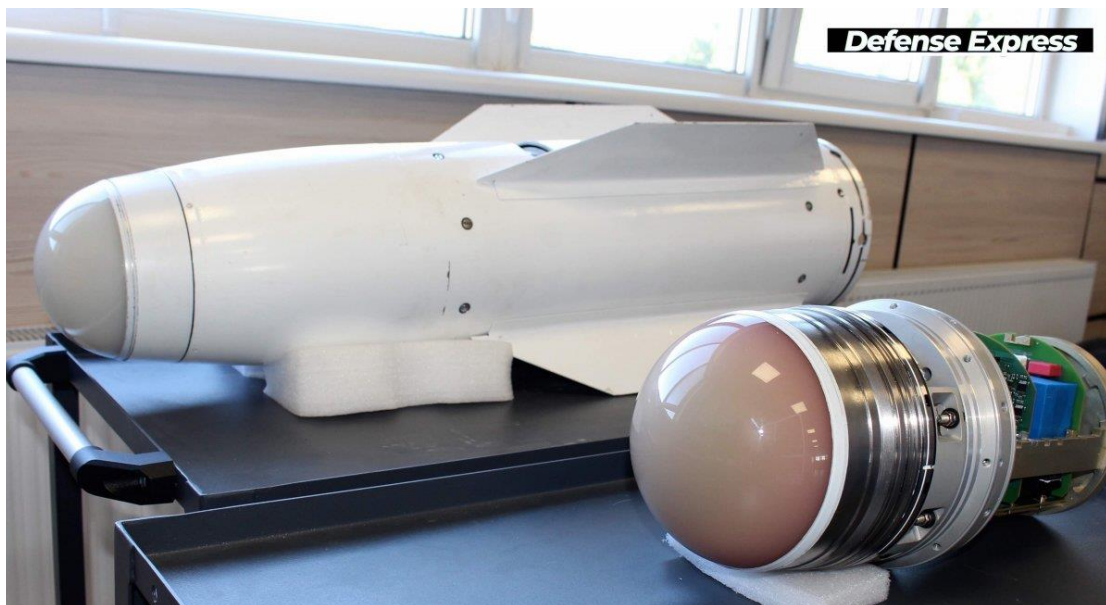


Рис.1.9 – Теплова система оптичної ГСН –
інфрачервона головка самонаведення.[12]

Теплова ГСН працює в умовах низької освітленості та вночі, краще працюють в холодних умовах, оскільки при такій температурі збільшується чутливість та здатність до виявлення порівняно більш холодних об'єктів. Ранні версії інфрачервоних боєголовок були найбільш ефективними у виявленні інфрачервоного випромінювання з короткими довжинами хвиль, тобто 3-5 мікрометрів, тому зараз їх називають «одноколірними» або однодіапазонними голівками. На сьогоднішній день їх використовують у діапазоні 8-13 мікрометрів, що в окремих випадках поглинаються атмосферою, і такі головки визначені як «двоколірні» або дводіапазонними системами. При використанні такої системи, боєголовку стає важче збити з цілі засобами інфрачервоної протидії, наприклад фальшивими тепловими цілями. У табл. 1.1 наведені чотири моделі відповідного ГСН та їх технічні характеристики. Усі параметри, що не записані, не мають конкретної інформації[12]. На рис. 1.10 зображено есхема оптичної системи головки.

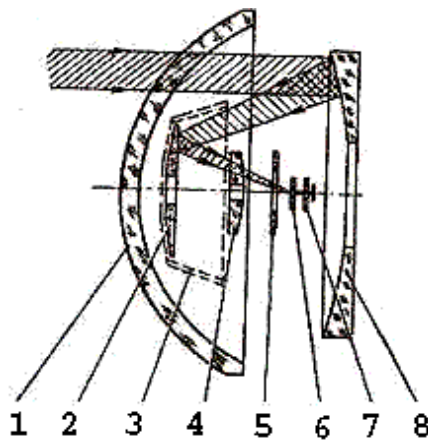


Рис. 1.10 Оптична системи теплової оптичної ГСН: 1- обтічник; 2- плоске дзеркало; 3- ротор гіроскопу; 4- лінза-тримач; 5- діафрагма; 6- моделюючий диск; 7- фотоприймач; 8 - сферичне дзеркало.[14]

На основі теплової ГСН було створено телевізійна ГСН[2]. Вона є в сучасних боєголовках з ІЧ ГСН і має інфрачервону матрицю, що дозволяє сформувати ІЧ зображення цілі, наслідком чого снаряд може відрізнити задану ціль від теплових пасток, які в свою чергу випромінюють точкові джерела (рис.1.11).



Рис. 1.11 – Ракета з телевізійною оптичною ГСН Х-59МКМ «Овод»[15]

Таблиця 1.1 – Технічні характеристики моделей теплових оптичних ГСН[16]

Технічні Характеристики	36Т	УА-96	МК-80	ММ-2000
Дальність захоплення цілі в передній полусфері, км	15–50	0.3–10	0.3–15	15–20
Поле захоплення	$\pm 1^\circ$	—	—	—
Кут супроводу цілі	$\pm 60^\circ$	—	—	—
Кутова швидкість супроводу, град./с.	≥ 15	≥ 30	60	≤ 60
Висота застосування, км	10 000	До 20	До 25	
Відхилення цілі, град.	—	± 44	± 75	± 75
Кут цілевказання, град.	—	± 60	$\pm 45(\pm 60)$	± 60
Робочий діапазон	—	ІЧ, середні хвилі	ІЧ, середні хвилі	ІЧ, середньохвильовий двохспектральний

Продовження таблиці 1.1				
Ймовірність селекції цілі в умовах активних перешкод	—	—	—	>0.9
Поле зору	—	—	—	5 град.

Телевізійна ГСН має свої переваги, як і в тепловій ГСН, в основному широке поле зору, завдяки якому, наприклад, пілоту не має потреби змінювати траєкторію польоту літака\винищувача\гвинтокрила в бік цілі та більш чітко цілитись для запуску снаряду[2]. У табл. 1.2 наведено п'ять моделей боєголовок з даною системою керування.

На сьогоднішній день в боєголовках з телевізійною ГСН використовується матриця у фокальній площині, що має інфрачервоні та ультрафіолетові датчики. Вона здатна працювати в тому ж ІЧ діапазоні, що й матриці ПЗЗ в цифрових камерах. Хоча вона ускладнює процес обробки сигналу, але при цьому має більш точну систему, за допомогою якої важко обманути неправильними цілями, тепловими пастками, зменшення ймовірності самонаведення на сонце. Прикладом ракети, в яку вбудована подібна система, є американська ракета AGM-65 Maverick, що зображена на рис. 1.12.

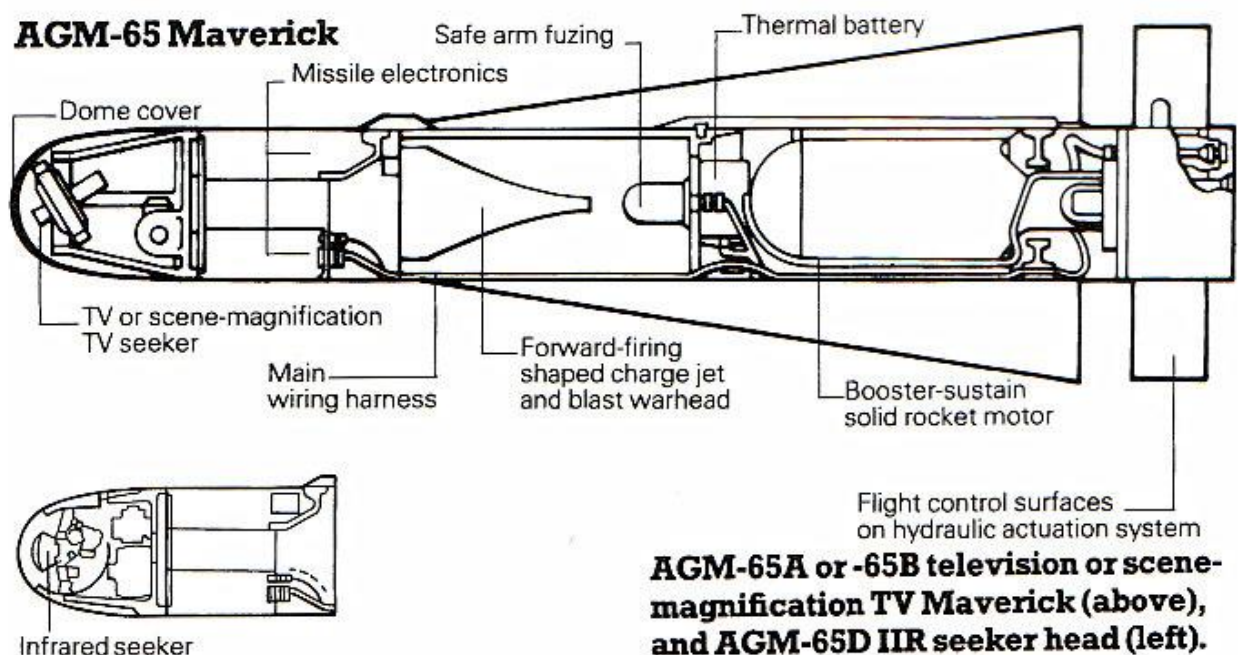


Рис. 1.12 Схема ракети AGM-65 Maverick з телевізійною ГСН[17]

Таблиця 1.2 – Технічні характеристики моделей боеголовки з телевізійною ГСН[16]

Технічні характеристики	Модель боеголовки				
	Maverick AGM-65d	Протикорабельна ракета AS15TT	Зенітно ракетний комплекс Sea Cat	Керована тактична ракета середньої дальності Х-59 «Овод»	Багатоцільовий ракетний комплекс Spike-NLOS
Швидкість польоту ракети, км\год	1150	1000	1162 або 0.95M	1030	468–648
Дальність польоту, км	27	17	6.5	40	25
Дальність закріпл. цілі, км	9–12	-	6	-	
Носій	Винищувач А-10, А-15Е, F-16	Гвинтокрил «Daulphin 2»	Ракетний комплекс	Авіаційна пускова установка АКУ-58	Бронеавтомобіль М-ATV, Sand Cat, баггі Polaris MRZR 4, установка Pereh на шасі танка М48А5 та інші транспортні наземні та повітряні носії
Вага БЧ, кг	135	30	27.5	148	6

На відміну від вище описаних ГСН лазерна ГСН працює на основі лазерного цілевказівника, який керується оператором. Носієм цілевказівника може бути наземний чи повітряний транспорт або фізична особа. Після запуску боєголовки цілевказівник повинен супроводжувати саму ціль до моменту ураження снарядом.

Принцип дії оптичної лазерної ГСН наступний: оператор освітлює ціль, на якій з'являється пляма. Її світло відбивається та приймається боєголовкою, в якому працює оптичний координатор, як на рис.1.13. На фотоприймачі відображається пляма, після чого виникають сигнали, які передаються системі, що коригує траєкторією польоту снаряду (рис.1.14 та рис.1.15).

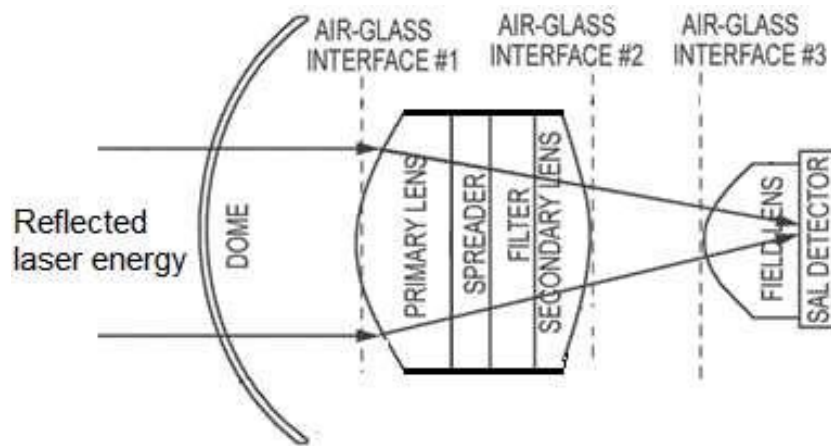


Рис. 1.13 Принципова схема оптичного координатора[18]

Перевагами лазерного ГСН є висока точність попадання в точкові об'єкти без масштабних руйнувань, побудова траєкторії польоту повз перешкоди, робота ГСН при денному та нічному освітленні, мінімальні фальшиві цілі від ворога\супротивника.

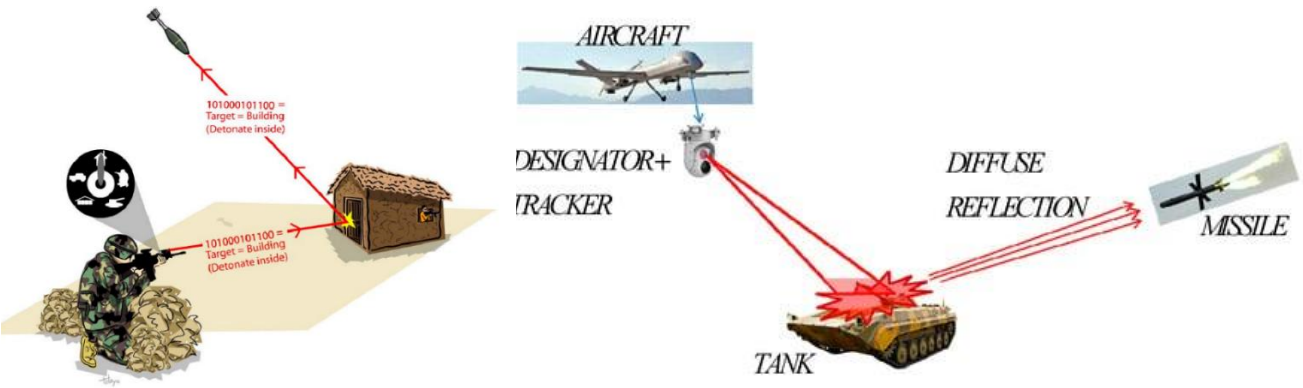


Рис. 1.14 Принцип дії лазерного оптичного ГСН з фізичним оператором[19]

Рис. 1.15 Принцип дії лазерного ГСН за допомогою БПЛА.[20]

Недоліками є метеоумови, перешкоди у вигляді пилу, диму та іншого забруднення атмосфери, що не дозволяє підсвічувати ціль[21]. Зазвичай більшість лазерних ГСН використовує одну й ту ж саму довжину хвилі, а саме 1.064-1.065 мкм, яка працює на великих відстанях.

З усіх можливих лазерних головок самонаведення використовують напівактивну лазерну ГСН, що дозволяє супроводжувати боєголовку від початку запуску до ураження заданої цілі. У табл.1.3 наведені моделі ракет, в яких використовується дана система.

Таблиця 1.3 – Характеристика моделей снарядів, що мають лазерну ГСН[16]

Характеристика	Модель снаряду				
	Maverick AGM-65e	Протитанковий ракетний комплекс Гермес	Комплекс авіаційно го керування зброї Угроза (С-5кор\ С-8кор\ С-13кор)	Авіаційна тактична ракета Х-25МЛ (виріб 713)	Авіаційна тактична ракета Х-29Л

Продовження таблиці 1.3					
Носій	Літак	Автошасі, Гвинтокрил, Корабель	Гвинтокрил	Літак	Літак
Швидкість польоту, км\год	1150	500	37-56 \ – \ –	1440-1620	900-1260
Дальність польоту, км	27	15-40-100	2.5-7 \ 2.5-8 \ 2.5-9 .	2.5-3 – 10	2-3 – 8- 10
Маса БЧ, кг	136	28	–	86	317-320
Точність вистрілу	–	–	0.8-1.8м	5-10м	–
Висота запуску, км	–	–	До 30 \ – \ – .	0.05-5	0.2-10
Максимальна швидкість польоту, м\с	–	1300	450 \ 480 \ 500 .	870	600
Країна	США	росія	росія	росія	росія

Після розбору кожного виду оптичної ГСН усіх вище перелічених принципів дії була складена табл. 1.4 , що описує коротко про кожну систему та порівнює їх.

Таблиця 1.4 – Короткий опис та порівняння принципів дії оптичної ГСН

Параметр	Принцип дії оптичної ГСН		
	Теплова	Телевізійна	Лазерна
Тип супроводження боєголовки	Пасивна система наведення; Принцип «вистрілив – забув»	Пасивна система наведення; Принцип «вистрілив – забув»	Напівактивна система наведення; Принцип «вистрілив – провів до кінця»
Умови для використання	Вночі, при низькій освітлюваності	Вдень, при яскравому світлі	Вдень або вночі, у задовільних умовах для використання
Переваги	Широке поле зору; не обмежує носія в маневрі; краща роботоздатність при охолодженні або при низьких температурах у середовищі використання;	Висока точність попадання в ціль; є автономною; не обмежує носія в маневрі; широке поле зору.	Висока точність ураження заданої цілі; здатність проходження траєкторії польоту без перешкод; відсутність фальшивих цілей; лазерний цілевказівник працює на велику відстань.

Продовження таблиці 1.4			
Недоліки	Нездатність працювати при високих температурах у середовищі використання; можливе потрапляння у теплові пастки	Залежність від метеоумов, складу за забруднення атмосфери	Залежність від метеоумов, складу за забруднення атмосфери; постійне підсвічування цілі лазерним цілевказівником; носій обмежений в маневрі після пуску боеголовки
Робочий діапазон довжини хвилі	ІЧ 3 – 5 мікрон; 8 – 13 мікрон.	Панхроматичний діапазон 0.50-0.89мкм	ІЧ 1064 – 1065 нм.
Оператор	Наземний транспортний та повітряний носії	Наземний транспортний та повітряний носії	Наземний транспортний та повітряний носії та фізична особа

Отримавши уявлення про кожен з принципів дії оптичних ГСН, необхідно обрати той, який задовольняє умовам успішного ураження цілі без зайвих витрат на руйнування території, або усунення можливості непотрібних жертв.

По-перше, зменшення кількості невдалих запусків ракет (рис.1.16). Теплова оптична ГСН (рис.1.17) виконує дану умову лише вночі та при низьких температурах або при охолоджувальних засобах. Телевізійна оптична ГСН (рис.1.18) лише вдень та при яскравому контрастному освітленні. Лазерна оптична ГСН (рис.1.19) вдень та вночі при задовільних умовах атмосфери, тобто у випадках, коли нема задимлення або речовин у повітрі, що перешкоджають лазеру дібратися до цілі, відбитися та надіслати сигнал, що є прямою, снаряду. Універсальним вибором буде Лазерна ГСН.



Рис. 1.16 – Невдалий запуск росіянами високоточної ракети.[22]



Рис. 1.17 – Зображення
теплової оптичної
ГСН.[23]



Рис. 1.18 – Зображення
телевізійної оптичної
ГСН.[24]



Рис. 1.19 – Зображення
принципу дії лазерної
оптичної ГСН.[25]

По-друге, зменшення виникнення проблем із керуванням снарядом. Лазерна оптична ГСН використовує напівактивну систему, тобто супроводження цілі від запуску до ураження цілі. Даний принцип незручний, бо оператор в цьому випадку змушений знаходитися в одному місці та не змінювати свою дислокацію. Оператором може бути як людина, так і наземний та повітряний транспорт, а також БПЛА (рис.1.20).



Рис. 1.20 Оператор ПЗРК Mistral, знаходиться в режимі підсвітки цілі.[26]

Теплова оптична ГСН використовує пасивну систему, яка дозволяє оператору після фіксації заданої цілі та запуску ракети, спокійно змінити своє місцезнаходження, але при цьому сам снаряд може уразити фальшиву теплову ціль, що не досягає вирішення бойової задачі. Оператором при такому принципі може бути наземний, наводний та повітряний транспорт (рис.1.21 та рис. 1.22).



Рис. 1.21 – Запуск ракети Р-27 з тепловою оптичною ГСН 36Т з винищувача.[27]

Телевізійна оптична ГСН використовує таку ж пасивну систему, як і теплова оптична ГСН, але при цьому вона працює у поліхроматичному діапазоні. Після фіксації цілі система отримує фотографію у світлоконтрастному темному або світлому фоні навколо цілі. Оскільки поліхроматичний діапазон захоплює й сонячні промені, то на зображенні можуть відображатися як білі, так і чорні тіні, полоси. Отримана фотографія зберігається у снаряді та запускається в сторону цілі. Кожні декілька мілісекунд-секунд зображення оновлюється автоматично при підльоті до цілі. Даний принцип в даному випадку є задовільним для використання.



Рис. 1.22 – Запуск ракети з багатоцільового РК Spike-NLOS, що встановлений на військову машину.[28]

По-третє, дальність, при якому снаряд потрапить у задану ціль. Використовуючи таблиці 1.1 – 1.3 були обрані снаряди, які мають найбільшу дальність польоту. В теплової оптичної ГСН це ракета 36Т зі шляхом 15-50км, у телевізійної оптичної ГСН – керована тактична ракета середньої дальності Х-59 «Овод» зі значенням у 40км, у лазерної оптичної ГСН – Протитанковий ракетний комплекс Гермес з відстанню у 15-40 – 100 км. В даному випадку найбільш безпечною для запуску боєголовки є лазерна оптична ГСН.

Оскільки обрана головка самонаведення не зовсім виконує умови, тобто оператор розташований в одній локації весь період часу, коли боєголовка виконує своє бойове завдання, то протидії такого недоліку буде використання дрону або БПЛА, або знаходитися на такій відстані, при якому оператора не зможуть виявити.

Загалом, даний принцип відрізняється від інших малою складністю та швидкістю у розрахуванні місцезнаходження цілі, зміну траєкторії польоту, об'єму необхідної пам'яті, а також вартості конструювання самого ГСН.

Недоліками даного принципу дії, як було вище описано[21], є розсіювання світла лазерного цілевказівника відповідно на дальніх відстанях; отримання нечіткої плями, звуження робочого діапазону координатора, метеорологічні завади, підвищення впливу коливань оптичних характеристик атмосфери на траєкторії польоту, перешкоди, що виникають між ціллю та джерелом лазерного випромінювання.

Більшість з них можна частково виправити. Наприклад, для отримання чіткого точкового зображення використати у площині фотоприймача використати сильно дефокусоване зображення зони цілі, що була опроміненою[21]. В такому випадку нівелюються й інші недоліки, а саме лінійний діапазон вихідної характеристики та завадостійкість, яка пов'язана з метеоумовами атмосфери.

Для виконання усіх цих операцій та виправлень необхідно використати ортоскопічний об'єктив, що завдяки своїм абераційним властивостям має гарно виправлену дисторсію, що підвищує точність наведення боєголовки на ціль[21].

Здійснивши габаритні та енергетичні розрахунки оптичної системи, планується отримати координатор, що працює з допомогою лазерного цілевказівника. Це дозволить покращити лінійність передавальної характеристики в заданому робочому діапазоні його роботи та зменшити впливи метеорологічних умов на постійне визначення координат цілі методом дефокусування зображення у площині фотоприймача (рис.1.23).

На рисунку зображено площину фотоприймача, на якому отримана від цілі пляма переміщується в залежності від кута падіння пучка. В роботі [29] викладено принцип дії такого координатора. Коли снаряд запускається, то світлова пляма знаходиться на початку координат фотодіода. Фотодіод має чотири незалежні зони чутливості, завдяки чому визначається положення плями на світлочутливій поверхні фотодіода. Сигнали від кожної з чотирьох зон фотодіода потрапляють до ланки первинної обробки а далі передаються у мікропроцесор для генерації сигналів керування траєкторією снаряда.

Мета – повернення світлової плями у вихідне центральне положення.

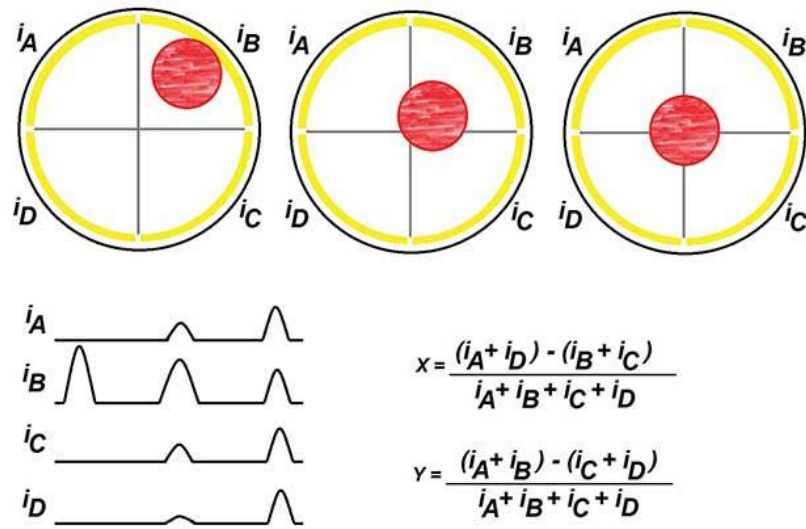


Рис. 1.23 – Зразок отриманої плями та розрахунок змінення траєкторії польоту боеголовки та повернення плями у вихідне положення.[29]

РОЗДІЛ 2. ГАБАРИТНИЙ ТА ЕНЕРГЕТИЧНИЙ РОЗРАХУНКИ ОПТИЧНОЇ СИСТЕМИ КООРДИНАТОРА

Вихідні дані для розрахунків:

- Лазер цілевказівника – Nd YAG;
- Розбіжність пучка лазерного випромінення – 3 мрад;
- Потужність лазерного випромінення цілевказівника в безперервному режимі випромінення – (60-100) Вт;
- Довжина хвилі випромінення – 1.064 мкм;
- Робоча дистанція до цілі для координатора – (500-20) м;
- Робоча дистанція між лазером цілевказівника та ціллю – (1000-500) м;
- Фотоприймач датчика – квадрантний фотодіод YAG-444-4A[30];
- Фокусна відстань об'єктива – (30-40) мм;
- Допустимий максимальний поперечний габарит оптики координатора – 50мм;
- Поле зору координатора – $2\omega = 10^\circ$;
- Розміри зображення світлової плями від цілі в площині фотодіода – 5×5 мм;
- Діапазон переміщення зображення світлової плями в площині фотодіода – ± 5 мм;
- Коефіцієнт відбиття цілі – 0.2 ;
- Мінімальний коефіцієнт світлопропускання атмосфери для лазерного випромінення на дистанції 1000м – $\tau_{atm} = 0.3$.

В результаті габаритного та енергетичного розрахунку оптичної системи потрібно визначити

- потужність лазерного випромінення;
- робочий діапазон дистанції між координатором та ціллю;
- діаметр світлової плями від цілевказівника у площині цілі.

2.1. Складання та розв'язання системи рівнянь

Розміри зображення світлової плями від цілі в площині фотодіоду, що наведені у вихідних даних, обґрунтовані тим, що пляма повинна бути меншою від розміру робочої світлочутливої поверхні фотоприймача у хоча б 4 рази. Оскільки за співвідношенням $\frac{S_{\text{ФПЕ}}}{S_{\text{плями}}} = 4$, а за даними площа фоточутливої поверхні становить

$$S_{\text{ФПЕ}} = \pi R^2 = \frac{\pi \cdot \varnothing^2}{4} = \frac{\pi \cdot 11.4^2}{4} = 102.0703(\text{мм}^2).$$

Таким чином, $S_{\text{плями}} = S_{\text{ФПЕ}} / 4 = (102.0703\text{мм}^2) / 4 = 25.5175\text{мм}^2$.

Сама формула площі плями відноситься до формули площі квадрату $S_{\text{кв}} = a^2$, де a – його сторона. Підставляючи та виражаючи параметр a , отримуємо:

$$a = \sqrt{S_{\text{плями}}} = \sqrt{25.5175\text{мм}^2} = 5.0515\text{мм}.$$

На рис. 2.1 зображено ескіз оптичної системи координатора на ціль. Оскільки головними параметрами є фокусна відстань f' , діаметр зіниці D та відстань від фокальної точки z , то вони вважатимуться невідомими. Кут падіння променів, їх висоти падіння, розмір плями на фотоприймальному елементі, параметр зміщення центру плями відносно початку координат фоториймача відомі та наведені нижче, але записуватимуться у вигляді символів за для зручності розрахунків.

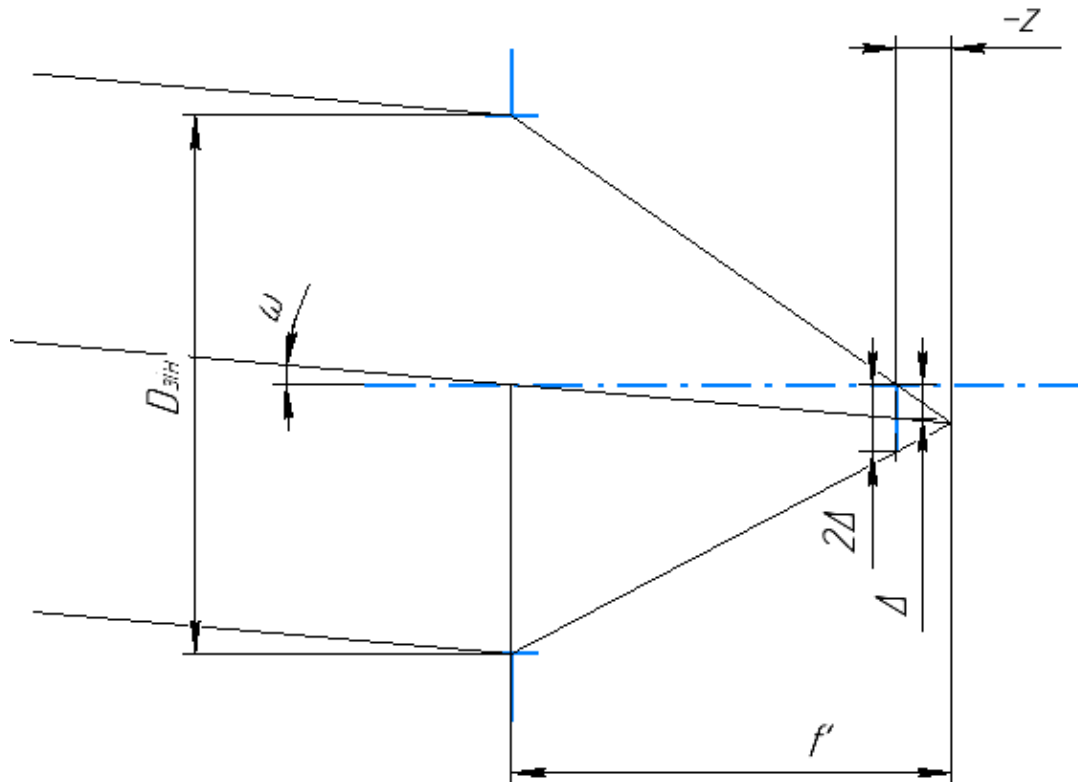


Рис. 2.1 – Ескіз оптичної системи

Для розрахунку фокусної відстані та параметру z необхідно використати наступні формули, які потім перетворити на систему рівнянь:

$$\operatorname{tg} \omega_2 = \operatorname{tg} \omega_1 + \frac{h_1}{f'} \quad (2.1)$$

$$h_2 = h_1 - d \cdot \operatorname{tg} \omega_2 \quad (2.2)$$

Обидва рівняння 2.1 та 2.2 використовуватимуться для трьох променів, що падають на вхідну зіницю під кутом 5° на різних висотах.

Сталими параметрами вважатимуться наступні:

- 1) $\Delta = 2.5 \text{ мм}$. – переміщення плями на фотоприймачі.
- 2) $2\Delta = 5 \text{ мм}$. – розмір плями на фотоприймачі.

3) $\operatorname{tg} \omega_1 = \operatorname{tg} \omega = \operatorname{tg}(5^\circ)$. – тангенс кута, під яким падають промені.

4) $d = f' + z$ – відстань між зіницею та фотоприймачем.

5) Для променів 1,2,3 висоти відповідно:

$$h_1 = 0.5D_{\text{зін}} \text{ та } h_2 = 0;$$

$$h_1 = 0 \text{ та } h_2 = -\Delta;$$

$$h_1 = -0.5D_{\text{зін}} \text{ та } h_2 = -2\Delta.$$

Параметри h_1 та h_2 виражають висоти на об'єктиві та на фотоприймальному елементі відповідно. Параметри ω_1 та ω_2 виражають кути падіння променів до проходження через систему та після відповідно.

Система рівнянь для першого променю:

$$\begin{cases} \operatorname{tg} \omega_2 = \operatorname{tg} \omega + \frac{0.5D}{f'}, \\ 0 = 0.5D - d \cdot \operatorname{tg} \omega_2 \end{cases}$$

$$\begin{cases} \operatorname{tg} \omega_2 = \operatorname{tg} \omega + \frac{0.5D}{f'}, \\ 0.5D = d \cdot \operatorname{tg} \omega_2 \end{cases}$$

$$0.5D = d \cdot \left(\operatorname{tg} \omega + \frac{0.5D}{f'} \right),$$

$$0.5D = d \cdot \operatorname{tg} \omega + d \cdot \frac{0.5D}{f'},$$

Звідси, за для зручності, виразимо фокусну відстань

$$f' = \frac{0.5D \cdot d}{0.5D - d \cdot \operatorname{tg} \omega}. \quad (2.3)$$

Система рівнянь для другого променю:

$$\begin{cases} tg \omega_2 = tg \omega + \frac{0}{f'}, \\ -\Delta = 0 - d \cdot tg \omega_2 \end{cases}$$

$$\begin{cases} tg \omega_2 = tg \omega, \\ \Delta = d \cdot tg \omega_2 \end{cases}$$

Звідси виразимо невідомий параметр «d»

$$d = \frac{\Delta}{tg \omega}. \quad (2.4)$$

Даний параметр буде використаний в подальших розрахунках у новоствореній системі.

Система рівнянь для третього променю:

$$\begin{cases} tg \omega_2 = tg \omega + \frac{-0.5D}{f'}, \\ -2\Delta = -0.5D - d \cdot tg \omega_2 \end{cases}$$

$$\begin{cases} tg \omega_2 = tg \omega + \frac{-0.5D}{f'}, \\ 2\Delta = 0.5D + d \cdot tg \omega_2 \end{cases}$$

$$-2\Delta = -0.5D - d \cdot \left(tg \omega + \frac{-0.5D}{f'} \right),$$

$$2\Delta = 0.5D + d \cdot tg \omega - d \cdot \frac{0.5D}{f'},$$

$$\frac{d \cdot 0.5D}{f'} = 0.5D + d \cdot tg \omega - 2\Delta,$$

Звідси виразимо, за для зручності використання, також параметр f'

$$f' = \frac{d \cdot 0.5D}{0.5D + d \cdot \operatorname{tg} \omega - 2\Delta}. \quad (2.5)$$

Після розрахунків, підставимо рівняння (2.4) у рівняння (2.3) та (2.5) та побачимо, що вони ідентичні, тобто система складається з двох рівнянь та трьома невідомими, тобто f' , D та z .

В такому випадку необхідно було б підбирати параметри f' та D , але нехай параметр D є заданим. Таким чином визначаємо залежність f' із двох рівнянь:

$$\left\{ \begin{array}{l} f' = \frac{0.5D \cdot \Delta}{(0.5D - \Delta) \cdot \operatorname{tg} \omega}, \\ f' = \frac{0.5D \cdot \Delta}{(0.5D + \Delta - 2\Delta) \cdot \operatorname{tg} \omega} \end{array} \right.$$

$$\left\{ \begin{array}{l} f' = \frac{0.5D * \Delta}{(0.5D - \Delta) * \operatorname{tg} \omega}, \\ f' = \frac{0.5D * \Delta}{(0.5D - \Delta) * \operatorname{tg} \omega}. \end{array} \right.$$

Таким чином, можна побачити, що вони дійсно ідентичні, особливо у випадку, коли параметр D є заданим. При цьому параметр f' , що за формулою з рівняння (2.4), має значення 28,5751мм.

З цього рівняння було отримано залежність $f'(D)$. Тому нехай параметр D має значення від 20мм до 50мм. Тоді, згідно даної залежності, отримаємо графік, що зображено на рис. 2.2. В ньому також наведено залежність $z(D)$, що була виражена через вираз $d = f' + z$.

Дані графіки були побудовані у середовищі програми «Mathcad» 15 версії.

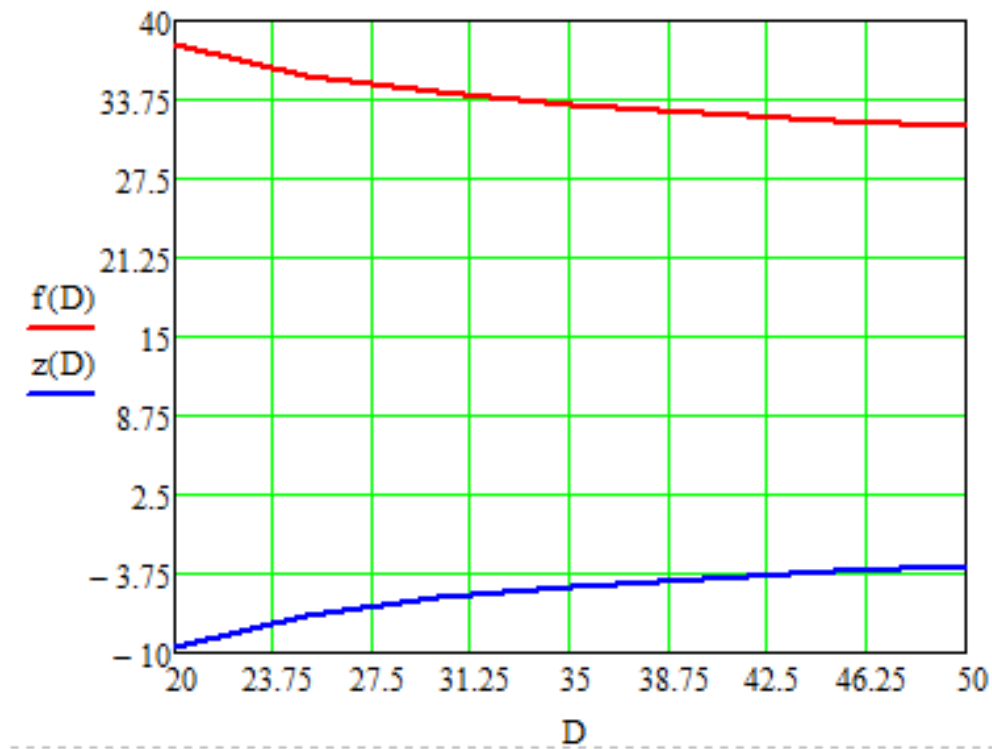


Рис. 2.2 – Графік залежності фокусної відстані та відстані відносно фокальної точки від діаметру зіниці.

Також на основі даного графіку було отримано таблицю зі значеннями при кожному значенню параметра D (табл.2.1). У цій таблиці можна побачити, що при збільшенні діаметра входної зіниці, фокусна відстань та відстань фотоприймача від фокальної точки зменшуються. Ця залежність є зручною для визначення габаритів самого оптичного координатора, бо чим менше він займає місця у снаряді, тим дешевшим буде сама боєголовка. Також не треба забувати, що у вільне місце, де знаходився б координатор з меншим діаметром входної зіниці, можна додати більше мікросхем задля прискорення обробки інформації. Або сам снаряд буде меншим, що суттєво знизить його собівартість при конструюванні та закупівлі необхідного матеріалу.

Таблиця 2.1 – Таблиця залежності $f'(D)$
та $z(D)$ від параметру D

$D =$	$f(D) =$	$z(D) =$
20	38.10017	-9.52504
25	35.71891	-7.14378
30	34.29016	-5.71503
35	33.33765	-4.76252
40	32.65729	-4.08216
45	32.14702	-3.57189
50	31.75015	-3.17501

Опираючись на вихідні дані, тобто зіниця $D_{\text{zin}} = 40 \text{ мм}$, то фокусна відстань $f' = 32,6573 \text{ мм}$.

Використовуючи формулу $d = f' + z$, виразимо z , а саме $z = d - f'$.

Звідси, $z = 28,5751 - 32,6573 = -4,0822 \text{ мм}$.

Таким чином, ми отримаємо систему, що прийматиме відбиту від цілі пляму та змінить її розміри та положення настільки, щоб отримана пляма вміщалася на площині фотодіоду в квадраті розміром $5 \times 5 \text{ мм}$, що буде відповідати умовам завдання. Фотоприймач розташовуватиметься на відстані z так, щоб промені, які потрапляють в оптичну систему, не перетнулися саме в тій площині, де буде розташована Площина Зображення. Даний метод необхідний для того, аби при зміщенні плями, координатор не втратив її з його поля зору.

На рис. 2.3 зображено готовий ескіз оптичної системи. Результатом даної системи отримано пляму на фотодіоді, що зображено на рис.2.4 – це ескіз плями, що знаходиться на площині фотоприймального елементу та потрапляє у систему під кутом 5° , при цьому Δ – зміщення центру плями відносно центру фотоприймача.

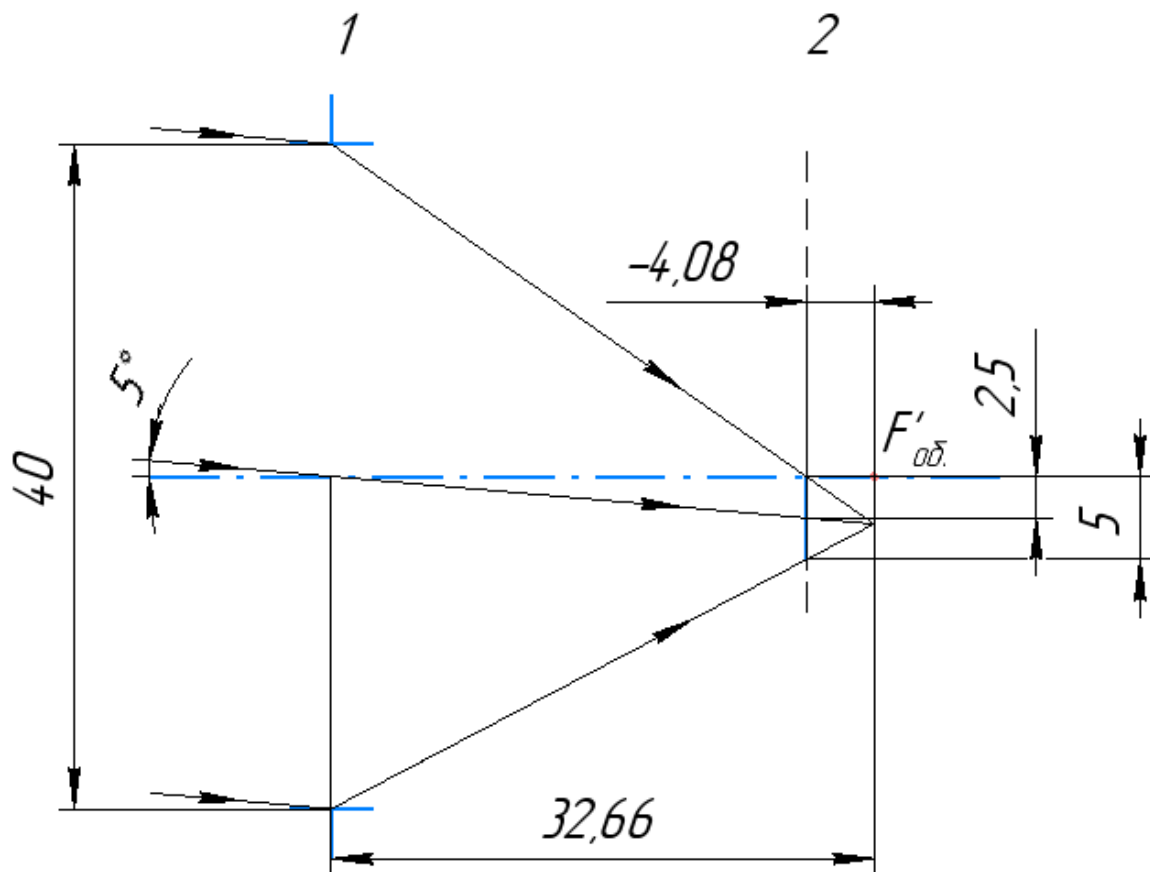


Рис. 2.3 – Готовий ескіз оптичної системи, де: 1 – вихідна зіниця об'єктиву;
2 – фотоприймач.

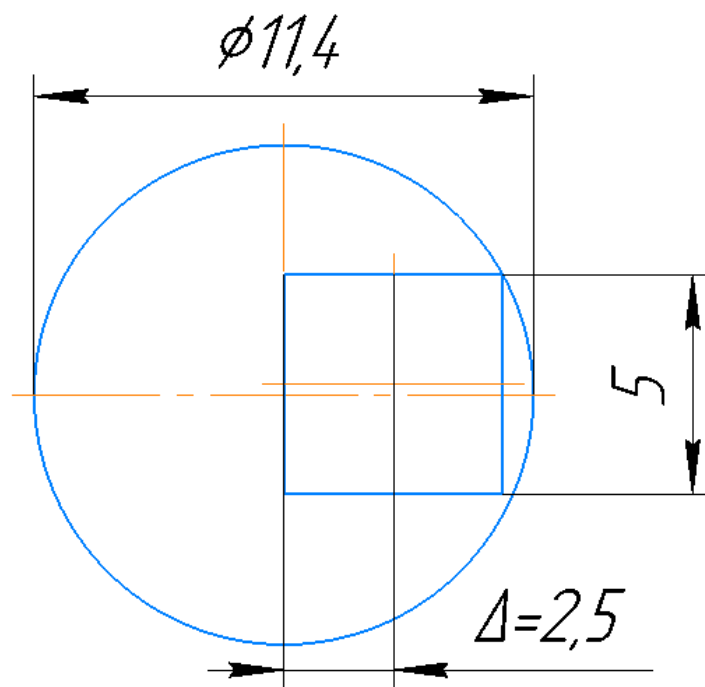


Рис. 2.4 – Ескіз плями у площині фотоприймального елементу

2.2. Енергетичний розрахунок

Для виконання енергетичного розрахунку необхідні вихідні дані. Із поставленого завдання є весь мінімум необхідних початкових параметрів.

Вихідні дані:

1) Потужність YAG-лазеру, активний ND^{++} в режимі постійного випромінювання, що має середню потужність $P=50\dots 100$ Вт.

2) Із габаритного розрахунку об'єктиву виходить, що при великих значеннях діаметру зіниці різко збільшується їх відносний отвір $\frac{D}{f'}$. Тому граничним можна вважати $\frac{D}{f'}=1:1\dots 1:0.75$. В даний діапазон попадає об'єктив при $2\omega=10^\circ$; $D=40\text{мм}$; $f'=32,66\text{мм}$; $z=-4,08\text{мм}$; $(D : f')=1:0.817$.

3) На початковий момент запуску відстань між координатором та ціллю така ж, як і між ціллю та лазерним цілевказівником і становить $l=1000\dots 500\text{м}$.

4) На відстані 1000м коефіцієнт пропускання атмосфери для каналу підсвітки лазером та для каналу ціль – координатор має значення $\tau_{\text{атм}}=0,8$.

5) Коефіцієнт відбиття цілі $\rho=0,3$.

6) При відношенні $\frac{c}{m}=10$ на поверхню зіниці повинен надходити потік

$$\Phi = 10^{-7} \frac{Bm}{\tau_{об}}, \text{ де } \tau_{об} - \text{коефіцієнт пропускання об'єктиву.}$$

Необхідно розрахувати:

1) Потужність (потік P), яку повинен випромінювати лазер при $l=1000\text{м}$.

2) Відстань l , при якому буде достатнім потік $P=60\text{Вт}$.

На рис. 2.5 та рис. 2.6 зображено схеми положень та параметрів цілі, оператора та оптичного координатора.

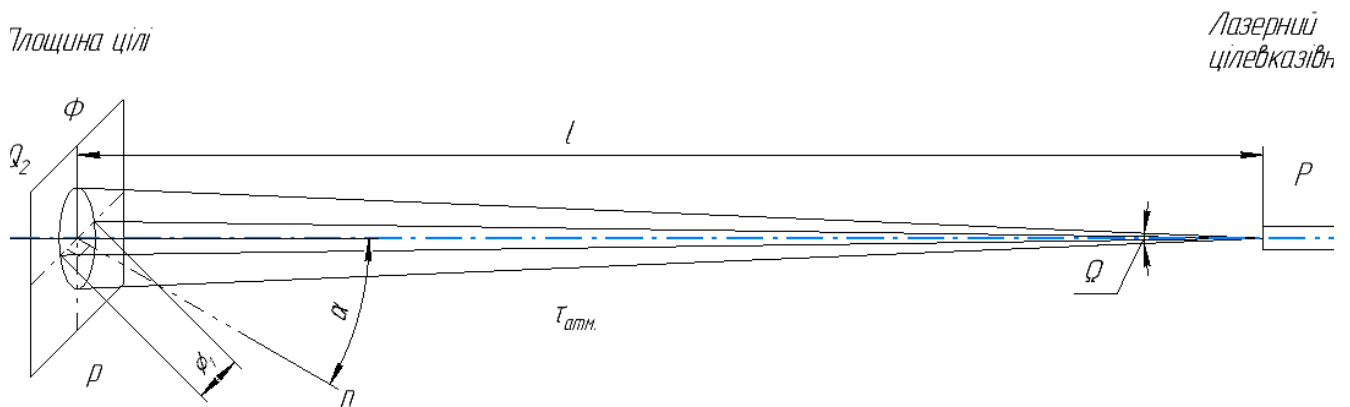


Рис. 2.5 – Схема положення та параметрів цілі та оператора, де «n» - нормаль поверхні цілі

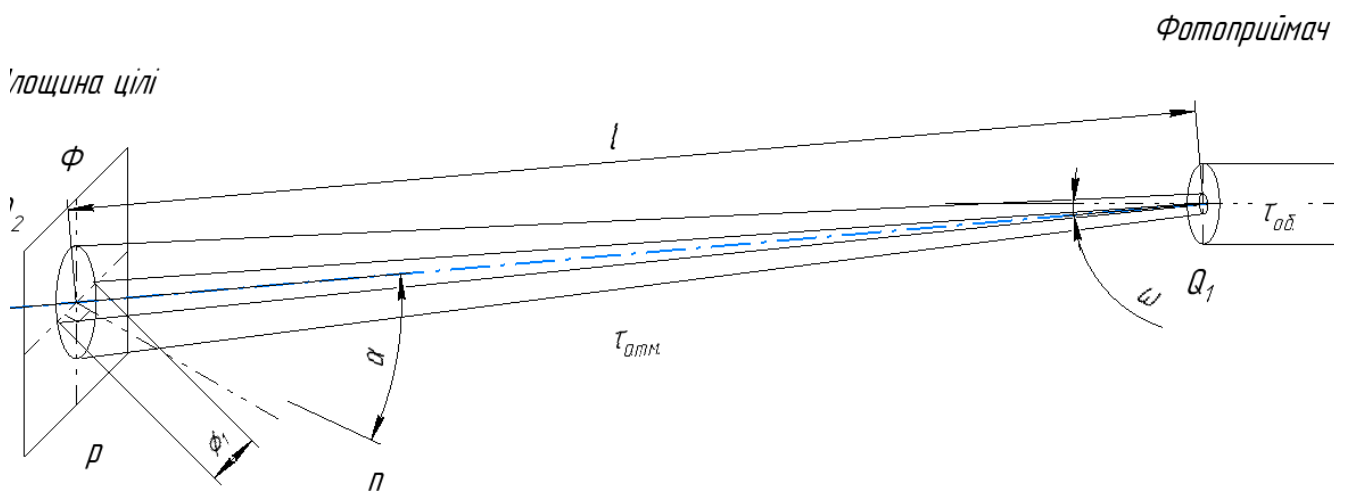


Рис. 2.6 – Схема положення та параметрів цілі та оптичного координатора

Розрахунок:

1) Потік, що надходить на вхід квадрантної зіниці зі стороною $a=40\text{мм}$, розраховується за формулою:

$$\Phi = L \cdot \frac{(Q_1 Q_2 \cdot \cos \omega \cdot \tau_1)}{l^2}, \text{ де} \quad (2.6)$$

$Q_1 = a^2$ – площа зіниці,

$\tau_1 = \tau_{atm}$ – коефіцієнт пропускання атмосфери на відстані між ціллю та координатором,

Q_2 – площа опроміненої зони на цілі.

2) Опромінена поверхня на цілі має площу $Q_2 = \Omega l^2$, де

$\Omega[\text{рад}] = 1\text{мрад} = 10^{(-3)}\text{рад}$ – тілесний кут, розбіжність лазерного випромінювання.

3) Опроміненість E площі Q_2 від лазеру.

$$E = \frac{P \cdot \tau_2}{Q_2}, \text{ де}$$

τ_2 – коефіцієнт пропускання атмосфери на дистанції лазер-ціль.

При цьому

Q_2 – дифузний розсіювач, яскравість якого

$$L = \frac{E}{\pi} \rho = \frac{P \cdot \rho \cdot \tau_2}{\pi \cdot Q_2} \quad (2.7)$$

Якщо лазер підсвічує ціль під кутом α то нормалі цілі, то

$$L = \frac{E}{\pi} \rho = \frac{P \cdot \rho \cdot \tau_2}{\pi \cdot Q_2} \cos \alpha \quad (2.8)$$

Підставляючи (2.8) в (2.6) отримаємо:

$$\Phi = \frac{P \cdot \rho \cdot \tau_2}{\pi \cdot Q_2} \cos \alpha \cdot \frac{Q_1 Q_2 \cdot \cos \omega \cdot \tau_2}{l^2} = \frac{P \cdot \rho \cdot Q_1 \cdot \tau_1 \tau_2}{\pi l^2} \cos \alpha \cos \omega, \quad (2.9)$$

Звідси потужність лазера:

$$P = \frac{\Phi \pi l^2}{\rho \cdot \tau_1 \tau_2 \cdot Q_1 \cdot \cos \alpha \cos \omega} \quad (2.10)$$

Зауваження

Формули (2.6) та ту, що з неї випливає, формулу (2.10) доцільно використовувати при таких відстанях l , при яких зображення цілі (площинки Q_2) у фокальній поверхні об'єктиву настільки мале, що не впливає на розмір квадратної світлової плями в дефокусованому зображенні на фотоприймачі.

Розрахунок потоку випромінювання P при заданих вище вихідних даних:

$$Q_1 = 40 \times 40 \text{ мм}^2 = (0.04 \text{ м})^2 = 16 \cdot 10^{(-4)} \text{ м}^2$$

$$\Phi = 10^{-7} \text{ Вт}$$

$$l = 10^3 \text{ м}.$$

$$\rho = 0.3; \tau_1 = 0.8; \tau_2 = 0.8; \omega = 5^\circ; \alpha = 5^\circ.$$

Тоді

$$P = \frac{10^{(-7)} \text{ Вт} \cdot 3,14 \cdot 10^6 \text{ м}^2}{0,3 \cdot 0,8 \cdot 0,8 \cdot 16 \cdot 10^{(-4)} \text{ м}^2 \cdot (\cos(5^\circ))^2} = \frac{3,14 \cdot 10^3}{4,8 \cdot 0,64 \cdot 1} \text{ Вт} = 1022,65 \text{ Вт}$$

Якщо є можливість використовувати лазер з потужністю в 307Вт, то на даному етапі розрахунок можна вважати закінченим.

Якщо ж є обмеження для потужності, то формула (2.10) дозволяє знайти відстань «l» при заданому значенні «P».

Нехай $P = 100 \text{ Вт}$, тоді з (2.10)

$$l = \sqrt{\frac{P \cdot \rho \cdot \tau_1 \tau_2 \cdot Q_1 \cdot \cos \alpha \cos \omega}{\pi \Phi}} =$$

$$= \sqrt{\frac{100 \text{ Вт} \cdot 0,3 \cdot 0,64 \cdot 16 \cdot 10^{(-4)} \text{ м}^2 \cdot 0,996^2}{\pi \cdot 10^{(-7)} \text{ Вт}}} = \sqrt{\frac{4,8 \cdot 0,64 \cdot 10^{(-2)} \cdot 0,996^2}{\pi \cdot 10^{(-7)}}} \text{ м} = 311,45 \text{ м}.$$

Таким чином було виведено формулу, за допомогою якої можна розрахувати відстань до цілі через задану необхідну потужність лазерного цілевказівника, якщо його тип та/або потужність відрізняються, з усіма параметрами, що були дані у завданні.

2.3. Аналіз впливу та діаметру плями на цілі

Попередній енергетичний розрахунок та формули розрахунку необхідної потужності лазера при заданій відстані від нього до цілі чи розрахунок допустимої максимальної відстані між лазером та ціллю при заданій потужності лазера виявив, що в даних формулах відсутній діаметр світлової плями від лазера в зоні цілі, що впливає на коректність роботи усієї системи (рис.2.7). Сама світлова пляма від лазера в зоні цілі повинна відповідати необхідному діаметру аби вона відображалася на невеликій ділянці цілі, а не виділяла усю ціль, що може привести до невдалого виконання бойового завдання снарядом. Нехтування цього моменту наражає на небезпеку недопустимих цілей. Наприклад, якщо ціль розташована між жилими будинками, то у разі зневажання світлової плями призведе до знищення громадських місць, а в гіршому випадку й до смерті невинних людей.

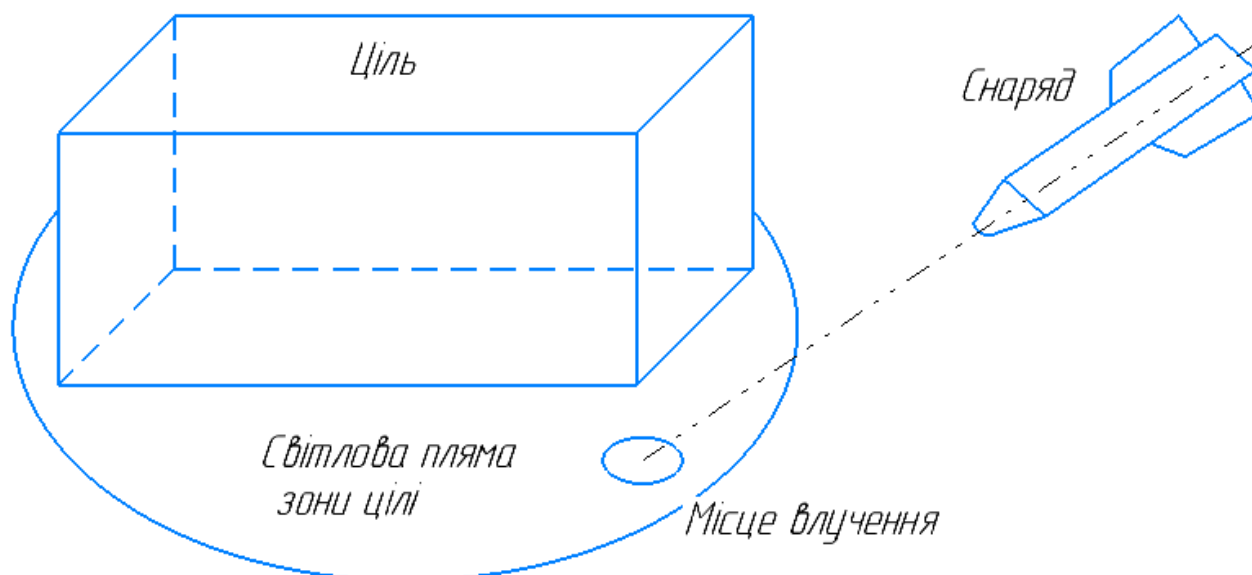


Рис. 2.7 – Схема прикладу некоректної роботи системи, де не врахований розмір світлової плями від лазера в зоні цілі (координатор розрахований на менший діаметр, ніж ціль отримує від лазерного цілевказівника)

Аналіз даного результату показує, що до тих пір, поки зображення, сформульоване об'єктивом світлової лазерної плями на світлочутливій поверхні фотодіоду не перевищує $5 \times 5 \text{ мм}$ фактичних розмірів світлової лазерної плями в зоні цілі, впливу на роботу координатора не має.

В залежності зближення координатора до цілі під час польоту, розміри зображення світлової плями на фотодіод можуть суттєво перевищити $5 \times 5 \text{ мм}$ та порушити функціонування координатора внаслідок втрати чутливості діоду до зміщення плями по його поверхні (рис.2.8). Втрата чутливості визначається тоді, коли сформована світлова пляма на фотодіоді перевищує фактичний розмір необхідної та у випадку, коли додатково до попереднього ще й зміщується у напрямку, що призводить до втрати з поля зору. Чим більший діаметр світлової плями, що потрапляє на об'єктив, від вхідної зіниці, тим менша точність до потрапляння у центр плями у зоні цілі.

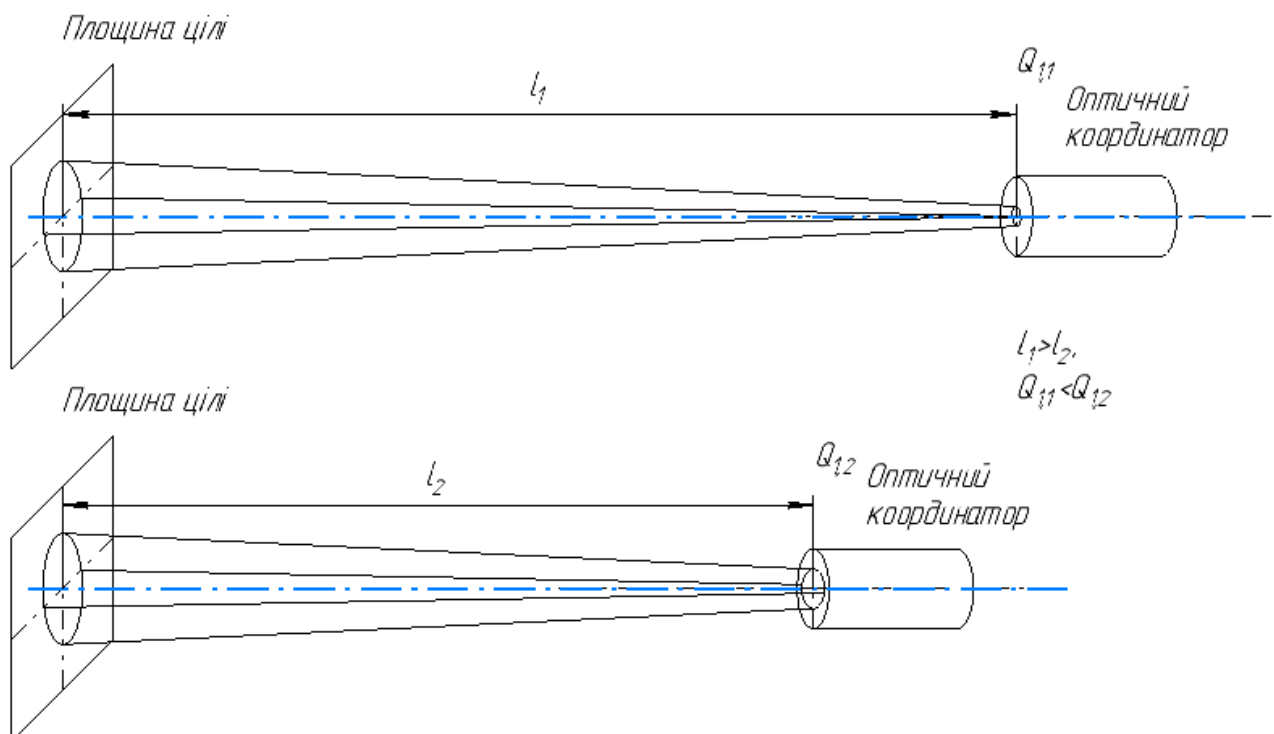


Рис. 2.8 – Схема залежності розміру плями на вхідній зіниці координатора, внаслідок й на фотоприймачі, від відстані між оптичним координатором та площиною цілі

Відрізок MN відображає розмір світлової плями на поверхні фотодіоду. Його величина відображається ходом променю, який виходить із точки A – краю світлової плями від випромінення лазером.

Хід цього променю залежить від розміру плями $\varnothing_2$ та від віддалення плями від об'єктиву – відрізка a .

Для розрахунку відрізка MN достатньо знайти хід нульового променю з точки A , який проходить через верхній край діафрагми (зіниці) об'єктиву та знайти висоту даного променю – відрізок MN в площині фотоприймача.

Початкові параметри даного променю:

$$\operatorname{tg} \sigma_1 = \frac{0.5 \cdot (D + \varnothing_2)}{a}.$$

$$h_2 = 0.5D.$$

Після проходження даного променю через об'єktiv отримаємо

$$\operatorname{tg} \sigma_2 = \operatorname{tg} \sigma_1 + \frac{h_1}{f'} = \frac{0.5(D + \varnothing_2)}{a} + \frac{0.5D}{f'} = 0.5 \left(\frac{0.5(D + \varnothing_2)}{a} + \frac{D}{f'} \right).$$

Висота променю в площині фоточутливої поверхні фотодіоду:

$$2MN = D - (f' + z) \left(\frac{D + \varnothing_2}{a} + \frac{D}{f'} \right). \quad (2.11)$$

Якщо $a = -\infty$, то $2MN$ повинно відповідати $2\Delta = 5\text{мм}$.

Перевіримо формулу при $D = 40\text{мм}$, $z = -4.08\text{мм}$, $f' = 32.66\text{мм}$:

$$2MN = 40 - (32.66 - 4.08) \left(\frac{40}{32.66} \right) = 4.997\text{мм},$$

що відповідає про її коректність.

Формула (2.11) дозволяє досліджувати залежність $2MN(a)$ від віддалення a та розміру світлової плями $\varnothing_2$.

Перетворимо (2.11) до вигляду, більш зручному для аналізу:

$$2MN = D - \frac{(f' + z) \cdot D}{f'} - \frac{(f' + z)(D + \varnothing_2)}{a} = D \left(1 - \frac{f' + z}{f'} \right) - \frac{(f' + z)(D + \varnothing_2)}{a} \quad (2.12)$$

Перший доданок у виразі (2.12) становить 2Δ – стороні світлової квадратної плями на фотодіоді, при $a = -\infty$.

Другий доданок – приріст сторони квадрата 2Δ в залежності зближення координатора до цілі.

В залежності зближення в польоті координатора до цілі, дистанція «а» зменшується, зображення плями зміщується від об'єктиву, збільшення зображення росте. Усі ці зміни призводять до збільшення розмірів світлового квадрату на фотодіоді. Такі збільшення плями призводять до зменшення сигналів, що надходять з елементів фотодіоду, в сторону їх погіршення. Може здатися, що весь світловий квадрат на фотодіоді повністю перекриватиме всі чотири его елементи і це призведе до втрати його функціонування, що зовсім недопустимо.

Звідси виникають дві задачі:

1) На яких дистанціях a приріст розмірів світлового квадрата може вважатися допустимим, наприклад не більше 10%;

2) Які розміри (діаметр $\varnothing_2$) повинна мати пляма від лазеру в зоні цілі, якщо встановлений робочий діапазон для координатора по дистанції a , наприклад $a = -[1000...15.м]$ (Рис.2.10).

На основі результатів із п.2 яка розбіжність повинна бути у випромінювання лазеру, що працює на борту літального апарату, якщо його переміщення під час пуску снаряду з координатором призводить до змінення дистанції від лазеру до цілі, наприклад, в діапазоні $[1000 - 500]м$.

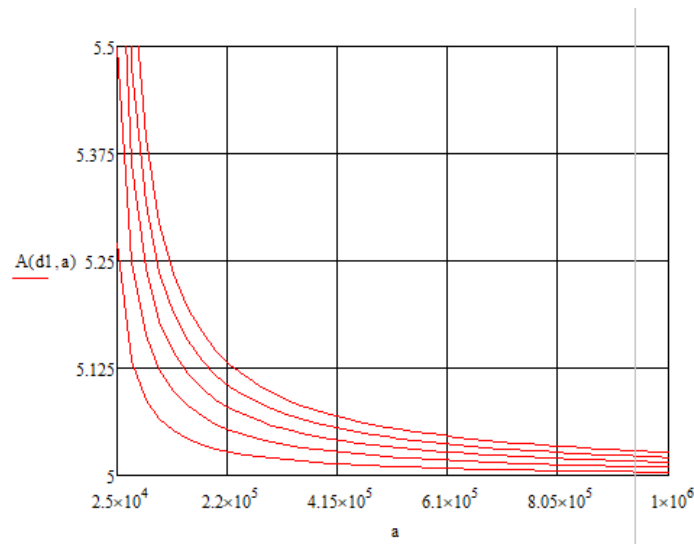


Рис. 2.10 – Графік залежності розміру плями лазера в зоні цілі при відстанях 1000м, 800м, 600м, 400м, 100м.

2.4 Обґрунтування потрібного діаметру світлової плями в площині цілі

Для коректного функціонування координатора необхідно мати такий діаметр освітленої зони в площині цілі, при якому в робочому діапазоні відстаней між координатором і ціллю квадратна світлова пляма в світлочутливій площині фотодіода не виходила своїми габаритами за допустимі межі. Наприклад, сторона квадрата 5×5 мм не повинна бути більшою на 10%, тобто допустимі габарити світлового квадрата на фотодіоді – 5.5×5.5 мм, що несуттєво вплине на функціонування фотоприймача.

Аналіз впливу відстані «а» та діаметру світлової плями $\varnothing_2$ в площині цілі наведена графіками $A(a, \varnothing_2) = 2MN(a, \varnothing_2)$ на рис. 2.11.

Додатково до вище зазначеного, графік функції $a(\varnothing_2)$ довів, що при $A = 5.5$ мм між a та $\varnothing_2$ існує умовна залежність, що дозволяє при заданих значеннях a розрахувати необхідний діаметр $\varnothing_2$, що свідчить про те, що даний метод та дану роботу можна вдосконалювати, додавши додаткові параметри у задані вихідні дані або скорегувавши їх задля отримання бажаного результату у майбутньому.

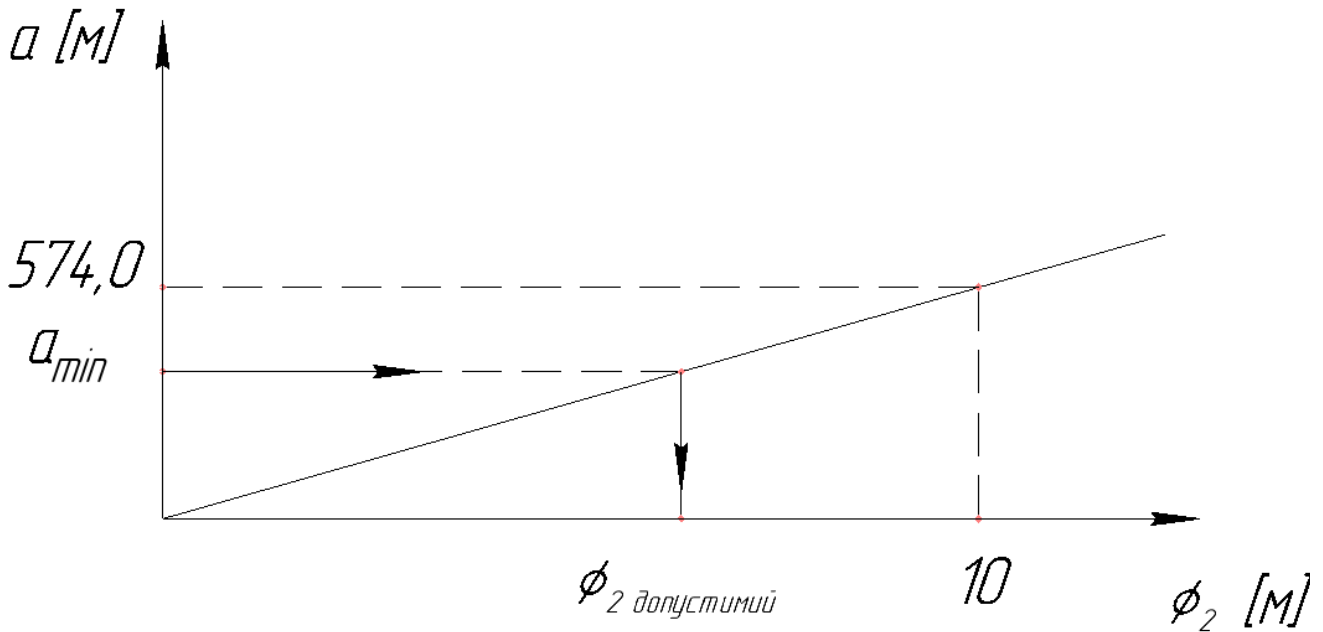


Рис. 2.11 – Аналіз впливу відстані до цілі на діаметр світлової плями на цілі

Тому якщо $a_{\min} = 20\text{ м}$, то з графіку отримаємо $\frac{\varnothing_{2 \text{ доп.}}}{a_{\min}} = \frac{10}{574}$, звідки

$$\varnothing_{2 \text{ доп.}} = \frac{a_{\min} \cdot 10}{574} = \frac{20 \cdot 10}{574} = 0.348(\text{м}).$$

Значення $\varnothing_{2 \text{ доп.}}$ дозволяє дізнатися віддалення лазера від цілі, якщо розбіжність лазерного пучка задана або навпаки значення $\varnothing_{2 \text{ доп.}}$, що дає можливість встановити допустиму розбіжність лазерного пучка, коли дистанція між лазером та ціллю задана.

Розбіжність лазерного пучка позначена кутом $\Omega[\text{мрад}]$ (Рис.2.12), тоді на віддаленні l отримаємо світлову пляму $\varnothing_2$.

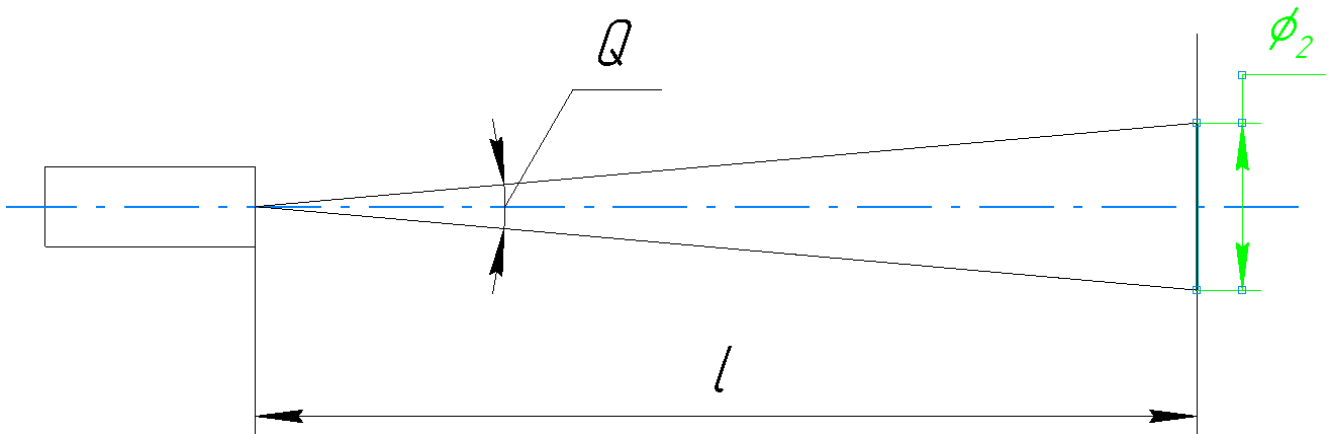


Рис. 2.12 – Ескіз системи, що складається з лазеру та цілі

Діаметр світлової плями складає

$$\phi_2 = l \cdot Q_2.$$

Якщо відомо значення $\phi_{2 \text{ доп.}}$ та задана мінімальна відстань l між лазером та ціллю, то допустима розбіжність лазерного пучка становитиме наступне:

$$Q = \frac{\phi_{2 \text{ доп.}}}{l_{\min}}$$

В такому випадку, виконаємо наступні припущення.

Нехай $\phi_{2 \text{ доп.}} = 0.348 \text{ м}$, $l_{\min} = 500 \text{ м}$.

Тоді

$$Q = \frac{0.348}{500} = 0.000696 \cong 0.7 \cdot 10^{-3} \text{ рад}.$$

Дана розрахована розбіжність наведена схематично на рис.2.13. На ній зображено кут, в двічі більший ніж отримана задля наглядного приладу, бо у програмному забезпеченні при побудові важко відрізнити промінь під даним кутом від оптичної осі.

В тому випадку, коли із лазера виходить пучок з розбіжністю $3 \cdot 10^{-3} \text{ рад}$, як наведено на рис. 2.14, то необхідно перед лазером встановити телескопічну систему – розширювач – задля встановлення значення параметру незмінним від заданого або бажаного. Телескопічна система при цьому повинна мати кутове збільшення $\gamma = \frac{0.7 \cdot 10^{-3}}{3 \cdot 10^{-3}} = 0.23333 = 0.2(3)$. Це призведе до корегування небажаного значення розбіжності лазерного випромінювання у розрахунках світлової плями у зоні цілі (рис.2.15). Видно, що на рис. 2.13 та рис. 2.14 кути та діаметри отриманих плям у зоні цілі кардинально відрізняються параметричними значеннями.

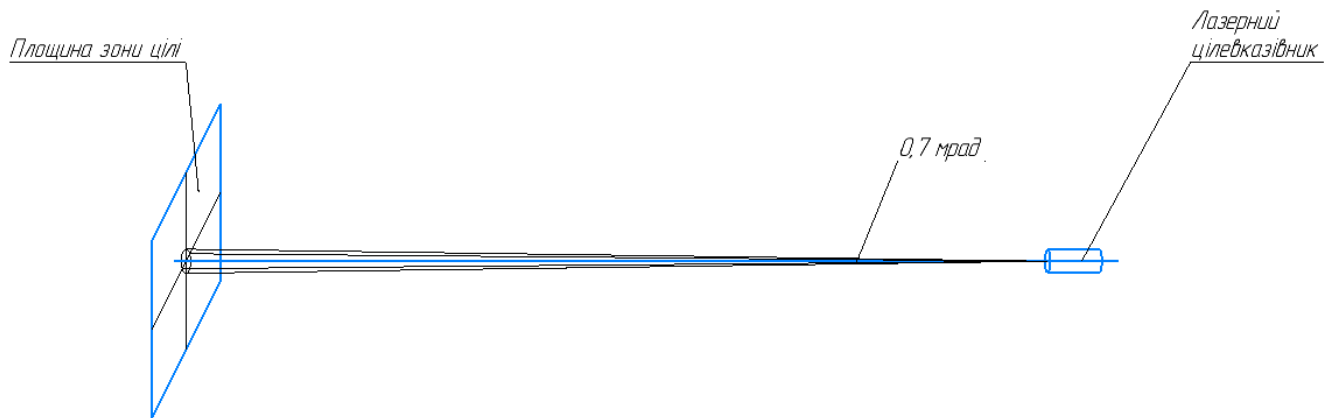


Рис. 2.13 – Схема ходу променів між лазером та площиною цілі з розбіжністю 0.7 мрад

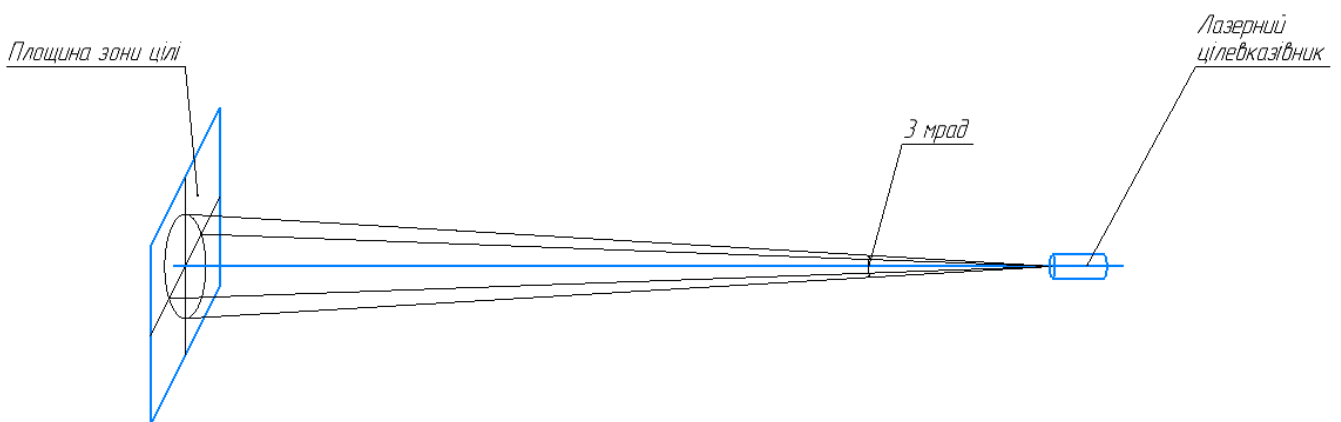


Рис. 2.14 – Схема ходу променів між лазером та площиною цілі з розбіжністю 3 мрад

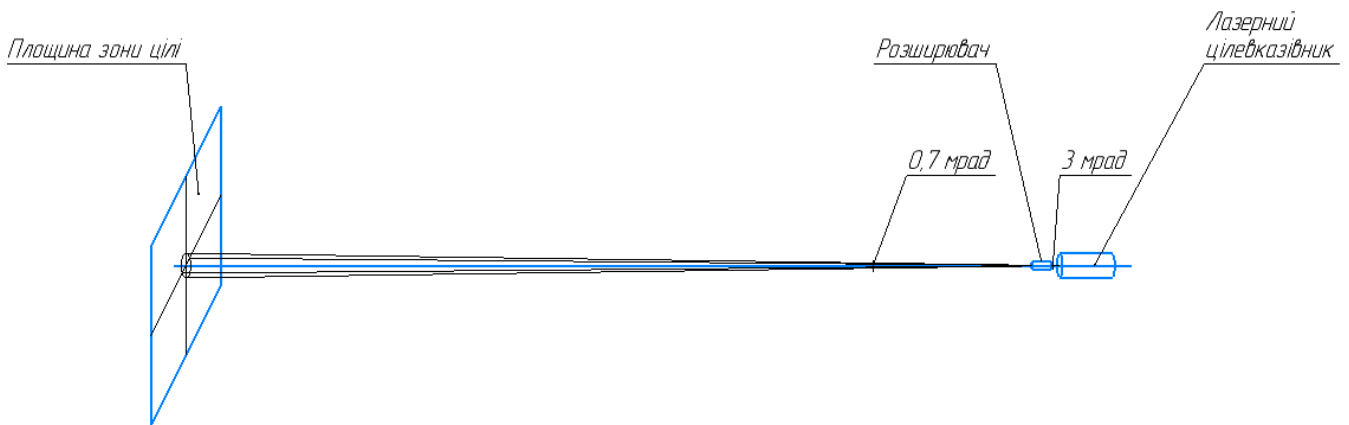


Рис. 2.15 – Схема ходу променів між лазером та площиною цілі, при якому початкова розбіжність лазерного випромінення становить 3 мрад, а після проходження через розширювач становить 0.7 мрад

У телескопічної системи відношення фокусних відстаней компонентів

$$|\gamma| = \left| \frac{f'_1}{f'_2} \right|, \text{ тому звідси фокусна відстань другого компоненту буде в } [0.2(3)]^{-1} = 4.29$$

разів більше (Рис.2.16) ніж фокусна відстань першого компонента. Лазерний пучок на виході розширювача буде також в 4,29 разів ширше в діаметрі, ніж на вході. Якщо діаметр лазерного пучка складає $\cong 3\text{мм}$, то на виході розширювача діаметр пучка складатиме $3\text{мм} \cdot 4.29 = 12.86\text{мм}$.

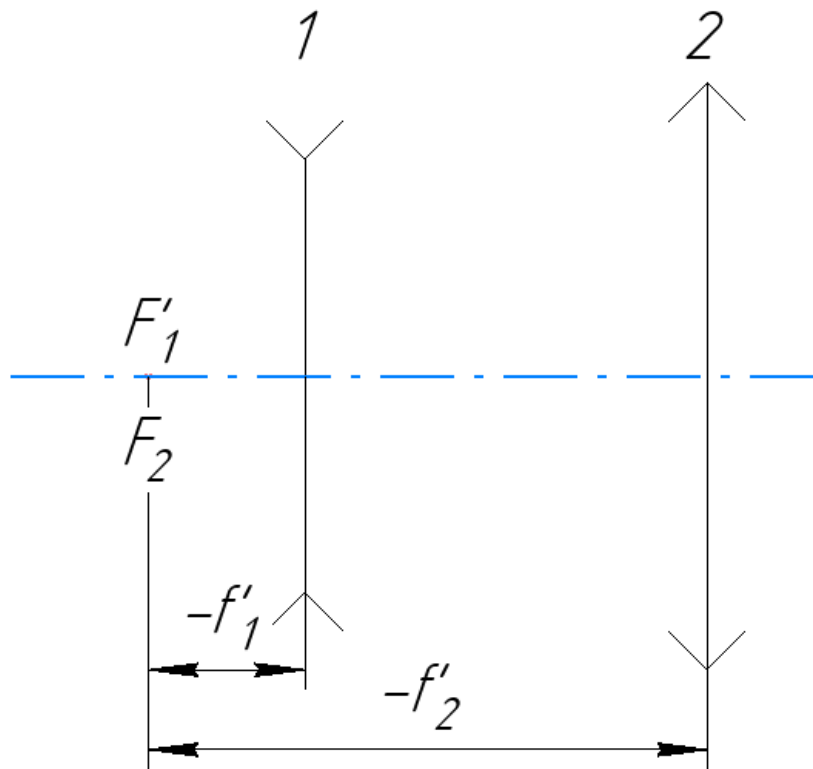


Рис. 2.16 – Ескіз телескопічної системи у вигляді компонентів

Таке збільшення діаметра до діаметру на цілі 0,348 м збільшує вказаний діаметр до $0.348\text{ м} + 0.01286 \cong 0.361\text{ м}$, що несуттєво для розрахунку координатора.

Таким чином додатково до усієї системи додається розширювач у вигляді телескопічної системи. Кінцевим результатом вийде хід променів із лазерного цілевказівника, через розширювач, до площини зони цілі. Звідти, через апертурний фільтр виду квадратної апертури, проходить через об'єktiv на площину фотоприймального елементу.

Габаритний розрахунок та побудова розширювача у виконання завдання не входить, тому даний момент буде ігноруватися та вважатися, що телескопічна система вже готова.

Усі необхідні компоненти розраховані та лишилось обрати або розрахувати оптичну систему лазерного цілевказівника, тобто об'єktiv системи. Також необхідно виконати її параметричний синтез та аналіз відпрацювання лінійного зсуву світлової плями на світлодіоді в заданих межах задля коректності її функціонування та виконання поставлених бажаних результатів.

Оскільки завданням даної роботи є побудова координатора, при якому його функціональність буде покращена та виправлена, але при цьому сконструйована з більш бюджетних елементів, буде розглянута система, у якій або кількість компонентів буде меншою або будуть використані більш дешеві марки скла.

В залежності від кожного з наведених вище методів вибору матеріалів та кількості компонентів, можна зрозуміти, що якщо використовувати меншу кількість лінз, то вартість кожної може збільшитися від номінально необхідної. В другому випадку вибір більш дешевих марок скла призведе до збільшення кількості компонентів у системі, що також може збільшити вартість конструювання.

Тому необхідно обрати той метод, при якому усі необхідні умови виконуватимуться як конструктивно та функціонально, так і мінімізує собівартість виробу.

Таким чином можна зрозуміти, що дані методи користуються приказками «якість краща ніж кількість» та «кількість компенсують якість» відповідно.

РОЗДІЛ 3. ОБҐРУНТУВАННЯ ОПТИЧНОЇ СИСТЕМИ ЦІЛЄВКАЗІВНИКА, ЇЇ ПАРАМЕТРИЧНИЙ СИНТЕЗ І АНАЛІЗ ВІДПРАЦЮВАННЯ ЛІНІЙНОГО ЗСУВУ СВІТЛОВОЇ ПЛЯМИ НА СВІТЛОДІОДІ В ЗАДАНИХ МЕЖАХ

3.1. Обґрунтування вибору структури, параметричний синтез та аналіз оптичної системи координатора.

Розрахунки зовнішніх параметрів оптичної системи координатора у вигляді тонкого компонента показали, що система повинна забезпечувати:

- 1) Світлову пляму у вигляді квадрата $5 \times 5 \text{ мм}$ за рахунок дефокусування зображення цілі і використання квадратної апертури;
- 2) Зсув плями в діапазоні $\pm 2.5 \text{ мм}$ вздовж обох координат XOY на світлочутливій поверхні квадрантного фотодіоду при зміні кутового положення цілі в полі зору $2\omega = 10^\circ$, при цьому збереження форми плями ближчої до дійсної;
- 3) Збереження форми та розмірів дефокусованої світлової плями на фотодіоді при наближенні координатора до цілі на відстань до 20 м .

Попередній габаритний розрахунок об'єктиву координатора також показав, що збільшення діаметру його входної зіниці при обмеженнях на довжину фокусної відстані призводить до суттєвого зростання відносно отвору з виходом його за межі практичної реалізації, внаслідок чого виникають питання, щодо габаритів об'єктиву та його структури. Хоча на розміри плями це не впливає, форма плями все ж таки зміниться, хоч і не критично.

Найбільш важливими зовнішніми параметрами об'єктиву є:

- 1) Діаметр входної зіниці з урахуванням квадратної апертурної діафрагми – 40 мм ;
- 2) Фокусна відстань – $32,66 \text{ мм}$;

При цьому відносний отвір об'єктива становить $\frac{D}{f'} = \frac{40 \text{ мм}}{32,66 \text{ мм}} = 1:0.817$.

Оскільки в цілевказівнику планується використання лазера Nd YAG, то всі параметри оптичної системи координатора потрібно оцінювати при довжині хвилі $\lambda = 1.064 \text{ мкм}$ монохроматичного випромінення даного лазера. Хоча більшість лазерних цілевказівників працюють з даною довжиною хвилі, але є такі, що використовують хвилі, значення яких можуть бути як більшими, так і меншими.

Це все залежить до якого типу відноситься лазер та які матеріали (хімічні реагенти) він використовує для функціонування. В даному завданні використовуватиметься довжина хвилі 1064 нм яку випромінює лазер Nd YAG і який може мати два режими роботи: неперервний та імпульсний.

Даний цілевказівник використовується в великому спектрі сфер. Наприклад в медицині він видаляє небажані зони волосся, татуювання, шрами. При цьому значення його потужності становить до 50 Вт. В обробці матеріалів його використовують в імпульсному режимі задля зварювання матеріалів, при чому через оптичне волокно, радіус якого знаходиться в межах 0.5-2 мм. При цьому потужність досягає 2 кВт. У військових же цілях, використовується як лазерний цілевказівник у неперервному режимі в обраній заданій потужності, тобто дана робота виконується для даної сфери. Також лазери використовують в імпульсному режимі в імпульсних лазерних пушках, при цьому використовує не менше 50 кВт в одному залпу.

На основі усіх необхідних вихідних та отриманих параметрів та на основі типу лазера структурний та параметричний синтез оптичної системи об'єктива повинен використовувати наступне:

- 1) Оптична система відноситься до світлосильної, тобто з великим значенням відносного отвору;
- 2) Оптична система має відносно малий кут поля зору ($2\omega = 10^\circ$);
- 3) Оптична система працює з монохроматичним випроміненням, що не потребує її ахроматизації.

Головною вимогою до абераційного стану оптичної системи є те, що вона повинна бути анабераційною, тобто з добре виправленою сферичною аберацією на оптичній осі та по можливості бути максимально наближеною до апланатичної, тобто з

мінімізованою аберацією кома. Це сприятиме схожій формі плями на фотодіоді, що потрібна квадратному фільтру.

Анабераційною така система може бути тільки при використанні асферичних поверхонь у своєму складі. Такі системи можуть бути реалізованими всього з однієї лінзи, з однією асферичною поверхнею. Лінз з подібною поверхнею не так багато, тому вибір необхідної не матиме великих зусиль.

У відомому каталозі оптичних деталей «Edmund optics» існує дві лінзи з номерами #67281 та #66313. Лінзи добре підходять у використанні в даній роботі.

Для вибору більш сумісної для отриманої системи необхідно перевірити кожен, синтезуючи в систему та перевіривши зображення, його зміщення та форму, тобто що є кращим у передачі плями у фотодіод.

Лінза з #67281 (Рис.3.1) є опукло-пласкою, виготовленою з кварцевого скла. Її діаметр 50мм, фокусна відстань $f' = 40\text{мм}$ на ($\lambda = 0.587\text{мкм}$).

Асферизація виконана на опуклій поверхні, яка є витягнутим еліпсоїдом з додатковою парною асферизацією до восьмого степеневого порядку.

У неї низький коефіцієнт теплового розширення завдяки самому матеріалу, опроміненого ультрафіолетовим випроміненням, що є сприятливим для використання у боєголовках, які при запуску та польоті набирають високу температуру, що не кожне скло може витримати. Має чудову властивість пропускання завдяки високим числовим апертурам.

Ціна однієї такої лінзи 723€.

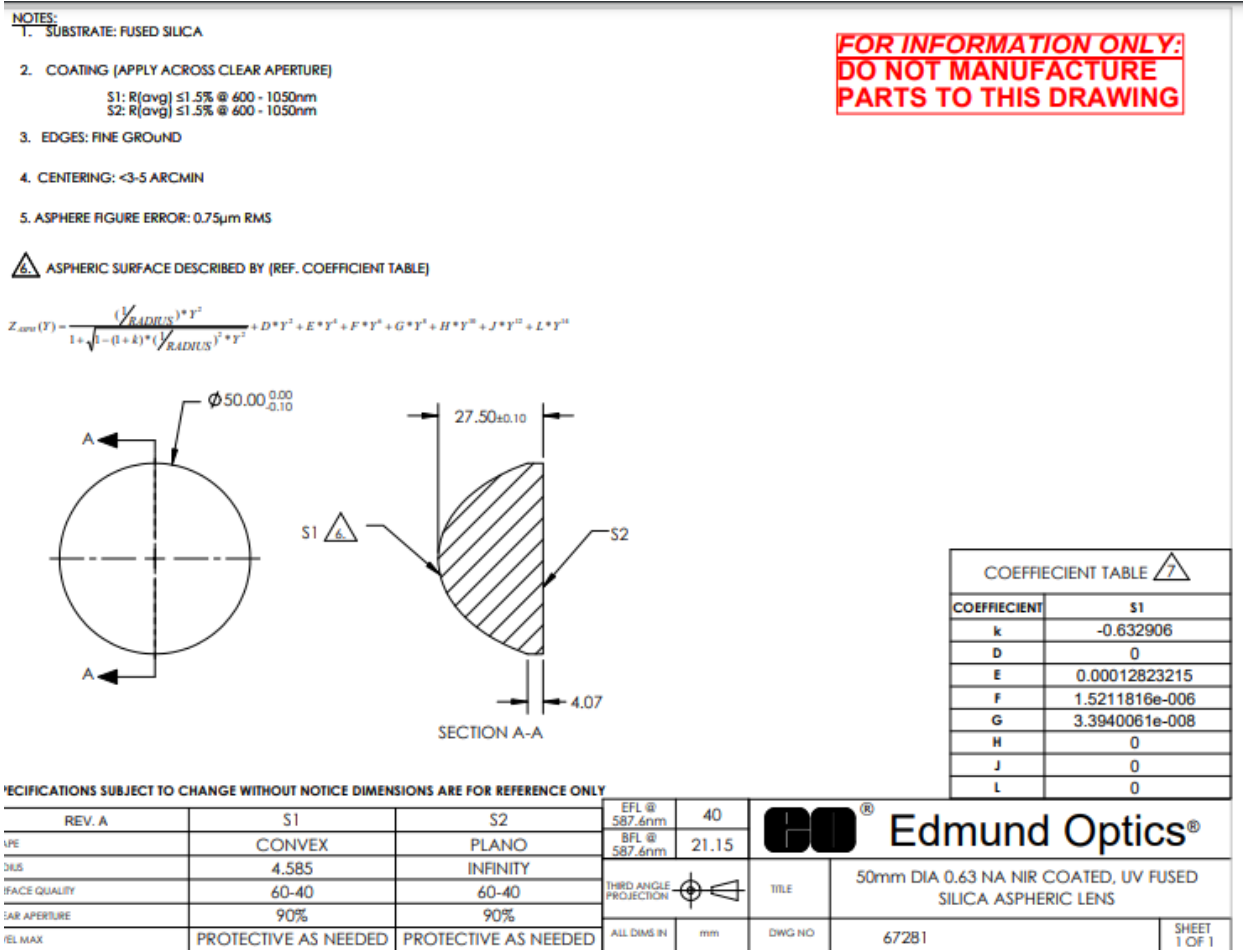


Рис. 3.1 – Кресленик лінзи #67281

Лінза #66313 (Рис.3.2) є двояко-опуклою, виготовленою зі скла L-BAL35 фірми SCHOTT.

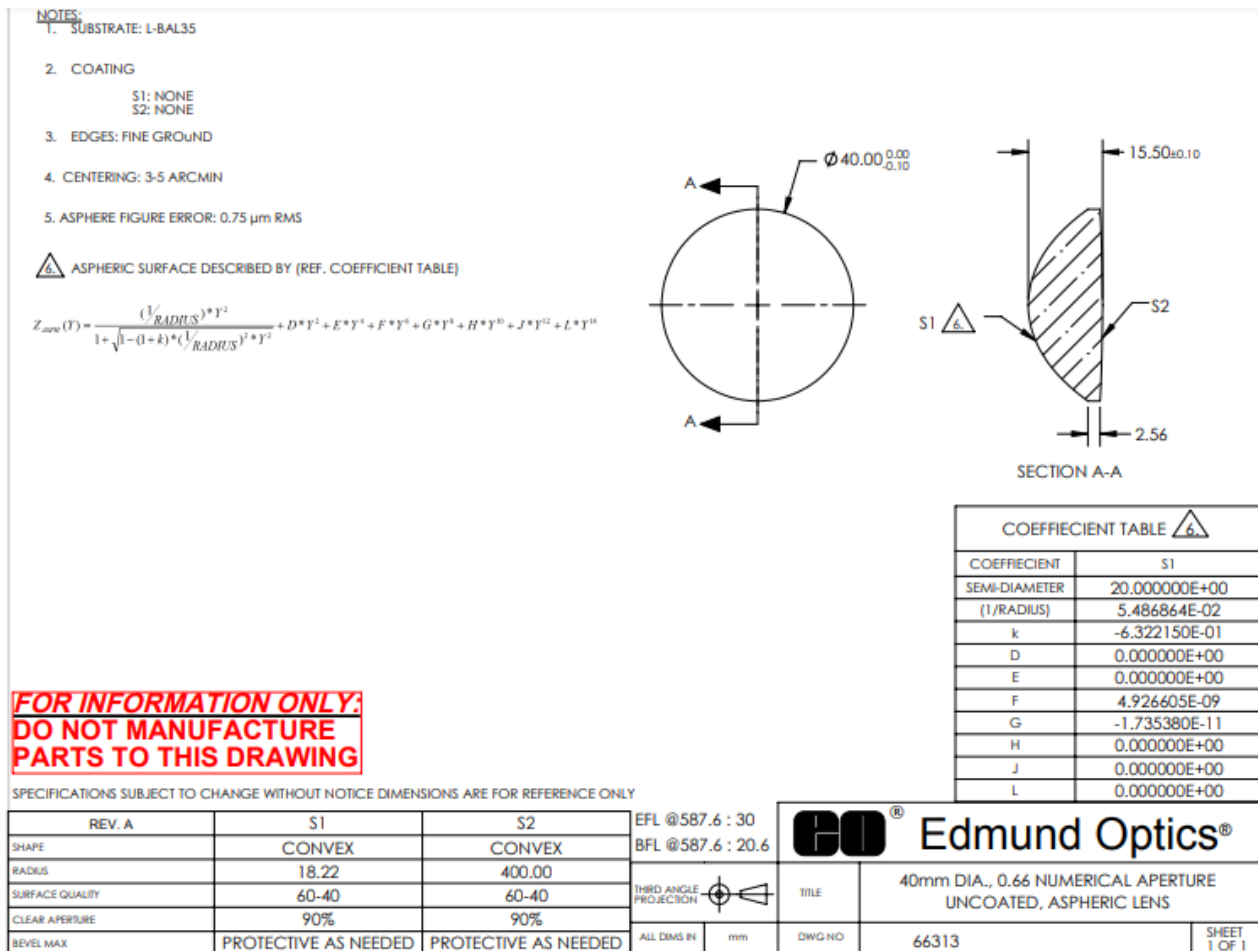


Рис. 3.2 – Кресленик лінзи #66313

Перша опукла поверхня також є витягнутим еліпсоїдом з парною асферизацією до восьмого степеневого порядку. Діаметр лінзи 40 мм, фокусна відстань 30мм.

Даний тип лінз призначений для фокусування світла та виправлення сферичної аберації від розбіжних джерел випромінювання світла, особливо фокусує промені у фотодіоді. Дана лінза збільшує числову апертуру об'єктиву за умов мінімізації аберацій. Також вона заміщує багатокомпонентну систему, її вагу та забезпечує багато переваг, наприклад збільшення коефіцієнту пропускання.

Як і лінза #67281, лінзу #66313 можна вбудувати в систему координатора. За допомогою комп'ютерних програм, її оптимізували так, щоб вона виправляла сферичні аберації, а аберації вищого порядку – до їх можливого мінімуму.

При покритті VIS можна отримати коефіцієнт відбиття менше 0,015 для діапазону хвиль 425-675 нм. При покритті NIR – 0,015 в діапазоні 600-1050 нм.

Її вартість за одиницю кількості становить 356€.

В такому випадку перевіримо як веде себе пляма після синтезування кожного з цих лінз у розраховану оптичну систему. На основі отриманих даних необхідно буде обрати який компонент краще виконуватиме поставлене завдання.

Якість зображення осьової та крайньої польової точок, сформовані кожною з даних лінз, зображено спот-діаграмами (Рис.3.3) та (Рис.3.4), що отримані за допомогою комп'ютерної програми ZEMAX. Результати наведені для кутів 0° , 2.5° та 5° аби зрозуміти поведінку плями при переміщенні по поверхні фотоприймального елементу.

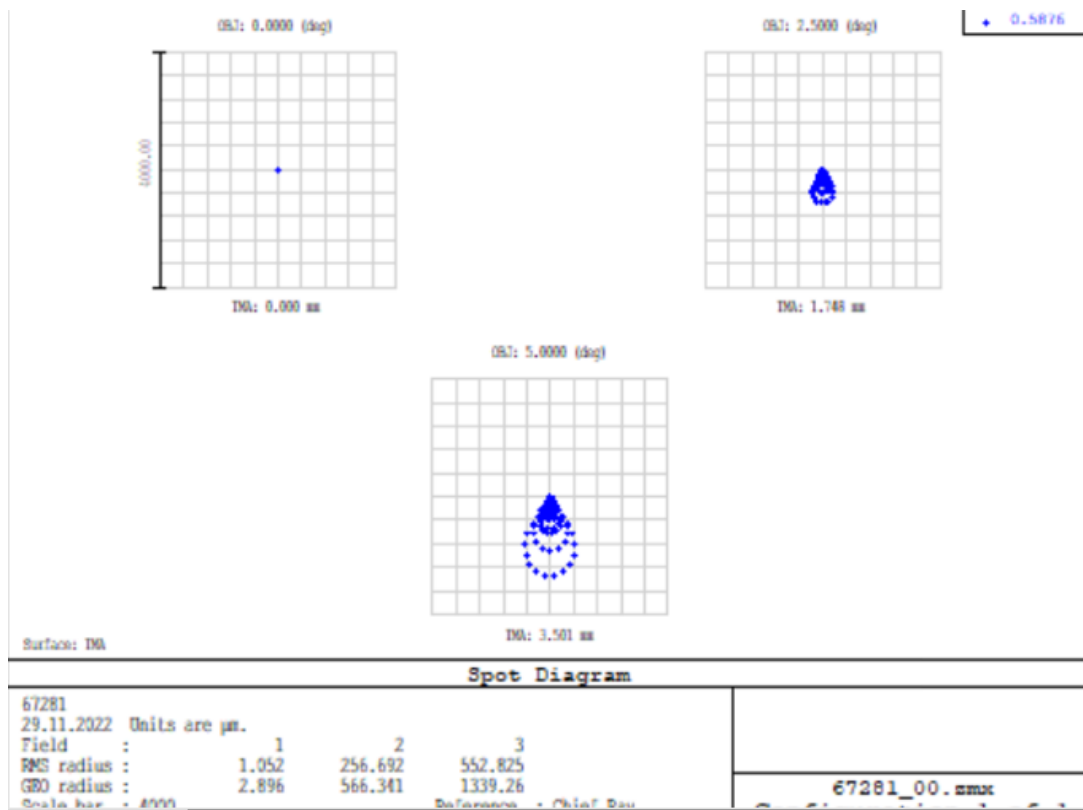


Рис. 3.3 – Спот-діаграма для лінзи #67281

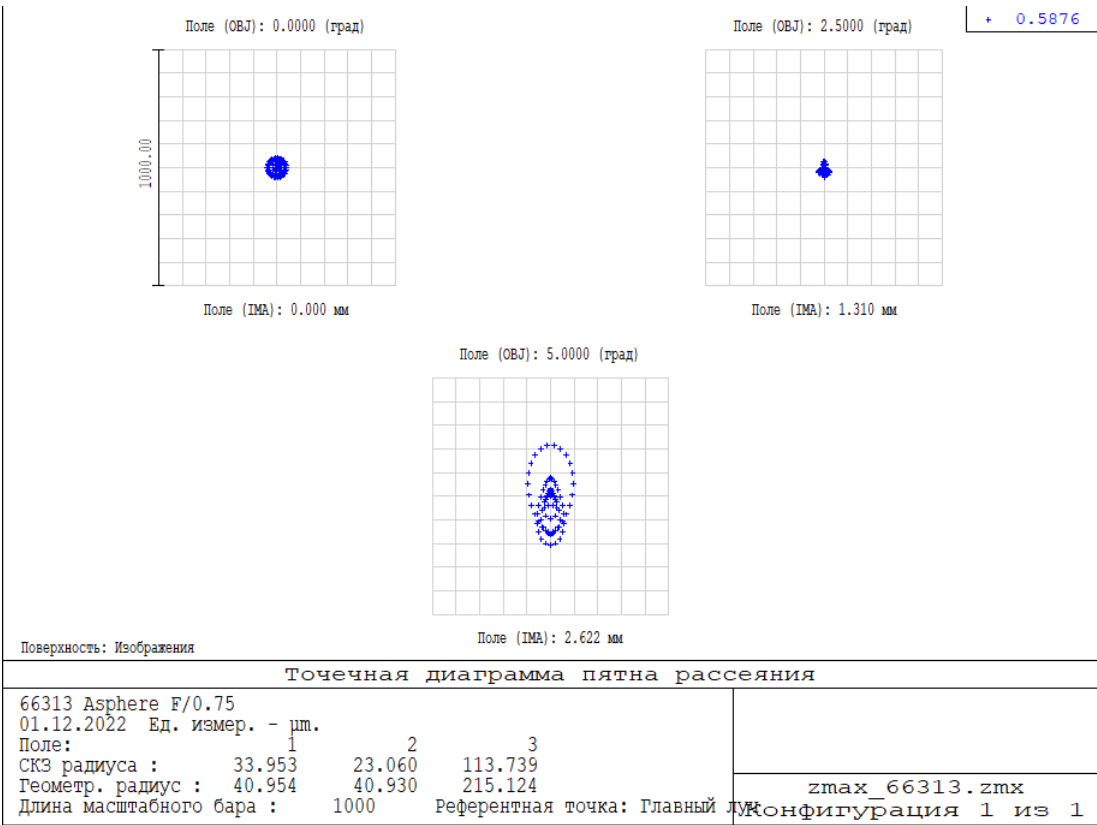


Рис. 3.4 – Спот-діаграма для лінзи #66313

Спот-діаграми, побудовані для точок на осі та для двох точок з кутовими координатами $\omega = 2.5^\circ$ та $\omega = 5^\circ$, показують суттєво кращу якість зображення у лінзи #66313, так як вона близька до апланатичної, що обґрунтовується явною відсутністю значної коми. До цього ж, вона вдвоє дешевше за вартістю.

Звісно, що вибір повинен бути на користь лінзи #66313.

По даним каталогу, лінза #66313 при довжині хвилі λ має фокусну відстань 30 мм. За розрахунками, що вище наведені, вона повинна мати фокусну відстань 32,66мм при довжині хвилі $\lambda = 1.064\text{мкм}$. Методами масштабування в програмі ZEMAX отримано лінзу, конструктивні параметри якої наведені нижче (Табл. 3.1).

На рис. 3.5 зображено конструктивні параметри оптичної системи саме в програмі ZEMAX.

Таблиця 3.1 – Конструктивні параметри,
що була отримана за допомогою методів масштабування в програмі ZEMAX

Параметр лінзи	Значення, мм
Фокусна відстань, f'	32,66
Діаметр зіниці, $D_{\text{зіи}}$	40
Радіус першої поверхні, r_1	19,447
Радіус другої поверхні, r_2	-426,816
Конусоподібність, Conic	-0,632
Товщина лінзи, d_1	16,539
Відстань від останньої поверхні лінзи до фотоприймача, d_2	18

Редактор оптической системы

Редактор Условия Вид Справка

	ги	Комментарий	Радиус	Толщина	Стекло	Полудиаметр	Конич. п
OBJ	Стандартная		бесконечность	бесконечность		бесконечность	0.
1*	Стандартная		бесконечность	0.000		20.000 U	0.
*	Четная ас..	66313	19.447	16.539	L-BAL35	20.000 U	-0.
3*	Стандартная		-426.816	18.000		20.000 U	0.
IMA	Стандартная		бесконечность	-		6.912	0.

Рис. 3.5 – Конструктивні параметри оптичної системи у програмі ZEMAX

При розташуванні світлочутливої поверхні фотодіоду на відстані 18,0 мм від задньої поверхні лінзи, форма світлової плями на цій поверхні для трьох предметних точок має форму наближену до квадрату (Рис.3.6).

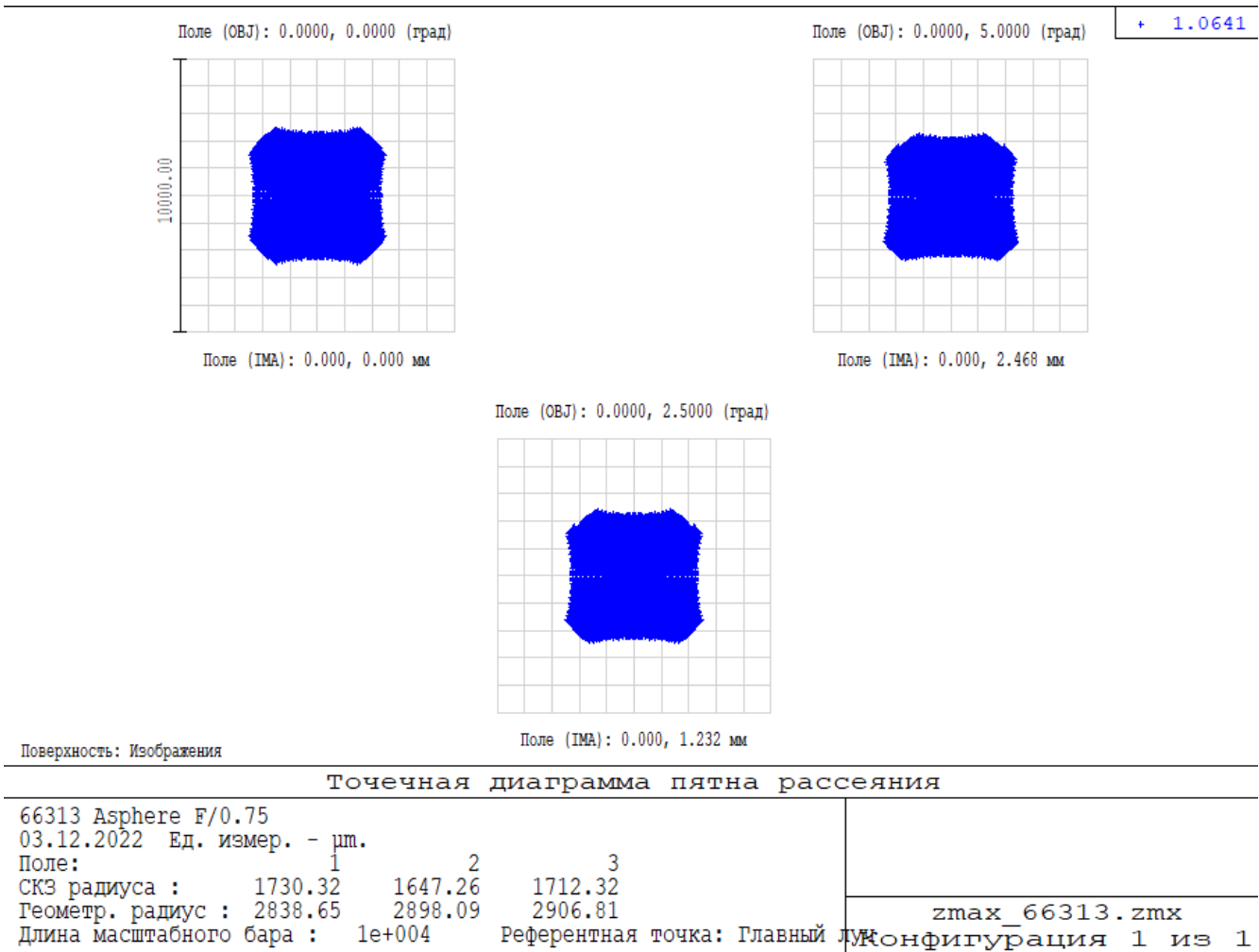


Рис. 3.6 Діаграми світлової плями на фоточутливій поверхні при віддаленні предметної площини на ∞ від лінзи.

Діаграма отримана при віддаленні предметної площини на ∞ .

На рис. 3.7 наведено проекцію оптичної системи та аналогічні діаграми відповідно, тільки для предметної площини (цілі), яка розташована на відстані 20м від лінзи.

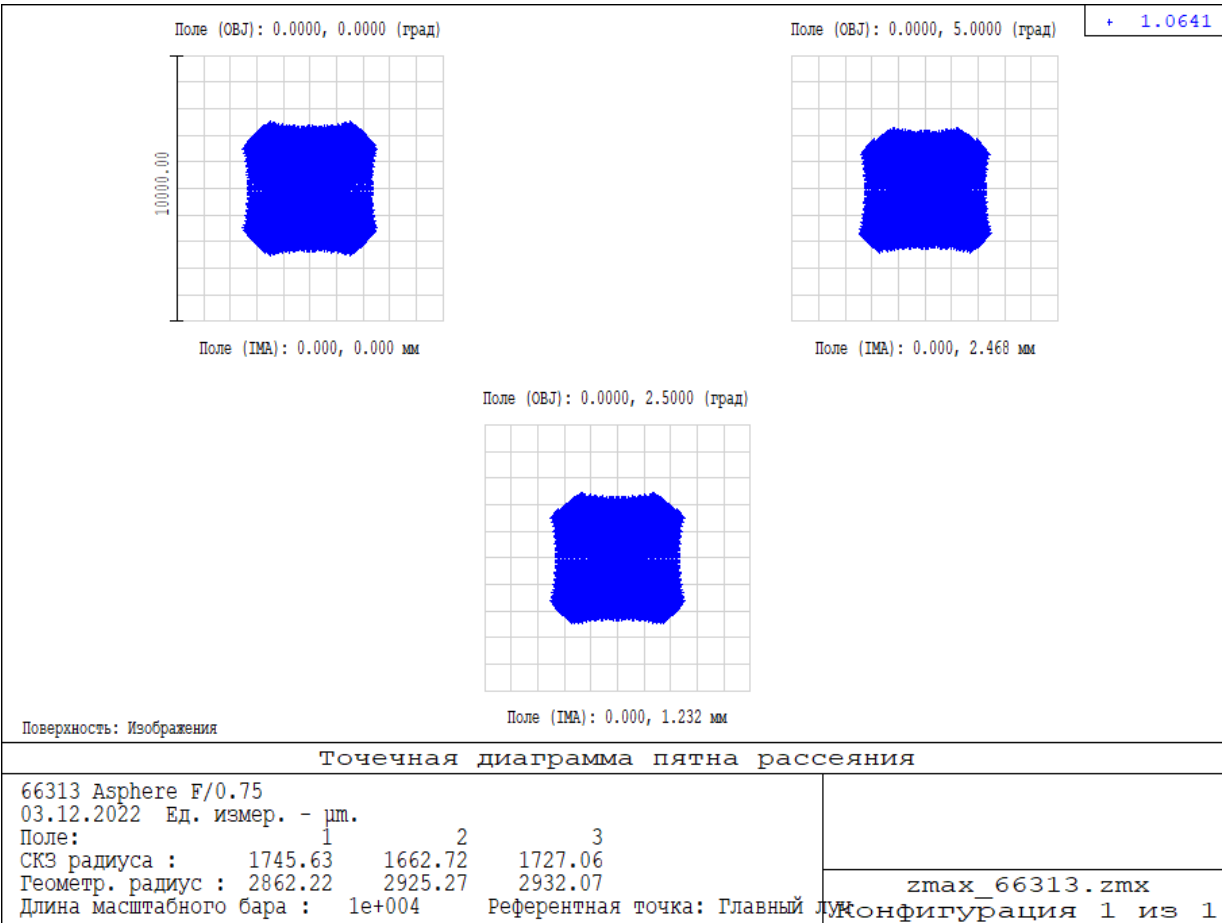


Рис. 3.7 – Діаграми світлової плями на фоточутливій поверхні при віддаленні предметної площини на 20м від лінзи.

На обох рисунках розмір світлової плями вздовж координатних осей, з початком на оптичній осі, становить ≈ 5 мм . незалежно від відстані до цілі.

Цим комп'ютерним моделюванням підтверджується відповідність оптичної системи координатора вимогам технічного завдання і специфічним особливостям квадрантного фотодіода.

РОЗДІЛ 4. РОЗРОБКА СТАРТАП ПРОЕКТУ «ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННИЙ ДАТЧИК КУТОВИХ КООРДИНАТ СВІТЛОВОЇ ПЛЯМИ НА ЦІЛІ ВІД ЛАЗЕРНОГО ЦІЛЄВКАЗІВНИКА»

4.1. Опис та технологічний аудит ідеї проекту

Попередні розділи показали, що оптичну систему із декількох компонентів лінз можна замінити однією. При чому її вплив на функціонування не впливає в бік погіршення. В цьому розділі буде проведено аналіз стартап проекту для даного виробу, тобто оптичного координатора цілі автоматизованої системи керування рухомим об'єктом.

Ідея проекту полягає у вдосконаленні оптичної системи задля покращення процесу перетворення кутових координат цілі в електричні керуючі сигнали координатора автоматизованої системи керування рухом об'єкта. При цьому заміна великої кількості компонентів у системі лише однією сприятиме зменшенню собівартості новоутвореного виробу, що наведено в табл. 4.1. Дана таблиця зображує зміст самої ідеї та можливі початкові базові потенційні ринки, де необхідно складати угоди з можливими майбутніми клієнтами.

Таблиця 4.1 – Опис ідеї стартап проекту

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для користувача
Менша собівартість та розмір та збереження функціонування.	Технологічні	Функціональність
	Ринкові	Фінансова економія

Застосування даного проекту базується на отриманні променів лазера, що надходить через відбиття поверхні цілі, яку необхідно знешкодити.

Конкурентами у розробки на даний момент є підприємства, у яких великий обсяг виготовлення засобів та технологій. Але вони не підходять до даного критерію через їх досвід. Тому візьмемо конкурента зі схожою ідеєю з інших стартапів та проаналізуємо переваги та недоліки техніко-економічних характеристик наших розробок. Результати аналізу зображені у табл. 4.2.

Таблиця 4.2 – Визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик ідеї проекту

№ п/п	Техніко- економічні характеристики ідеї	Товари\концепції		W (слабка сторона)	N (нейтральна сторона)	S (сильна сторона)
		Мій проект	Конкурент			
1.	Вартість координатора	480\$	800\$			+
2.	Поле зору	10°	20°	+		
3.	Час реагування на сигнали	12нс	25нс			+
4.	Кількість необхідних деталей	7	7		+	

Таблиця 4.2. показує, що даний проект по деяким техніко-економічним характеристикам випереджає конкурента. Здебільшого слабкі сторони компенсуються сильними. Якщо вважати, що вартість продукту дешевше, то це означає, що лінзи, які були у нього в проекті, були не зі звичайних матеріалів та не малої кількості у самому виробі.

Наступним, що необхідно визначити, це аудит стартап-проекту.

Для того, аби реалізувати дану ідею, необхідно визначити які існують технології, щоб її реалізувати. Для цього було побудовано табл. 4.3, у якій визначено наявність та доступність технологій та технологій для реалізації ідеї. Після того, як будуть визначені варіанти реалізації, буде обрано те, що буде більш сприятливим для використання та матиме усі необхідні та сумісні вимоги щодо ідеї проекту. Таким чином компанія знатиме на що опиратися і в якому напрямку розвиватися та що використовувати для цього.

Таблиця 4.3 – Технологічна здійсненність ідеї проекту

№ п/п	Ідея проекту	Технології її реалізації	Наявність технологій	Доступність технологій
1.	Менша собівартість та розмір та збереження функціонування.	Менша собівартість та збереження функціонування.	Наявні	Доступні
2.		Додавання оптичних компонентів у систему.	Наявні	Доступні
3.		Додавання об'єктивів та обертальних призм для реалізації ідеї.	Наявні	Доступні
Обрана технологія реалізації ідеї проекту: Менша собівартість та збереження функціонування.				

За даною таблицею можна зрозуміти, що є багато технологій для даного проекту, вони всі є доступними та наявними, але дана ідея базується на зменшенні собівартості та розміру та збереження функціонування. Технологією реалізації ідеї проекту була обрана перша із наведених у таблиці. Друга технологія потребує додаткової вартості, за рахунок кількості лінз, а внаслідок й кількості та виготовлення корпусів для них. Третя потребує додаткових компонентів, що збільшують розмір та вартість виробу. Перша технологія передбачує використання меншої кількості лінз, їх підбору до визначених вимог та збереження його функціонування, яке було до видалення компонентів та синтезування нової системи.

4.2. Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту

Наступним, що необхідно виконати, буде аналіз ринку та його можливостей для запуску стартап-проекту, оцінки можливих потенційних клієнтів, інвесторів та партнерів, загроз та можливостей, конкуренції на ринку, у галузі за М. Портером, фактори конкурентоспроможності, порівняльного аналізу сильних та слабких сторін проекту, його SWOT-аналіз та альтернативи його впровадження.

У табл. 4.4. наведено попередню характеристику потенційного ринку стартап-проекту.

Таблиця 4.4 – Попередня характеристика потенційного ринку стартап-проекту

№ п/п	Показники стану ринку (найменування)	Характеристика
1.	Кількість головних гравців, од	1
2.	Загальний обсяг продажу, грн/ум.од	3500000 грн.
3.	Динаміка ринку (якісна оцінка)	Зростає
4.	Наявність обмежень для входу (вказати характер обмежень)	Відсутні
5.	Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	Відсутні
6.	Середня норма рентабельності в галузі (або по ринку), %	65%

З даної характеристики видно, що це чудовий потенційний простір, щоб вийти на нього. Норма рентабельності є сприятливою, специфічність вимог та наявність обмежень для входу відсутні, динаміка ринку зростає. Усі ці фактори відповідають тому, аби даний стартап-проект наблизився на один крок до отримання свого успіху.

Наступним буде визначено потенційних груп інвесторів, споживачів та клієнтів, їх характеристики, потреби та напрямки руху їх бажань щодо виробу як продукту для споживання. Усе це наведено у табл. 4.5.

Таблиця 4.5 – Характеристика потенційних клієнтів стартап-проекту

№ п/п	Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку)	Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів до товару
1	Товар задовольняє потреби ринку у меншій собівартості, але при цьому збереження його попереднього функціонування	Військові організаційні структури, військові підприємства та компанії.	Вартість виробу, ефективність виробу.	Компактність, збереження свого попереднього функціоналу, працездатність при великих дистанціях до цілі, доступність, точність, працездатність в різних умовах середовища.

Даний ринок є дещо незвичним, оскільки на нього є бажання вийти, бо вимоги, специфікації та потреби його споживачів можуть сприяти завади та деякі незручності для майбутніх гравців, що вийдуть на ринок. Завдяки перевагам даного проекту всі необхідні параметри сприятимуть підвищенню зацікавленості цільової аудиторії,

якими є військові підприємства, волонтери для воєнних, армії країн. Результат прихильності споживачів – вартість та функціонування виробу.

Але необхідно пам'ятати, що є деякі фактори загроз, що виникають при застосуванні даної технології(табл. 4.6). Вони спричиняють знецінення праці та роботи виробу.

Таблиця 4.6 – Фактори загроз

№ п/п	Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
1.	Створення конкурентами аналогів виробу, що будуть менш дорогими	Конкуренти розробляють подібні вироби, що за вартістю та функціональністю або не поступаються, або переважають .	Розробка більш компактної, дешевої та доступної оптичної системи для виробу.
2.	Можливе збільшення конкурентоспроможних	Підвищення популярності розробки в даному ринку для даних споживачів, що збільшує конкурентоспроможність.	Підготовка до бою з конкурентами за для отримання споживачів, модифікування виробу, презентабельність, результативність.
3.	Незадоволеність споживачами отриманими результатами, підняття своїх вимог щодо продукту	Споживачі не задоволені результатами, що показує продукт. Різке виникнення ними бажання отримати більш оптимізаційний, результативний, але економічно доступний продукт.	Проведення експерименту над даним продуктом за для наведення наслідків підвищення вимог, а також заміну системи на більш складну, перерахунок вартості усіх деталей, що виготовлятимуться та збиратимуться.
4.	Недовіра до працездатності, а також надійності виробу споживачами	Споживачі не довіряють тому, що недостатньо підходить до їх вимог, опираються на ті вироби, що є у них у власності.	Порівняння повних техніко-економічних та технічних характеристик обох виробів та обґрунтування переваг при закупівлі.
5.	Оптимізація вже існуючих виробів	Конкуренти покращують властивості виробів, що були розроблені раніше.	Оптимізація даного розробленого виробу.

У даній таблиці наведено фактори загроз мають перешкоди аби вводити продукт на ринок. Крім того розроблено дії, що наведені у стовпці «Можливі реакції компанії» які необхідно виконувати при виникненні того чи іншого фактору, щоб зменшити вплив загрози на стартап або мінімізувати наслідок загрози.

Усі вище перелічені загрози виникають при появі більш функціонального та вигідного виробу, але це не весь існуючий список. На даному етапі необхідно акцентувати увагу на даних моментах.

Окрім загроз існують також і можливості. У табл. 4.7 наведено фактори можливостей для стартап-проекту, їх детальний опис для кожної, можливі реакції на них компанії.

Таблиця 4.7 – Фактори можливостей

№ п/п	Фактор	Зміст можливості	Можлива реакція компанії
1.	Вартість виробу	Оскільки сама конструкція зазвичай складається з двох або більше лінз, що теоретично дорожче, ніж є у даному проекті, вартість даного виробу матиме привабливість до заохочення потреб споживача.	Звернути увагу на доступності для кожного споживача та при цьому збільшення кількості виготовлення даного продукту.
2.	Відсутність аналогій виробу	На даний момент на ринку відсутні вироби, що працюють за даним методом.	Звернути увагу споживачів на унікальність до даного підходу.
3.	Вдосконалення процесу перетворення кутових координат цілі в електричні керуючі сигнали координатора	Процес перетворення кутових координат цілі в електричні керуючі сигнали координатора здійснюється завдяки квадратному фільтру, що стоїть перед системою, що полегшує обробку сигналів та корегування траєкторії польоту снаряду. При цьому встановлений фотоприймач має дуже високу чутливість, що сприяє покращенню передачі сигналів, що утворюються світловою плямою від цілі, яку випромінює лазерний цілевказівник.	Оптимізація оптичної системи, завдяки чому покращується працездатність самого приладу при меншій комплектації та на невеликих відстанях ([15-1000]м).
4.	Оптична система координатора	Оптична система, що складається з однієї лінзи, забезпечує не тільки компактність виробу, але й заміняє усю необхідну систему.	Звернути увагу споживачів на унікальності системи, її ефективність, точність та коректність роботи.
5.	Попит	Необхідність у використанні виробу, що буде дешевшим, але не менш ефективнішим, ніж запропоновані раніше.	Багато інвесторів та споживачів бажають отримати виріб, який замінить їх старі аналоги та збільшить кількість виготовлення даного продукту для швидкого поновлення воєнного арсеналу.

На основі даної таблиці можна зробити висновки, що даний засіб задовольняє усі вимоги та потреби, що існують на сьогоднішній день у кожній з країн. Унікальність, ефективність продукту та доступна для кожного ціна має переваги при входженні у даний ринок та отриманні свого фаворита.

На ринку оптико-електронного координатора цілі автоматизованої системи керування рухомим об'єктом, як і всюди, є конкуренція. Для того, аби дізнатись більш детально, була наведена табл. 4.8, у якій описані особливості конкурентного середовища, яким чином вона проявляється та її вплив на діяльність підприємства.

Таблиця 4.8 – Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

Особливості конкурентного середовища	В чому проявляється дана характеристика	Вплив на діяльність підприємства (можливі дії компанії, щоб бути конкурентоспроможною)
1. Вказати тип конкуренції – вільний	Жоден з гравців, що беруть участь на ринку, не може серйозно впливати на утворення цін виробів.	Проведення презентації щодо технічних та техніко-економічних переваг даного продукту для залучення нових споживачів.
2. За рівнем конкурентної боротьби – національна	Конкуренція між компаніями сконцентрована на всій території держави.	Зосередитися на тих областях держави, де присутній високий рівень технологічної розвиненості.
3. За галузевою ознакою – внутрішньогалузева	Конкуренти лише в одній галузі.	Надати інформацію споживачам щодо переваги даного продукту.
4. Конкуренція за видами товарів – товарно-родова	Конкуренція відбувається лише між виробами, де застосовуються процеси перетворення кутових координат цілі в електричні керуючі сигнали координатора.	Можливість застосування перетворення кутових координат цілі в електричні керуючі сигнали координатора за рахунок спрощеної системи та покращеної передачі сигналів фотоприймача для корекції траєкторії польоту боєголовки.
5. За характером конкурентних переваг – нецінова	Вдосконалення виробів, що були раніше розроблені.	Замінити фотоприймальний елемент, щоб отримати більш чутливий координатор, оптичну систему для зменшення спотворення отриманої плями від цілі.
6. За інтенсивністю – немарочна	Не марка виробника представляє виріб, а його функціональність та ефективність.	Покращити ефективність, надійність, працездатність виробу. Якщо матиме великий попит, то утворити легко запам'ятовуючий, але не зухвалий бренд.

Висновок із таблиці – ціну не так легко збити через її собівартість, боротьба проводиться на території держави, конкурентами можуть бути лише в одній вузькій галузі, де застосовуються процеси перетворення кутових координат цілі в електричні керуючі сигнали координатора автоматизованого керування рухом об’єкта, перевага здійснюється за рахунок заміни фотодіода, що приймає пляму від цілі та утворює керуючі сигнали, та оптичної системи для зменшення спотворення отриманої плями. Наступна таблиця (табл. 4.9) зображує аналіз конкуренції в галузі за М.Портером.

Таблиця 4.9 – Аналіз конкуренції в галузі за М. Портером

	Прямі конкуренти в галузі	Потенційні конкуренти	Постачальники	Клієнти	Товари-замінники
Складові аналізу	Арсенал	Наявність торговельних знаків, розмір капіталу та подальше його збільшення, відсутній дефіцит у ресурсах, сучасні технології при виготовленні виробів	Достатня кількість поставок від постачальників, що збільшує ефективність виготовлення виробів конкурентом.	Торговельна марка, відомість, ажіотаж, надійність виготовленого продукту.	Відсутні.
Висновки:	На території України боротьба з конкурентами не вигідна	Вихід на ринок при збільшенні ціни за виріб на 5-20%, менші витрати при виготовленні.	Хоча доступність до необхідного ресурсу важлива, але це впливає на присутність на ринку.	Клієнти впізнають та довіряють словам та очам. Те, що бачать та чують – тим довіряють та знають їх.	Відсутні

На основі аналізу конкуренції на ринку за М. Портером стало зрозуміло, що тривалий час від початку виходу на ринок, присутність та ефективність матимуть досить низький рівень через прямих конкурентів-гігантів. Для виходу на міжнародний ринок даний проект не достатньо вдосконалений для його перебування та отримання визнання світом.

На основі попередніх, тобто вище визначених, аналізів, побудована таблиця (табл.4.10), де обґрунтовано фактори конкурентоспроможності. За даною таблицею можна буде зрозуміти за якими характеристиками компанія може бути спроможною до конкуренції.

Таблиця 4.10 – Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Обґрунтування (наведення чинників, що роблять фактор для порівняння конкурентних проектів значущим)
1.	Якісний виріб за доступну ціну	Оскільки матеріал корпусу має доступну ціну при закупівлі, а в його виготовленні не має жодних перешкод, то основну вартість займає лінза. Але при цьому вартість виробу звісно дешевший, за його попередній аналог.
2.	Незвичність продукції	Виріб розроблений таким чином, що одна лінза заміняє об'єктив, який складається із двох та більше компонентів.
3.	Ефективність	Оскільки на початку системи стоїться квадратний фільтр, а встановлений фотодіод має високу чутливість, то швидкість обробки плями та перетворення у сигнали відбуваються з великою швидкістю та мінімальною затримкою в процесі їх перетворення.
4.	Надійність	Завдяки матеріалу, за допомогою якої виготовлена лінза, промені не розсіюються та не відбиваються від компонента. А корпус, виготовлений зі сплаву алюмінію, температуростійкий та достатньо легкий для забезпечення відсутності дисбалансу снаряду.
5.	Компактність	Завдяки невеликій оптичній системі, координатор цілі займає невеликий обсяг простору у головці самонаведення.

За даною таблицею про аналіз конкурентоспроможність можна вважати, що даний виріб має достатньо переваг, щоб вважати даний проект конкурентоспроможним на ринку.

Далі здійсниться порівняльний аналіз сильних та слабких сторін стартап-проекту. Нижче наведена табл.4.11 стосовно даного аналізу.

Таблиця 4.11 – Порівняльний аналіз сильних та слабких сторін «Оптико-електронний датчик кутових координат світлової плями на цілі від лазерного цілевказівника»

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Бали 1-20	Рейтинг товарів-конкурентів у порівнянні з «Оптико-електронний координатор цілі автоматизованої системи керування рухомим об'єктом»						
			-3	-2	-1	0	+1	+2	+3
1.	Якісний виріб за доступну ціну	18						+	
2.	Незвичність продукції	19							+
3.	Ефективність	19						+	
4.	Надійність	17					+		
5.	Компактність	18						+	

З крайніх двох таблиць видно, що продукт є необхідним для споживачів та має досить високий попит серед потреб споживачів. Основна перевага та досягнення, тобто ефективність, є рушійною силою у галузі, в яку входить даний проект.

Таблиця 4.12 – SWOT- аналіз стартап-проекту

Сильні сторони: Вартість координатора Час реагування на сигнали Якісний виріб за доступну ціну Незвичність продукції Ефективність Надійність Компактність	Слабкі сторони: Поле зору координатора. Нова компанія на ринку. Нестабільне виготовлення виробів (відсутність високої фіксованої кількості за певний проміжок часу)
Можливості: Необхідність у використанні виробу, що буде дешевшим, але не менш ефективнішим, ніж запропоновані раніше; Забезпечення оптичною системою, що складається з однієї лінзи, компактності виробу, а також заміна всієї необхідної системи.	Загрози: Підвищення популярності розробки в даному ринку для даних споживачів, що збільшує конкурентоспроможність. Розробка конкурентами подібних виробів, що за вартістю та функціональністю або не поступаються, або переважають.

Хоча у SWOT-аналізі присутні слабкі сторони, але вона надає інформацію про те, що даний стартап-проект має багато сильних сторін, що компенсує певні недоліки.

Для успішного прогресу під час існування компанії усі недоліки виправляться або перетворяться на переваги. Але аналіз також зазначає, що можливості та загрози малоймовірно трапляться, як у ранній стадії так і в пізній існування компанії.

Для того, аби просунути стартап-проект на видне місце та підвищити попит на даний продукт, необхідно розглянути та розписати його альтернативи ринкового впровадження. Усе наведено у табл. 4.13.

Таблиця 4.3 – Альтернативи ринкового впровадження стартап-проекту

№ п/п	Альтернатива (орієнтовний комплекс заходів) ринкової поведінки	Ймовірність отримання ресурсів	Строки реалізації
1	Підняття працівниками кваліфікації	55%	3-6 місяців
2	Компенсування слабких сторін можливостями ринку	Висока	8-12 місяців
3	Успішний вихід з ринку	Нижче середнього	1,5-3 роки

Зі SWOT-аналізу та отриманих від нього альтернатив впровадження стартап-проекту на ринок, строки реалізації. З даного списку обрано другу альтернативу, а саме компенсування слабких сторін можливостями ринку, ймовірність отримання ресурсів для якого має високий рівень, а реалізується впродовж 8-12 місяців. Трохи повільніше ніж підняття кваліфікації, але на перший час прибуток буде відносно стабільним.

4.3. Розроблення ринкової та маркетингової програми стратегії проекту

Для початку для розробки ринкової стратегії, в першу чергу необхідно визначити стратегії охоплення ринку, а саме опис цільових груп потенційних споживачів (табл.4.14).

Таблиця 4.14 – Вибір цільових груп потенційних споживачів

№ п/п	Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів	Готовність споживачів сприйняти продукт	Орієнтовний попит в межах цільової групи (сегменту)	Інтенсивність конкуренції в сегменті	Простота входу у сегмент
1.	Військові підприємства	Висока	Висока	Середня	Висока
2.	Армія	Висока	Висока	Середня	Висока
3.	Фізичні особи	Середня	Середня	Середня	Середня
Які цільові групи обрано: військові підприємства та армія					

Таблиця 4.14 відображає групи потенційних споживачів, їх готовність сприйняти продукт, орієнтований попит, простота входу у сегмент та інтенсивність конкуренції. Звідси цільовими групами було обрано військові підприємства та армію. Для даних груп стартап-проект, що розробляється, матиме більш вигідний результат при отриманні та використанні даного продукту. Усі потреби для даних груп виконусь.

Наступним необхідно визначити базову стратегію розвитку (табл. 4.15).

Таблиця 4.15 – Визначення базової стратегії розвитку

№ п/п	Обрана альтернатива розвитку проекту	Стратегія охоплення ринку	Ключові конкурентоспроможні позиції відповідно до обраної альтернативи	Базова стратегія розвитку*
1	Компенсування слабких сторін стартап-проекту можливостями ринку	Маркетинговий хід для звернення уваги на головних перевагах	Продукт, який споживачі впізнають, стає контактування з клієнтами.	Стратегія диференціації

За допомогою альтернативи розвитку проекту, а саме компенсування слабких сторін можливостями ринку, було вказано стратегію охоплення ринку, такий як маркетинговий хід для звернення уваги на головних перевагах на відміну від інших, ключові позиції для становлення конкурентоспроможним визначаються знайомим для клієнтів продуктом та постійний контакт з ними.

В якості базової стратегії на основі альтернативи було визначено, що це стратегія диференціації, де надається товару важливі властивості, з точки зору споживача, тому товар стає відмінним від інших конкурентів.

Наступне – підбір базової стратегії конкурентної поведінки (табл. 4.16).

Таблиця 4.16 – Визначення базової стратегії конкурентної поведінки

№ п/п	Чи є проект «першопрохідцем» на ринку?	Чи буде компанія шукати нових споживачів, або забирати існуючих у конкурентів?	Чи буде компанія копіювати основні характеристики товару конкурента, і які?	Стратегія конкурентної поведінки*
1.	Ні	Набагато зручніше працювати з тими, хто знає дану галузь, але для того, аби розширити необхідно також шукати нових споживачів.	Так, оскільки виріб не конструюється як щось нове та інноваційне, проводиться лише оптимізація існуючий.	Стратегія позиціонування

Стратегія поведінки з конкурентами – стратегія позиціонування. Дана стратегія означає, що компанія, яка займається даним стартап-проектом бажає розповісти усім про унікальність виробу, його ефективність, користь та влучність у вимогах споживачів. Оскільки проект базується на оптимізації вже існуючого виробу, то копіювання основних характеристик товару опонента є одною з основ аби компанія впевнено «плавала» на ринку. Охоплення споживачів проводитиметься як для нових, так і для тих, хто вже є у конкурента.

Основою для стратегії розвитку стартап-проекту вважається визначення стратегії позиціонування (табл. 4.17). Вона виділяє вимоги до товару цільовою аудиторією та їх напрямками.

Таблиця 4.17 – Визначення стратегії позиціонування

№ п/п	Вимоги до товару цільової аудиторії	Базова стратегія розвитку	Ключові конкурентоспроможні позиції власного стартап-проекту	Вибір асоціацій, які мають сформувати комплексну позицію власного проекту (три ключових)
1.	Вдосконалення продукту за вимогами споживачів	Стратегія диференціації	Висока якість продукту, довіра споживачів, попит на продукт.	Якість. Ціна. Компактність. Технічна підтримка. Зворотній зв'язок з клієнтами.

В результаті отримано структуру рішень щодо поведінки компанії на ринку, її напрям роботи на ринку. Усе це є важливим для перебування стартап-проекту «на плаву».

Першим, що необхідно для розробки маркетингової програми, є розробка маркетингової концепції товару, який споживач отримає та споживатиме. Підсумок результатів аналізу конкурентоспроможності товару наведено у табл.4.18.

Таблиця 4.18 – Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

№ п/п	Потреба	Вигода, яку пропонує товар	Ключові переваги перед конкурентами (існуючі або такі, що потрібно створити)
1.	Оптимізація процесу перетворення кутових координат цілі в електричні керуючі сигнали координатора автоматизованої системи керування рухом об'єкта.	Здатний отримувати чітку майже неспотворену пляму, що утворюється від цілі, що опромінюється лазером на безпілотнику, на відстані до 1000м.	Оптична система з мінімальною кількістю оптичних компонентів, світлочутливий фотоприймальний елемент. Чітка пляма, що перетворюється на сигнали керування рухом об'єкта.

За допомогою ключових переваг концепції потенційного товару було визначено, що за даної потреби товар здатний отримувати чітку пляму від цілі, його ефективність набагато краща від виробу, що був оптимізований в даному проекті, швидкість обробки сигналів, отриманих від плями, що потрапила до фотодіоду, відстань на безпечній для перебування відстані.

Ключовими перевагами перед конкурентами встановлено спрощену оптичну систему, обраний кращий фоточутливий елемент, отримання плями майже не спотвореної. Усе це повідомляє про те, що існує значна перевага для даного стартап-проекту.

Наступним буде визначення діапазону цін, за якими необхідно керуватися при її встановленні на потенційний виріб. Це передбачено аналізом цін товарів конкурентів, та доходів споживачів продукту (табл. 4.19).

Таблиця 4.19 – Визначення меж встановлення ціни

№ п/п	Рівень цін на товари-замінники	Рівень цін на товари-аналоги	Рівень доходів цільової групи споживачів	Верхня та нижня межі встановлення ціни на товар/послугу
1.	\$300-500	\$600-800	\$1500-4000 /рік	\$370-750

За допомогою таблиці були визначені рівні цін на товари-замінники та товари-аналоги, рівень доходів цільової групи споживачів, та верхня та нижня межі встановлення ціни на товар. Межі встановлювались згідно собівартості виробу та можливого прибутку після його збуту.

Для того аби точно визначити що для цього необхідно, було сформовано систему збуту (табл. 4.20).

Таблиця 4.20 – Формування системи збуту

№ п/п	Специфіка закупівельної поведінки цільових клієнтів	Функції збуту, які має виконувати постачальник товару	Глибина каналу збуту	Оптимальна система збуту
1.	Закупівля через посередника чи від виробника	Встановлення контактів зі споживачами і підтримання їх	3	Канал нульового рівня

За допомогою даної таблиці було встановлено, що оптимальною системою збуту буде продаж виробу за допомогою збутових філіалів підприємства методом посилкової торгівлі. Постачальник товару зобов'язаний встановлювати контакти зі споживачами та підтримувати їх. При цьому звітувати самій компанії для її подальших дій. Глибину каналу збуту обрано 3, тобто 3 посередники, які беруть участь у розподілі виробу від продавця до покупця.

Останнім етапом проводиться концепція маркетингових комунікацій (табл.4.21). Вона спирається на попередньо обрано основу для позиціонування, визначену специфіку поведінки клієнтів.

Таблиця 4.21 – Концепція маркетингових комунікацій

№ п/п	Специфіка поведінки цільових клієнтів	Канали комунікацій, якими користуються цільові клієнти	Ключові позиції, обрані для позиціонування	Завдання рекламного повідомлення	Концепція рекламного звернення
1.	Бажаний продукт з виконаними вимогами	Пошта, соціальні мережі, інтернет-сайти	Розміщувати товар в онлайн інтернет-магазин, в соціальних мережах	Донести повну інформацію про даний виріб, його функції та переваги	Запевнити клієнтів, що купівля даного виробу виправдає їх надії.

Як результат, було отримано концепцію маркетингових комунікацій. Цільові клієнти звертають увагу на товари, що їм необхідні, з відповідними властивостями та характеристиками. Для комунікації, вони користуються соціальними мережами, поштою та внутрішніми повідомленнями на онлайн інтернет-сайтах. Відповідно у даних каналах необхідно встановити методи контактування з клієнтами, розміщувати у соціальних мережах та інтернет-магазинах рекламу виробу з метою запевнення клієнтів щодо користі закупівлі даного товару.

4.4. Календарний план реалізації проекту

Для того, аби розуміти терміни, за яких проект можливо реалізувати, використовують календарний план, тому за табл. 4.22 можна зрозуміти на який етап скільки часу витрачається.

Таблиця 4.22 – Календарний план-графік стартапу

Зміст етапу	Період запуску (за місяцями з початку підготовки проекту)				Вартість стадії, грн
	1	2	3	4	
Формування ідеї					0
Сформуванати технологічне завдання, визначити перспективні напрямки та створити пропозицію, запустити та проаналізувати результат		4000			4000
Розробити маркетингову стратегію. Оцінити ринок споживачів. Аналіз смаків цільової аудиторії. Створити скетч для опису продукту. Перевірити продукт та дати feedback. Описати досвід використання, всі недоліки та можливі покращення.			6000		6000
Пошук постачальників комплектуючих				2000	2000
Розробка остаточного варіанта приладу				40000	40000
Разом					52000

Із таблиці видно, що для формування технологічного завдання, визначення його перспективних напрямків та створення пропозицій, запуску та аналізу результату необхідно витратити 4000 грн. Для розробки маркетингової стратегії, оцінки ринку споживачів, аналізу бажань цільової аудиторії, створення скетчу для опису продукту та перевірки продукту і додання фідбеку необхідно витратити 6000 грн. Для пошуку постачальників комплектуючих – 2000 грн, з урахуванням витрат на транспортування до постачальників для живої розмови та підтримання стосунків із ними. За розробку остаточного варіанту приладу необхідно витратити 40000 грн для коректного подальшого виробництва з мінімальним браком. Враховуючи усі ці пункти, було виявлено, що загалом на перші чотири місяці з початку підготовки проекту, значення витрат досягає 52000 грн, що є мінімумом для подальшого розвитку компанії та проекту.

Висновки

Загалом на основі даного розділу можна отримати наступне.

Попит на виріб буде, здійснюється тим, що споживачі бажають отримати продукт з меншою собівартістю, порівнюючи з іншими товарами даної галузі.

Конкуренція в даній галузі на території України буде важкою та досить тривалою, але реальною.

Цільова аудиторія – військові підприємства, армія та волонтери, що допомагають армії. Для них ефективність надійність та точність на першому місці, тому помітивши даний виріб та побачивши його вартість, бажання отримати даний продукт збільшиться.

Альтернативами впровадження проекту обрано компенсування слабких сторін можливостями ринку. Такий метод забезпечить достатньо часу для освоєння компанії на ринку.

Серед цільових груп потенційних клієнтів є армія та військові компанії. Завдяки галузі, до якої класифікується виріб, його попит зростатиме та матиме немало відомість.

Вдосконалення виробу за вимогами споживачів забезпечить швидкий розвиток компанії та технології виробництва.

Для швидкого просування даного товару по ринку, було вказано ціну на товар. Вона складає від 370\$ до 750\$. Наразі вона ще регулюється і в залежності від кількості потреб буде або збільшуватися, або зменшуватися.

Сам збут проводитиметься за допомогою посередників, які поширюватимуть інформацію та унікальність продукту широкому діапазону підприємств, підтримуватимуть з ними зв'язок.

Для поширення відомості даного продукту було запроваджено рекламування через пошту, соціальні мережі та інтернет-сайти, де зазвичай знаходяться потенційні клієнти. Завдяки такому методу споживачі отримуватимуть інформацію та функції з результатами даного товару. Таким чином стартап-проект матиме початкові знання та підготовленість до виходу на ринок та збереження свого місця у ньому.

ВИСНОВКИ

1. У даній роботі для створення оптико-електронного координатора цілі, працюючого у взаємодії з лазерним цілевказівником, використано новий принцип формування дефокусованого зображення у площині фотоприймача для оптимізації процесу перетворення кутових координат цілі в електричні керуючі сигнали координатора автоматизованої системи керування рухом об'єкта.

2. Доведено, що при діаметрі входної зіниці координатора 40мм, фокусній відстані 32,66мм, полі зору 10° та відстані до цілі 1000 м необхідна потужність лазера у лазерному цілевказівнику, що розташований на безпілотнику, становить 10^3 Вт в імпульсному режимі.

3. Виявлено, що для дистанції 300 м достатня потужність лазера складає 100Вт, що може бути реалізованою у безперервному режимі випромінення.

4. Об'єктивом може слугувати одиночна асферизована лінза, виробництво якої налагоджено за кордоном і є серійним.

5. Методом комп'ютерного моделювання роботи оптичної системи, проведеного в «Zemax» доведено, що система формує на фотодіоді квадратну пляму, освітленість якої забезпечує відношення сигналу до шуму $=10$, а зсув плями в полі зору 10^0 є лінійним до кутового положення цілі.

6. Результати стартап-проекту виявили, що:

- виріб відповідає вимогам споживачів, матиме немалий попит. Обґрунтовується необхідністю у точному, ефективному та мінімізованому у собівартості виробі;
- конкурентів на даному ринку за галуззю досить мало, в результаті чого є можливість вийти на ринок за кордоном;
- аудиторія, на яку розрахований виріб – військові підприємства та армія.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- [1] Близько 60% пусків російських ракет в Україні виявляються невдалими – Reuters. URL: <https://zn.ua/ukr/UKRAINE/blizko-60-puskiv-rosijskikh-raket-v-ukrajini-vijavlajutsja-nevdalimi-reuters.html>
- [2] Головка самонаведення. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%93%D0%BE%D0%BB%D0%BE%D0%B2%D0%BA%D0%B0_%D1%81%D0%B0%D0%BC%D0%BE%D0%BD%D0%B0%D0%B2%D0%B5%D0%B4%D0%B5%D0%BD%D0%BD%D1%8F
- [3] «Радіонікс» запатентував радіолокаційну головку самонаведення для ракети Р-360 «Нептун». URL: https://defence-ua.com/news/radioniks_zapatentuvav_radielokatsijnu_golovku_samonavedennja_dlja_raketi_r_360_neptun-1245.html
- [4] Чи бояться крилаті ракети «Нептун» та «Томагавк» російських систем радіоелектронної боротьби. URL: https://defence-ua.com/weapon_and_tech/chi_bojatsja_krilati_raketi_neptun_ta_tomagavk_rosijskih_sistem_radioelektronnoj_borotbi-1027.html
- [5] Аналіз світових напрямків розвитку зенітних керованих ракет та підходи до створення сучасних вітчизняних ЗРК. URL: <https://www.ukrmilitary.com/2015/10/analiz-rozvytu-zrk.html>
- [6] Войчук В.А. Експлуатація і ремонт радіоелектронного обладнання літаків, вертольотів та авіаційних ракет. Радіотехнічні системи управління ракетами: презентація. Київ, 2012. 2 слайд. URL: <https://studfile.net/preview/5383869/page:2/>
- [7] Acoustic homing. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Acoustic_homing
- [8] Acoustic torpedo. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Acoustic_torpedo
- [9] UDT 2019 – Confusion/dilution countermeasure. URL: https://cdn.asp.events/CLIENT_Clarion_96F66098_5056_B733_492B7F3A0E159DC7/s

[ites/UDT-2020/media/libraries/weapon-and-payload-systems/119---Sebastien-Colson-Paper.pdf](https://www.plm.automation.siemens.com/global/en/products/simulation-test/acoustic-simulation.html)

[10] Acoustic Simulation. Acoustic software to minimize noise and optimize sound through acoustic simulation. URL: <https://www.plm.automation.siemens.com/global/en/products/simulation-test/acoustic-simulation.html>

[12] Agency for Defense Development. Cheong Sang Eo (Blue Shark). URL: <https://www.add.re.kr/board?menuId=MENU02306&siteId=null>

[13] Теплова голівка самонаведення. URL: https://www.wiki.uk-ua.nina.az/%D0%A2%D0%B5%D0%BF%D0%BB%D0%BE%D0%B2%D0%B0_%D0%B3%D0%BE%D0%BB%D1%96%D0%B2%D0%BA%D0%B0_%D1%81%D0%B0%D0%BC%D0%BE%D0%BD%D0%B0%D0%B2%D0%B5%D0%B4%D0%B5%D0%BD%D0%BD%D1%8F.html

[14] Позитив тижня. Нова «теплова» головка самонаведення дозволить Україні виготовляти свої «Джавеліни». URL: <https://www.dsnews.ua/politics/pozitiv-nedeli-novaya-teplovaya-golovka-samonavedeniya-pozvolit-ukraine-delat-svoi-dzhaveliny-03102020-401082>

[15] Ракетна техніка. Теплова головка самонаведення УР Р-3С. URL: <https://missilery.info/missile/r3c/1-ots>

[16] росія взялася за дешевий «Овод»: вперше показали ракету Х-59МКМ без ГСН. URL: https://defence-ua.com/weapon_and_tech/rosija_vzjalasja_za_deshevij_ovod_vpershe_pokazali_raketu_h_59mkm_bez_gsn-4291.html

[17] Загальний каталог боєголовок та ракетних комплексів в цілому. URL: <https://missilery.info/missile>

[18] Forum Aurora 4x. C# Aurora. C# Suggestions. C# Suggestions. URL: <http://aurora2.pentarch.org/index.php?topic=10640.840>

[19] Tarek A. Khaled, Mohamed Elkhaliб, Ashraf F. El-Sherif: Design and Simulation of

an Intelligent Laser Tracking System. 2016. [Електронний ресурс]. URL:https://www.researchgate.net/figure/A-typical-optical-laser-seeker-system_fig12_282979816

[20] Low-Cost Semi-Active Laser Seekers for US Army Application. URL: <https://www.semanticscholar.org/paper/Low-Cost-Semi-Active-Laser-Seekers-for-US-Army-Hubbard-Katulka/08f338252a34ef89a6afda334d610567129fcae5>

[21] Siyuan Gao, Hui Liu, Hongwei Zhang, Xin Zhang: Improve the Detection Range of Semi-Active Laser Guidance System by Yemperature Compression of Four-Quadrant PIN Detector. 2019. [Електронний ресурс]. URL: <https://www.mdpi.com/1424-8220/19/10/2284>

[22] Храбан А.А., Чиж І.Г. Оптичний координатор самонаведення для лазерного цілевказівника. Погляд у майбутнє приладобудування: збірник праць XV Всеукраїнської науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених (14-15 червня 2022р., м.Київ). Київ, 2022 С. 71-73.

[23] 60 відсотків російських високоточних ракет не влучили в ціль, – Пентагон. URL: <https://www.nta.ua/60-vidsotkiv-rosijskyh-vysokotochnyh-raket-ne-vluchyly-v-czil-pentagon/>

[24] Поцілять здалеку і без промаху: в Україні створена лінійка нових «теплових» головок самонаведення для керованих ракет. URL: https://defence-ua.com/weapon_and_tech/potsiljat_zdaleku_i_bez_promahu_v_ukrajini_stvorena_linijka_novih_teplovi_holovok_samonavedennja_dlja_kerovanih_raket-1706.html

[25] VTOL VR. URL: <https://www.mudspike.com/vtol-vr/>

[26] Advantages of Laser Guided Missiles. URL: https://defense-update.com/20070627_helicopters_laser_guided_missiles.html

[27] Mistral ПЗРК ближньої дії. URL: <https://sprotyvg7.com.ua/lesson/mistral-pzrk-blizhnoi-dii>

[28] Українські авіаційні ракети з новими ГСН від компанії «Радіонікс» полетять на експорт. URL: <https://defence->

ua.com/weapon_and_tech/ukrajinski_aviatsijni_raketi_z_novimi_gsn_vid_kompaniji_radi_oniks_poletjat_na_eksport-2641.html

[29] Греція купує ракети Spike NLOS. URL: <https://mil.in.ua/uk/news/gretsiya-kupuye-rakety-spike-nlos/>

[30] Overcoming Precision-Guided Munitions, Sensing Challenges. URL: https://www.photonics.com/Articles/Overcoming_Precision-Guided_Munitions_Sensing/a61221

[31] Фотоприймач датчика квадрантний фотодіод YAG-444-4A. URL: <https://www.excelitas.com/product/yag-444-4-series-quadrant-photodiodes-si-pin-113mm>