

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

Приладобудівний факультет

Кафедра автоматизації та систем неруйнівного контролю

До захисту допущено:

В. о завідувач кафедри

АСНК Галина БОГДАН

« ____ » _____ 2025 р.

Дипломний проєкт

на здобуття ступеня бакалавра

**за освітньо-професійною програмою «Комп'ютерно-інтегровані системи та
технології в приладобудуванні»**

спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

на тему: «Автоматизований лазерний далекомір»

Виконав:

студент IV курсу, групи ПМ-11

Яковець Денис Андрійович

Керівник:

Доцент, к.т.н., доцент

Петрик Валентин Федорович

Рецензент:

Доцент, к.т.н., доцент

Самарцев Юрій Миколайович

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

Студент (-ка) _____

Київ – 2025 року

ВІДОМІСТЬ ДИПЛОМНОГО ПРОЄКТУ

№ з/п	Формат	Позначення	Найменування	Кількість	Примітка
1	A4		Завдання на дипломний проєкт	2	
2	A4	ПМ 11.15.0000.000 ПЗ	Пояснювальна записка	54	
3	A1	ПМ 11.02.0000.000 СК	Лазерний далекомір	1	
4	A3	ПМ 11.02.0000.100 СК	Блок випромінювача	1	
5	A4	ПМ 11.02.0000.101	Оправа	1	
6	A4	ПМ 11.02.0000.102	Тримач	1	
7	A3	ПМ 11.02.0000.200 СК	Об'єктив	1	
8	A4	ПМ 11.02.0000.201	Оправа	1	
9	A4	ПМ 11.02.0000.202	Оправа	1	
10	A3	ПМ 11.02.0000.000 ЕЗ	Лазерний далекомір	1	
11	A3	ПМ 11.02.0000.000	Схема електрична структурна	1	

				<i>ПМ11.15.0000.000</i>		
	ПБ	Підп.	Дата	Автоматизований лазерний далекомір	Лист	Листів
Розробн.	Яковець Д.А.				2	54
Керівн.	Петрик В.Ф				КП ім. Ігоря Сікорського Каф. АСНК Гр. ПМ-11	
Консульт.						
Н/контр.						
Зав.каф.	Богдан Г.А					

**Пояснювальна записка
до дипломного проєкту
на тему: «Автоматизований лазерний далекомір»**

Київ – 2025 року

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

Кафедра автоматизації і систем неруйнівного контролю

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

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

Освітньо-професійна програма «Комп'ютерно-інтегровані системи та технології в приладобудуванні»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

в.о. зав. каф. АСНК Галина
БОГДАН

«__» _____ 2025 р.

ЗАВДАННЯ

на дипломний проект студенту

Яковець Денис Андрійович

1. Тема проекту «Автоматизований лазерний далекомір», керівник проекту доцент, к.т.н., доцент Петрик Валентин Федорович, затверджені наказом по університету від «26» травня 2025 р. №1765-с.

2. Термін подання студентом проекту 12.06.2025

3. Вихідні дані до проекту: діапазон вимірювання від 0,25 м до 15; похибка вимірів не більше 1 см; потужність лазерного випромінювання не більше 5 мВт

4. Зміст пояснювальної записки

- I. Аналітичний огляд
- II. Лазерний фазовий далекомір
- III. Розрахункова частина
- IV. Висновок
- V. Список використаних джерел

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслеників, плакатів, презентацій тощо)

6. Консультанти розділів проекту

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Складальний кресленик			

7. Дата видачі завдання _____

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проекту	Термін виконання етапів проекту	Примітка
1	Аналіз видів далекомірів	01.04.2025	
2	Обґрунтування вибору лазерного фазового далекоміру	12.04.2025	
3	Постановка завдання	26.04.2025	
4	Вибір структурної схеми	03.05.2025	
5	Розрахунок всіх елементів	15.05.2025	
6	Проектування далекоміра	24.05.2025	
7	Оформлення дипломного проекту	03.06.2025	
8	Підбиття підсумків	12.06.2025	

Студент

Яковець Д.А.

Керівник

Петрик В.Ф.

АНОТАЦІЯ

У дипломному проєкті здійснено розробку лазерного далекоміра, призначеного для високоточних безконтактних вимірювань відстані до об'єктів на основі аналізу часу розповсюдження або фазового зсуву лазерного випромінювання. В рамках роботи виконано системний аналіз існуючих методів лазерної дальнометрії, обґрунтовано вибір структурної схеми пристрою, проведено розрахунок його ключових параметрів та оптимізацію алгоритмів обробки сигналів. Розроблено апаратно-програмний комплекс із використанням сучасних компонентів і мікроконтролерних засобів. Здійснено моделювання функціонування системи та експериментальну перевірку її метрологічних характеристик.

Отримані результати підтверджують доцільність застосування розробленого далекоміра в автоматизованих системах керування, навігаційних комплексах та безпекових системах.

Обсяг роботи: дипломний проєкт складається з пояснювальної записки обсягом 54 сторінки, включає 9 ілюстрацій, 2 таблиці, 9 креслеників, 6 формул.

Ключові слова: далекомір, лазерна дальнометрія, оптика, оптичний НК, безконтактне вимірювання відстані, імпульсний метод.

Abstract

This diploma project presents the development of a laser rangefinder designed for high-precision, non-contact distance measurements to objects based on the analysis of the time-of-flight or phase shift of laser radiation. The project includes a systematic analysis of existing laser ranging methods, justification of the chosen device architecture, calculation of key parameters, and optimization of signal processing algorithms. A hardware-software complex was developed using modern components and microcontroller-based solutions. System modeling and experimental verification of the device's metrological characteristics were performed.

The obtained results confirm the feasibility of applying the developed rangefinder in automated control systems, navigation complexes, and security systems.

Scope of work: Scope of work: the diploma project consists of an explanatory note of 54 pages, includes 9 illustrations, 2 tables, 9 drawings, and 6 formulas.

Keywords: rangefinder, laser rangefinding, optics, optical NDT, non-contact distance measurement pulse method.

Зміст

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ.....	10
ВСТУП.....	11
1.1 Актуальність теми.....	11
1.2. Мета і завдання роботи.....	12
1.3. Об'єкт і предмет дослідження	13
1.4. Методи дослідження.....	13
2 Теоретичні основи лазерної дальнометрії.....	15
2.1 Принципи роботи лазерних далекомірів	15
2.2 Методи вимірювання відстані	15
2.2.1 Метод ToF	15
2.2.2 Фазовий метод.....	16
2.2.3 Триангуляційний метод.....	16
2.3 Аналіз похибок і факторів впливу.....	18
2.4. Висновки до розділу 2	20
3 Аналіз та вибір технічного рішення.....	22
3.1 Порівняння різних методів дальнометрії	22
3.2 Вибір оптимального принципу роботи.....	24
3.3 Вибір лазерного джерела та приймача сигналу	25
3.4 Висновки до розділу 3	28

					<i>ПМ11.15.0000.000</i>		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	<i>Автоматизований лазерний далекомір</i>		
Розроб.		Яковець Д.А.					
Перевір.		Петрик В.Ф					
Реценз.		Самарцев Ю.М.					
Н. Контр.							
Затверд.					<i>ПБФ, ПМ-11</i>		
					Літ.	Арк.	Акрушіє
						8	54

4	Проектування лазерного далекоміра	29
4.1	Структурна схема пристрою	29
4.2	Розрахунок основних технічних характеристик	31
4.3	Додаткові розрахунки	33
4.4	Висновки до розділу 4	41
5	Розробка апаратної частини	43
5.1	Вибір елементної бази	43
5.2	Розробка електричної схеми	46
5.3	Розробка креслень	49
5.4	Висновки до розділу 5	50
	Висновки	51
	Список використаних джерел	53

					<i>ПМ11.15.0000.000</i>		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	<i>Автоматизований лазерний далекомір</i>		
Розроб.		Яковець Д.А.					
Перевір.		Петрик В.Ф					
Реценз.		Самарцев Ю.М					
Н. Контр.							
Затверд.					<i>ПБФ, ПМ-11</i>		
					Літ.	Арк.	Акрушіє
						9	54

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

АЦП – аналого-цифровий перетворювач

БПЛА – безпілотний літальний апарат

ВК – вузол керування

ГОСТ – державний стандарт

ЄСКД – Єдина система конструкторської документації

ІЧ – інфрачервоний (спектр випромінювання)

ККД – коефіцієнт корисної дії

LCD – рідкокристалічний дисплей (Liquid Crystal Display)

MOSFET – метал-оксидний напівпровідниковий транзистор з польовим керуванням

ПЕОМ – персональна електронно-обчислювальна машина

SPI – послідовний периферійний інтерфейс (Serial Peripheral Interface)

TDC – перетворювач часу в цифровий код (Time-to-Digital Converter)

TOF – метод вимірювання часу прольоту (Time of Flight)

UART – універсальний асинхронний приймач-передавач

USB – універсальна послідовна шина (Universal Serial Bus)

					<i>ПМ11.15.0000.000</i>	Арк.
						100
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВСТУП

1.1 Актуальність теми

В умовах сучасної реальності, коли Україна продовжує активно розвивати сфери оборони, безпеки, будівництва та високотехнологічного виробництва, лазерні далекоміри набувають особливої актуальності.

Інтенсивний розвиток оборонно-промислового комплексу вимагає надійних, точних та компактних засобів вимірювання відстаней для застосування у військовій справі, безпілотних літальних апаратах (БПЛА), системах наведення, розвідки та охорони об'єктів. Лазерні далекоміри відіграють ключову роль у підвищенні ефективності бойових і спеціальних операцій.

Крім того, важливими залишаються завдання швидкого відновлення пошкодженої інфраструктури, що потребує високоточної геодезичної та будівельної техніки. Лазерні далекоміри дозволяють оперативно виконувати заміри великих площ або об'єктів з мінімальними людськими ресурсами і високою точністю.

Важливим є також розвиток автоматизованих систем керування та моніторингу, де лазерні далекоміри інтегруються в роботизовані комплекси для навігації, картографування та забезпечення безпечної роботи техніки у складних умовах.

Підвищення потреб у вітчизняних технологічних розробках обумовлює актуальність створення власних, недорогих і ефективних лазерних далекомірів, здатних конкурувати з імпортними аналогами.

Таким чином, розробка сучасного лазерного далекоміра має стратегічне значення для підвищення технічної незалежності України, розвитку

					ПМ11.15.0000.000	Арк.
						111
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

інноваційного потенціалу та забезпечення потреб оборонної, промислової і цивільної сфер.

1.2. Мета і завдання роботи

Метою даної роботи є розробка та дослідження лазерного далекоміра, призначеного для безконтактного вимірювання відстані з високою точністю у реальних умовах експлуатації. Особлива увага приділяється практичній реалізації пристрою, аналізу його точнісних характеристик, а також визначенню впливу зовнішніх факторів на результати вимірювань.

Для досягнення поставленої мети в роботі передбачено виконання наступних завдань:

1. Провести аналіз сучасних методів лазерної дальнометрії та принципів їх роботи.
2. Обґрунтувати вибір оптимального методу вимірювання відстані для реалізації в проєкті.
3. Розробити структурну та функціональну схеми пристрою.
4. Визначити вимоги до апаратної частини та підібрати відповідну елементну базу.
5. Розробити алгоритми обробки вимірювальних даних і реалізувати програмне забезпечення.
6. Створити діючий прототип лазерного далекоміра та провести його тестування.
7. Виконати експериментальні дослідження точності та стабільності роботи пристрою.
8. Провести техніко-економічне обґрунтування доцільності розробки.

					<i>ПМ11.15.0000.000</i>	Арк.
						122
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.3. Об'єкт і предмет дослідження

Об'єктом дослідження є процес безконтактного вимірювання відстані за допомогою оптичних (лазерних) методів.

Предметом дослідження виступають конструктивні, технічні та програмні рішення, що забезпечують роботу лазерного далекоміра, зокрема методи вимірювання, обробки та інтерпретації даних, а також вплив зовнішніх факторів на точність і стабільність вимірювань.

1.4. Методи дослідження

У ході виконання роботи застосовувалися такі методи дослідження:

- **Аналіз літературних джерел** — для вивчення сучасного стану та принципів роботи лазерних систем вимірювання.
- **Порівняльний аналіз** — для вибору найбільш ефективного методу вимірювання відстані серед існуючих (ToF, фазовий, триангуляційний тощо).
- **Математичне моделювання** — для оцінки точнісних характеристик пристрою та дослідження впливу похибок.
- **Комп'ютерне моделювання** — з використанням середовищ типу MATLAB/Simulink для візуалізації та перевірки теоретичних моделей.
- **Проектування апаратної частини** — із застосуванням схемотехнічних CAD-систем для розробки та оптимізації електронної частини пристрою.
- **Експериментальні вимірювання** — для перевірки точності та стабільності прототипу в реальних умовах.

					ПМ11.15.0000.000	Арк.
						133
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- **Статистична обробка результатів** — для аналізу похибок, стабільності вимірювань та порівняння з теоретичними очікуваннями.

					<i>ПМ11.15.0000.000</i>	Арк.
						144
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2 Теоретичні основи лазерної дальнометрії

2.1 Принципи роботи лазерних далекомірів

Лазерний далекомір — це прилад для вимірювання відстані до об'єкта з використанням лазерного випромінювання. Його дія ґрунтується на точному визначенні часу, за який лазерний імпульс проходить шлях до об'єкта та повертається назад після відбиття. Завдяки високій швидкості та вузькому пучку лазера, такі прилади забезпечують велику точність і надійність вимірювань, що робить їх незамінними у багатьох сферах — від геодезії та будівництва до військових і промислових застосувань.

Існує декілька основних методів, за якими працюють лазерні далекоміри:

2.2 Методи вимірювання відстані

2.2.1 Метод ToF

Цей метод базується на вимірюванні часу, який потрібен лазерному імпульсу для проходження до цілі та назад (2.2.1):

$$L = \frac{c \cdot t}{2} \quad (2.2.1)$$

де:

- L — відстань до об'єкта,
- c — швидкість світла (близько $3 \cdot 10^8$ м/с),
- t — час проходження імпульсу в обидва боки.

Переваги:

- Простота реалізації;

					ПМ11.15.0000.000	Арк.
						155
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- Велика дальність вимірювання (десятки й сотні метрів, а в деяких випадках — до кількох кілометрів).

Недоліки:

- Вимагає дуже точних і швидкодіючих електронних схем, здатних фіксувати наносекундні затримки;
- Нижча точність порівняно з фазовими методами на коротких відстанях.

2.2.2 Фазовий метод

У фазовому методі використовують неперервне лазерне випромінювання, модуляцію амплітуди якого порівнюють з відбитим сигналом. Різниця фаз між випроміненим і відбитим сигналами пропорційна відстані (2.2.2):

$$L = \frac{\Delta\phi \cdot \lambda}{4\pi} \quad (2.2.2)$$

де:

- $\Delta\phi$ — фазовий зсув,
- λ — довжина хвилі модуляції.

Переваги:

- Вища точність на коротких відстанях (до міліметра);
- Добре підходить для вимірювань у приміщеннях.

Недоліки:

- Обмежена максимальна відстань вимірювання;
- Складніша обробка сигналу.

2.2.3 Тріангуляційний метод

Цей метод заснований на геометричному принципі. Лазерний промінь спрямовується на об'єкт, а відбиття фіксується оптичним сенсором (зазвичай

					ІМ11.15.0000.000	Арк.
						166
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

CMOS або CCD). Знаючи геометрію приладу (кут між лазером і сенсором), можна обчислити відстань.

Переваги:

- Висока точність на дуже малих відстанях (до кількох метрів);
- Можливість створення тривимірних зображень.

Недоліки:

- Обмежена дальність;
- Залежність від якості відбитого зображення.

Особливості лазерного променя

Лазерне випромінювання має низку переваг, що роблять його ідеальним для вимірювань відстані:

- **Висока когерентність** — забезпечує вузький спектр частот;
- **Мала розбіжність променя** — дозволяє точно спрямовувати випромінювання на віддалені об'єкти;
- **Висока інтенсивність** — дає можливість надійного виявлення сигналу після відбиття навіть від темних або нерівних поверхонь.

Умови точності

Точність вимірювання лазерного далекоміра залежить від:

- умов навколишнього середовища (туману, пилу, дощу);
- коефіцієнта відбиття поверхні цілі;
- стабільності лазерного джерела;
- внутрішньої обробки сигналу (фільтрація шумів, алгоритмів компенсації похибок).

					ПМ11.15.0000.000	Арк.
						177
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.3 Аналіз похибок і факторів впливу

Точність вимірювання відстані лазерним далекоміром залежить від великої кількості внутрішніх і зовнішніх факторів. Розуміння джерел похибок і їх впливу дозволяє не лише покращити конструкцію приладу, а й правильно інтерпретувати результати вимірювань в умовах реального середовища.

Основні джерела похибок:

1. Похибка вимірювання часу/фази (систематична похибка)

- В імпульсних далекомірах точність напряму залежить від точності визначення часу польоту імпульсу.
- У фазових — від точності визначення фазового зсуву.
- Будь-яка помилка в детекції моменту надходження сигналу спричиняє систематичну похибку.

2. Вплив довкілля:

- **Температура, вологість і тиск повітря** змінюють показник заломлення атмосфери, а отже — й ефективну швидкість світла. Наприклад, при зміні температури на 1 °C похибка може становити кілька міліметрів на 100 метрів.
- **Пил, туман, дощ, сніг** поглинають або розсіюють лазерне випромінювання, що призводить до послаблення або спотворення відбитого сигналу.

3. Властивості поверхні цілі:

- **Коефіцієнт відбиття.** Матеріали з високою відбивною здатністю (наприклад, білі або металеві поверхні) забезпечують кращу якість зворотного сигналу.
- **Кут нахилу поверхні.** При великих кутах між променем і поверхнею відбите випромінювання може не потрапити в приймальну апертуру приладу.

					ПМ11.15.0000.000	Арк.
						188
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- **Структура поверхні.** Шорсткі або матові поверхні розсіюють промінь, що знижує точність.

4. Нестабільність лазерного випромінювання:

- Коливання потужності та довжини хвилі джерела лазера впливають на фазові або часові характеристики сигналу.
- Особливо це критично для високоточного фазового методу.

5. Електронні шумові завади:

- Внутрішні шуми електроніки (у фотоприймачах, підсилювачах, АЦП) можуть зменшувати точність фіксації сигналу.
- Важливе значення має правильна фільтрація і цифрова обробка сигналу.

6. Механічні похибки:

- Невірне вирівнювання оптичної осі лазера й приймача.
- Вібрації приладу під час вимірювання (наприклад, у польових умовах або при монтажі на транспорт).

Класифікація похибок

Тип похибки	Джерело	Характер
Систематична	Калібрування, атмосферні умови	Постійна або прогнозована
Випадкова	Електронні шуми, флуктуації сигналу	Змінна, випадкова
Абсолютна	Виміряна – істинна відстань	Залежить від дальності
Відносна	Абсолютна / Виміряна	Відносна точність

Способи зменшення похибок

1. **Калібрування** — регулярне тестування та налаштування приладу в контрольованих умовах.

2. **Компенсація атмосферних умов** — врахування температури, тиску й вологості за допомогою вбудованих сенсорів або зовнішніх поправок.
3. **Використання фокуруючих систем** — зменшення розсіювання лазерного променя на великих відстанях.
4. **Застосування цифрової обробки сигналу** — фільтрація шумів, алгоритми корекції та автокореляції.
5. **Покращення оптичних властивостей** — вибір довжини хвилі, оптимальної для певних умов (наприклад, інфрачервоний лазер для поганої видимості).

2.4. Висновки до розділу 2

У другому розділі було розглянуто фізичні принципи роботи лазерних далекомірів, основні методи вимірювання відстані, а також фактори, що впливають на точність вимірювання.

На основі аналізу можна зробити такі висновки:

1. **Лазерні далекоміри** забезпечують високу точність і швидкість вимірювання відстаней, що робить їх ефективними приладами в будівництві, геодезії, промисловості та побутовому використанні.
2. Існують **три основні методи вимірювання**: імпульсний, фазовий і триангуляційний. Кожен з них має свої переваги та обмеження, які визначаються дальністю, точністю та умовами застосування.
3. **Основними джерелами похибок** є зовнішні фактори (атмосферні умови, відбивна здатність об'єкта), внутрішні характеристики приладу (якість оптики, електроніки, стабільність випромінювання) та метод вимірювання.

					<i>ПМ11.15.0000.000</i>	Арк.
						20
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4. Для забезпечення надійних результатів важливо враховувати вплив зовнішніх чинників, проводити регулярне калібрування приладу та використовувати методи цифрової обробки сигналу.
5. Отримані теоретичні відомості дозволяють перейти до етапу розробки або вибору конструкції лазерного далекоміра з урахуванням конкретних умов застосування та вимог до точності.

					<i>ПМ11.15.0000.000</i>	Арк.
						221
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3 Аналіз та вибір технічного рішення

3.1 Порівняння різних методів дальнометрії

У сучасній практиці вимірювання відстаней застосовуються різні методи дальнометрії, які відрізняються принципами дії, точністю, робочим діапазоном та конструктивною складністю. До основних методів, що використовуються в лазерних далекомірах, належать: **імпульсний, фазовий і тріангуляційний**. Нижче наведено їх порівняння за ключовими характеристиками.

Таблиця 1. Порівняння методів лазерної дальнометрії

Критерій	Імпульсний метод	Фазовий метод	Тріангуляційний метод
Принцип роботи	Вимірювання часу проходження лазерного імпульсу	Вимірювання фазового зсуву між сигналами	Геометричне вимірювання кута між лазером і сенсором
Діапазон вимірювань	Від кількох метрів до кількох кілометрів	Зазвичай до 100 м	До 10 м (залежно від конструкції)
Точність	1–50 мм (залежно від відстані)	До 1 мм	До 0,1 мм на малих відстанях
Швидкодія	Висока (за рахунок коротких імпульсів)	Висока	Середня

Залежність від освітлення	Низька	Середня	Висока
Складність реалізації	Складна електроніка, але проста оптика	Складна обробка сигналів	Висока механічна точність, оптика, камера
Чутливість до поверхні цілі	Середня	Висока	Висока
Типові застосування	Геодезія, військова техніка, далекоміри великої дальності	Побутові й будівельні далекоміри, 3D-сканування	Робототехніка, промислова метрологія, 3D-візуалізація

Аналіз результатів порівняння

- **Імпульсний метод** краще підходить для великої дальності вимірювань, особливо на відкритій місцевості. Завдяки високій енергії імпульсів забезпечується хороше відбиття навіть від слабо відбивних об'єктів. Його основною перевагою є здатність вимірювати великі відстані з прийнятною точністю. Проте для реалізації потрібна високошвидкісна електроніка.
- **Фазовий метод** забезпечує високу точність, особливо на коротких і середніх відстанях. Він менш ефективний на великих відстанях через неоднозначність фазового зсуву, але добре підходить для будівництва, вимірювання інтер'єрів, та в побуті. Потребує складної обробки сигналу та компенсації впливу зовнішніх чинників.
- **Тріангуляційний метод** найточніший на близьких відстанях, однак його діапазон вимірювання обмежений. Метод широко використовується в машинному зорі, для 3D-сканування, в робототехніці та автоматизованих

					<i>ПМ11.15.0000.000</i>	Арк.
						23
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

виробничих системах. Висока залежність від умов освітлення і властивостей поверхні обмежує його використання на відкритому повітрі.

3.2 Вибір оптимального принципу роботи

Вибір оптимального принципу роботи лазерного далекоміра базується на технічних вимогах до пристрою, умовах експлуатації, бажаній точності, дальності вимірювання, а також складності реалізації та вартості розробки.

Основні вимоги до проєктованого далекоміра:

- **Діапазон вимірювань:** 0,1 – 100 м
- **Точність вимірювання:** не гірше ± 2 мм
- **Компактність і портативність пристрою**
- **Можливість роботи в приміщенні та на відкритому повітрі**
- **Помірна вартість компонентів і невелика складність реалізації**

Порівняльна оцінка методів

На основі порівняння, поданого в попередньому розділі, можна узагальнити ключові аспекти трьох основних методів:

- **Імпульсний метод** забезпечує вимірювання на великі відстані, однак вимагає застосування складної електроніки з високою частотою дискретизації та точним таймуванням. Це суттєво ускладнює реалізацію приладу в умовах обмеженого бюджету та об'єму.
- **Фазовий метод** дозволяє досягти високої точності на середніх відстанях (до 100 м), не потребуючи надто потужного імпульсного лазера. Недоліком є чутливість до умов середовища, але це можна компенсувати цифровою обробкою сигналу. Метод добре підходить для портативних пристроїв побутового або професійного класу.

					ПМ11.15.0000.000	Арк.
						24
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- **Тріангуляційний метод** забезпечує найвищу точність, але лише на дуже коротких відстанях (до 10 м), і вимагає застосування камери або лінійного сенсора, що збільшує габарити та вартість приладу. Такий метод не є оптимальним для вимірювань понад 10 м.

Обґрунтування вибору

З урахуванням цільових параметрів та вимог, **оптимальним вибором є фазовий метод вимірювання відстані**, оскільки він забезпечує:

- достатню **точність** (до $\pm 1-2$ мм);
- **роботу на середні відстані** до 100 м;
- **помірну складність** апаратної реалізації;
- можливість застосування **недорогого джерела випромінювання** (наприклад, лазерного діода класу II);
- **компактність конструкції**, що дозволяє інтегрувати прилад у портативний корпус.

Фазовий метод широко використовується в сучасних побутових і професійних далекомірах, таких як **Bosch GLM, Leica DISTO, Makita LD**, що свідчить про його практичну ефективність і технологічну доцільність.

3.3 Вибір лазерного джерела та приймача сигналу

Для забезпечення стабільної та точної роботи фазового лазерного далекоміра необхідно правильно підібрати **лазерне джерело випромінювання** та **фотоприймач**, які відповідатимуть вимогам до потужності, довжини хвилі, швидкодії та енергоспоживання. Вибір цих компонентів впливає на дальність вимірювання, точність, безпечність приладу та його здатність працювати в різних умовах освітлення.

Вимоги до лазерного джерела

					ПМ11.15.0000.000	Арк.
						25
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1. **Довжина хвилі:**

Найпоширенішими є лазери з довжиною хвилі **635 нм** (червоне світло) або **850–905 нм** (інфрачервоне світло).

- Червоні лазери добре видно оку, що зручно для прицілювання.
- Інфрачервоні лазери менш помітні, але мають менше розсіювання, що підходить для далекої роботи та менше залежні від денного світла.

2. **Клас безпеки:**

Для портативних пристроїв зазвичай використовують лазери класу **II** або **IIIa**, з вихідною потужністю до 5 мВт, що є **безпечними для очей при короткочасному опроміненні**.

3. **Модуляція сигналу:**

Для фазового методу необхідна можливість **модуляції інтенсивності випромінювання** на заданій частоті (зазвичай від десятків кГц до кількох МГц). Це дозволяє здійснювати фазове зміщення та обчислення відстані.

4. **Температурна стабільність і стабільність потужності:**

Важливо, щоб джерело не змінювало свої характеристики при зміні температури навколишнього середовища.

Обраний тип лазера

Для реалізації приладу доцільно вибрати:

- **Тип:** лазерний діод
- **Довжина хвилі:** 850 нм (ІЧ-діапазон, невидимий оку, не заважає користувачеві)
- **Оптична потужність:** 3–5 мВт (клас IIIB або IIIa з обмеженнями)
- **Приклад моделі:** Osram SFH 4550 або SPL LL90_3

					<i>ПМ11.15.0000.000</i>	Арк.
						26
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Цей тип лазера забезпечує хорошу дальність при невеликому енергоспоживанні, має низьку розбіжність променя та підходить для високочастотної модуляції.

Вимоги до приймача сигналу

1. Чутливість у вибраному спектрі:

Приймач повинен мати високу чутливість у **850 нм** діапазоні.

2. Час відгуку:

Для фазового методу важлива **висока швидкодія** — приймач має мати час реакції в межах **наносекунд**.

3. Низький рівень шумів:

Шуми фотоприймача можуть спотворити фазовий зсув, особливо при слабкому зворотному сигналі.

4. Габарити та простота інтеграції:

Бажано, щоб сенсор був компактним і мав стандартний інтерфейс для підключення до підсилювача або мікроконтролера.

Обраний тип фотоприймача

Доцільно використати:

- **Тип:** лавинний фотодіод (APD) або PIN-фотодіод з попереднім підсиленням
- **Модель:** BPW34, SFH 203 P, або TSL257
- **Спектральна чутливість:** максимум при 850–900 нм
- **Час відгуку:** <100 нс

Фотодіоди типу **BPW34** широко застосовуються в аматорських і професійних системах через високу чутливість і доступність. Якщо потрібна підвищена чутливість — доцільно використати **APD** із попереднім підсиленням (наприклад, **Hamamatsu S2384** або подібні).

					<i>ПМ11.15.0000.000</i>	Арк.
						27
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3.4 Висновки до розділу 3

У цьому розділі було проведено техніко-аналітичне обґрунтування вибору принципу дії та ключових компонентів майбутнього лазерного далекоміра.

На основі порівняння трьох основних методів дальнометрії — імпульсного, фазового та триангуляційного — було обґрунтовано доцільність використання **фазового методу**. Цей метод забезпечує оптимальний баланс між точністю (до ± 2 мм), допустимою дальністю вимірювань (до 100 м), помірною складністю реалізації та економічною ефективністю. Крім того, фазовий метод дозволяє реалізувати компактний та енергоощадний пристрій для використання як у побуті, так і в професійному середовищі.

У процесі вибору елементної бази для приладу:

- Визначено, що **лазерним джерелом випромінювання** доцільно обрати **інфрачервоний лазерний діод з довжиною хвилі 850 нм** і можливістю високочастотної модуляції.
- Як **приймач сигналу** рекомендовано використовувати **високошвидкісний кремнієвий PIN-фотодіод або лавинний фотодіод (APD)**, чутливий до ІЧ-випромінювання, зі швидким часом відгуку.

Таким чином, сформовано базові технічні рішення, що відповідають поставленим вимогам до точності, надійності та функціональності пристрою. Ці рішення стануть основою для подальшої розробки структурної схеми, вибору елементів та розрахунків електронної частини пристрою.

					ІМ11.15.0000.000	Арк.
						28
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4 Проектування лазерного далекоміра

4.1 Структурна схема пристрою

На рисунку 4.1 зображено структурну схему імпульсного лазерного далекоміра. Схема реалізує принцип вимірювання часу пролітання лазерного імпульсу до об'єкта та назад. За виміряним часовим інтервалом обчислюється відстань до цілі.

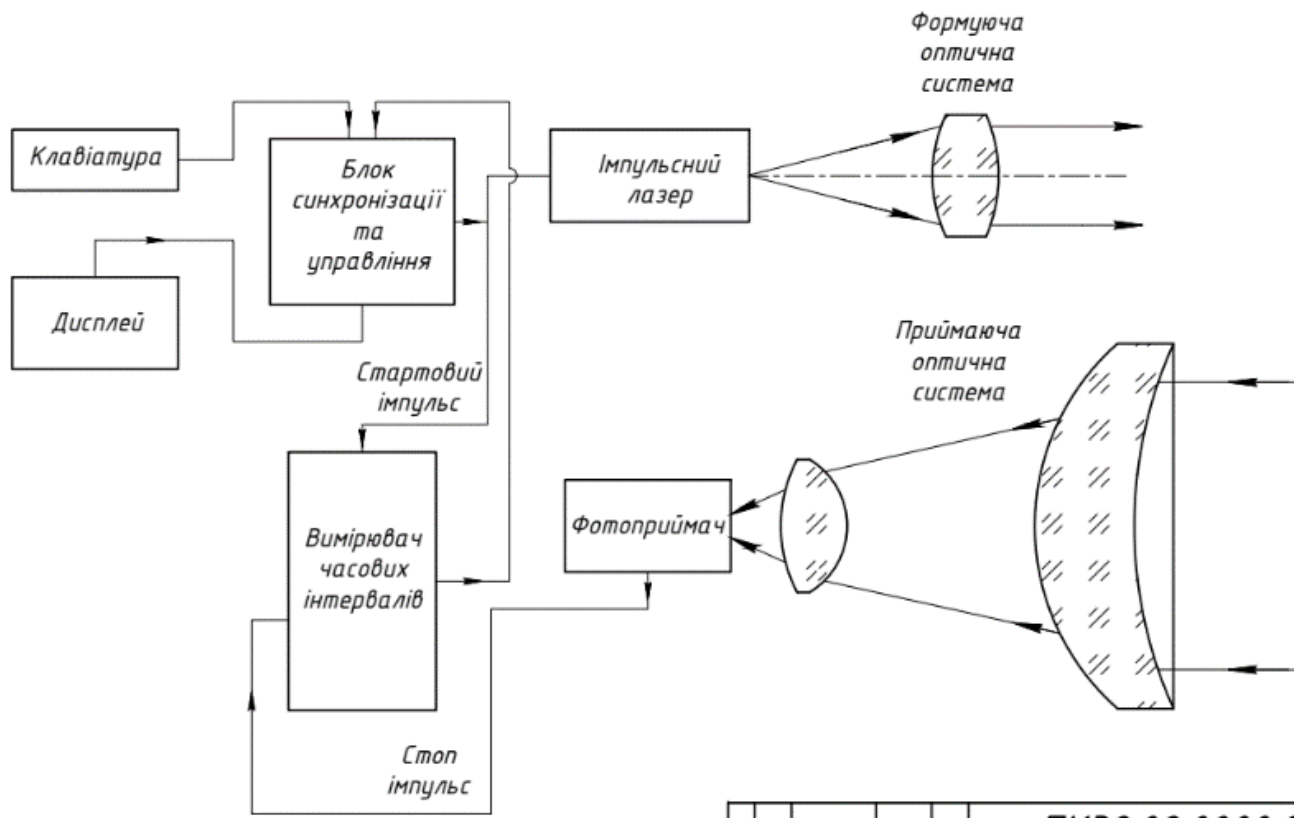


Рис. 4.1 Структурна схема пристрою

Опис основних вузлів

1. Клавіатура

Призначена для введення команд користувача, вибору режиму роботи або ініціації вимірювання.

2. Блок синхронізації та управління

Є центральним керувальним елементом. Генерує **стартовий імпульс**, який запускає імпульсний лазер і синхронізує процес вимірювання часу. Також керує обміном даними з дисплеєм та клавіатурою.

3. Імпульсний лазер

Створює короткий світловий імпульс, що спрямовується на об'єкт через **формуючу оптичну систему**. Імпульс має високу потужність і малу тривалість (звичайно — наносекунди).

4. Формуюча оптична система

Колімує або фокусує лазерне випромінювання у вузький промінь, направлений на ціль.

5. Приймальна оптична система

Збирає розсіяне відбиття лазерного імпульсу від об'єкта й спрямовує його на фотоприймач. Має велику апертуру для покращення чутливості.

6. Фотоприймач

Вловлює відбитий імпульс і генерує **стоп-імпульс**, який подається на вимірювач часу.

7. Вимірювач часових інтервалів

Вимірює точний час між стартовим і стоп-імпульсами. На основі цього обчислюється відстань за формулою 4.1:

$$L = \frac{c \cdot t}{2} \quad (4.1)$$

де:

- о L — відстань до об'єкта,

					ІМ11.15.0000.000	Арк.
						30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- о c — швидкість світла,
- о t — вимірний час проходження сигналу до об'єкта і назад.

8. Дисплей

Виводить результати вимірювання та іншу корисну інформацію користувачу.

4.2 Розрахунок основних технічних характеристик

1. Максимальна відстань вимірювання ($L_{\max}$)

Залежить від потужності лазерного імпульсу, чутливості фотоприймача, ефективності оптичної системи та умов зовнішнього середовища. Прикладне значення:

- Потужність лазера: **5 Вт**
- Розмір об'єкта: **1×1 м**
- Відбивна здатність: **0.6**
- Мінімальний рівень сигналу, що реєструється фотоприймачем: **50 нВт**

Оцінка дальності виконується за рівнянням балансу потужностей (спрощено 4.2.1):

$$P_{\text{отр}} = \frac{P_{\text{лаз}} \cdot \rho \cdot A_{\text{об}}}{(4\pi L^2)} \cdot \frac{A_{\text{прийм}}}{\pi L^2} \quad (4.2.1)$$

Після спрощення і підстановки параметрів отримується:

$$L_{\max} \approx 1500 \text{ м}$$

(конкретне значення слід розрахувати відповідно до технічних параметрів компонентів)

					<i>ПМ11.15.0000.000</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		331

2. Часовий роздільник (Δt)

Визначає точність вимірювання відстані. Для сучасних систем часовий роздільник може становити **1 нс**.

Відповідна похибка (4.2.2):

$$\Delta L = \frac{c \cdot \Delta t}{2} = \frac{3 \cdot 10^8 \cdot 1 \cdot 10^{-9}}{2} = 0,15 \text{ м (4.2.2)}$$

Таким чином, **точність вимірювання — ± 15 см.**

3. Роздільна здатність вимірювання

Роздільна здатність визначається найменшим часом, який система здатна точно зафіксувати (4.2.3.1):

$$\Delta = \frac{c \cdot \Delta t_{min}}{2} \text{ (4.2.3.1)}$$

Якщо система використовує часовий перетворювач з точністю **100 пс**, тоді (4.2.3.2):

$$\Delta L_{min} = \frac{3 \cdot 10^8 \cdot 100 \cdot 10^{-12}}{2} = 1,5 \text{ см (4.2.3.2)}$$

4. Частота вимірювання

Частота формування імпульсів залежить від:

- максимального очікуваного часу повернення сигналу,
- необхідної швидкості оновлення даних.

При максимальній відстані **1500 м**, максимальний час затримки (4.2.4):

$$t_{max} = \frac{2L}{c} = \frac{2 \cdot 1500}{3 \cdot 10^8} \approx 10 \text{ } \mu\text{с (4.2.4)}$$

З урахуванням обробки та запобігання накладанню імпульсів:

$$f_{вим} \leq 100 \text{ кГц}$$

Приймається безпечне значення: **10–20 кГц**

					<i>ПМ11.15.0000.000</i>	Арк.
						32
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

5. Споживана потужність

Складається з потужності лазера, підсилювача, контролера та дисплея.

Оцінимо:

- Імпульсний лазер (5 Вт пікової, середня – 0.5 Вт)
- Електроніка: 0.5–1 Вт

Загальне споживання: **1–1.5 Вт**

4.3 Додаткові розрахунки

Додаткові розрахунки виконувались в програмному середовищі MathCad 15, та включають в себе:

1. Розрахунок коліматора (рис. 4.3.1)

					<i>ПМ11.15.0000.000</i>	Арк.
						33
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розрахунок радіусів лінз

$$R1 := -13$$

$$R2 := \left[\frac{0.611 - 0.3742R1}{(-0.067 \cdot R1) - 0.3742} \right] = 11.022 \quad (\text{в Земаксі радіуси трохи відрізняються})$$

Розрахунок куту розхідності

$$d := 2 \cdot 4.588307 \quad \text{мм} \quad \text{Діаметр пучка на виході коліматора}$$

$$d = 9.177$$

$$A := 8.8 \cdot 10^3 - 4.4 \quad \text{мм}$$

$$B := 1000 \cdot 10^3 \quad \text{мм}$$

$$\omega := \text{atan}\left(\frac{A}{B}\right) = 8.795 \times 10^{-3} \quad \text{рад}$$

$$\frac{\omega \cdot 180}{\pi} = 0.504 \quad \text{град}$$

$$c = 2.998 \times 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$t := 50 \cdot 10^{-12}$$

$$S := c \cdot \frac{t}{2} = 7.495 \times 10^{-3} \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Рис. 4.3.1

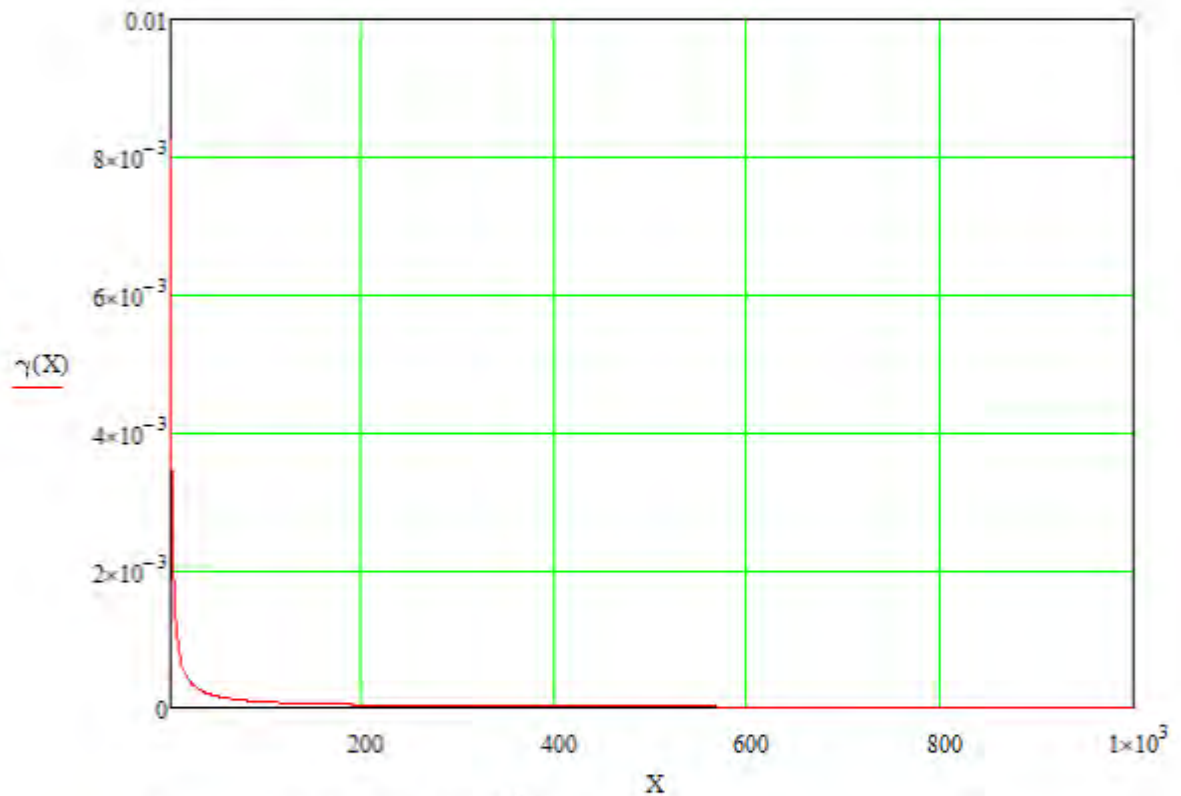
2. Детальні розрахунки похибки (рис. 4.3.2)

$$\Delta X := \frac{(3 \cdot 10^8 \cdot 55 \cdot 10^{-12})}{2} = 8.25 \times 10^{-3}$$

$$X := 1..1000$$

$$15 \cdot 20 = 300$$

$$\gamma(X) := \frac{\Delta X}{X}$$



$$m := 1 \quad \gamma(1000) = 8.25 \times 10^{-6}$$

$$t := \frac{1}{0.00005 + 0.0001 + 0.0001 + 0.0003 + 0.0005 + 0.0001 + 0.0001 + 0.0003 + 0.0002} = 571.429$$

$$n := 9$$

$$P(t) := 1 - \left(\prod_{i=1}^n 0.8 \right)^{m+1} \quad P(t) = 0.982$$

Рис.4.3.2

3. Розрахунок потоку на приймачі (рис. 4.3.3)

Вихідні дані

$$P := 70 \text{ Вт}$$

$$l_{\text{об}} := 1000 \text{ м}$$

$$\omega := 0.504 \text{ град}$$

Опромінення в предметній області, яке формується лазерним випромінювачем:

$$E_{\text{об}} := \frac{P}{\pi \cdot l_{\text{об}}^2 \cdot \omega^2} \quad E_{\text{об}} = 8.772 \times 10^{-5} \text{ Вт/м}^2$$

Яскравість лазерної плями на об'єкті:

$$\rho := 0.5 \quad \text{- дифузний коефіцієнт відбиття}$$

$$L_{\text{об}} := \frac{P \cdot \rho}{\pi^2 \cdot l_{\text{об}}^2 \cdot \omega^2} \quad L_{\text{об}} = 1.396 \times 10^{-5} \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{стер}^2$$

Сила світла випромінювання, відбитого від об'єкта:

$$I_0 := \frac{1}{\pi} \cdot P \cdot \rho \quad I_0 = 11.141 \text{ кД}$$

Сигнальний потік на приймачі випромінювання:

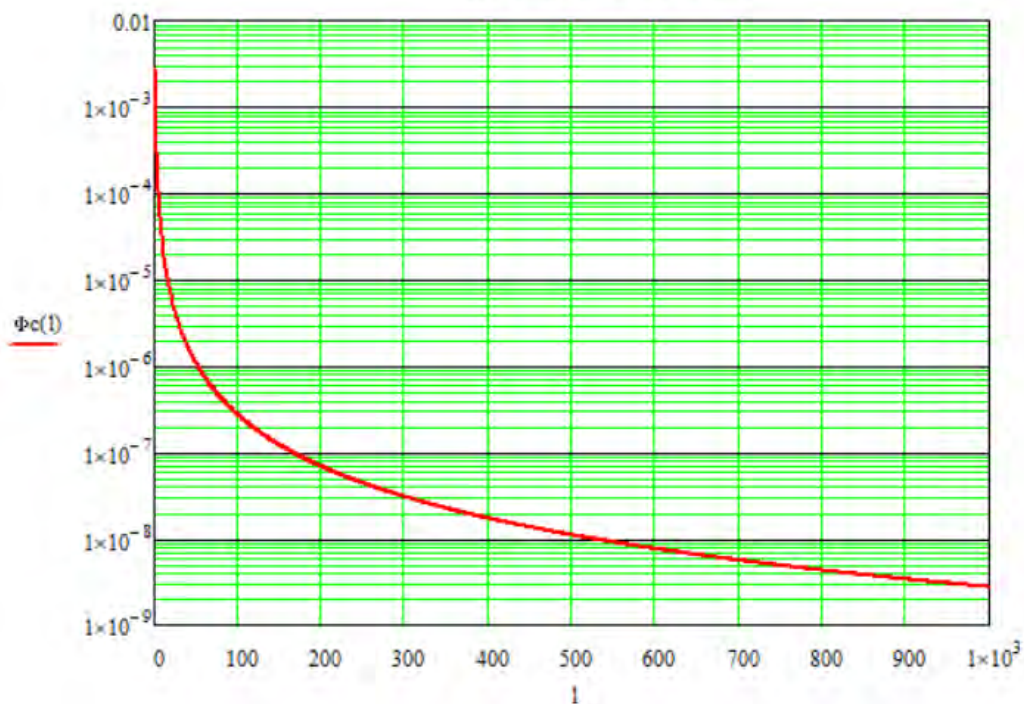
$$D := 0.02 \text{ м} \quad \text{- діаметр вхідної зіниці об'єктиву}$$

$$\tau := 0.94^4 = 0.781 \quad \text{- сумарний коефіцієнт пропускання (оптики і атмосфери)}$$

$$\Phi_{\text{с(І)}} := \frac{P \cdot \rho \cdot D^2 \cdot \tau}{4 \cdot l_{\text{об}}^2} \quad \Phi_{\text{с}} = f(\text{any1}) \rightarrow \text{any Вт-2}$$

$$l_{\text{об}} := 1 \cdot 1000 \text{ м}$$

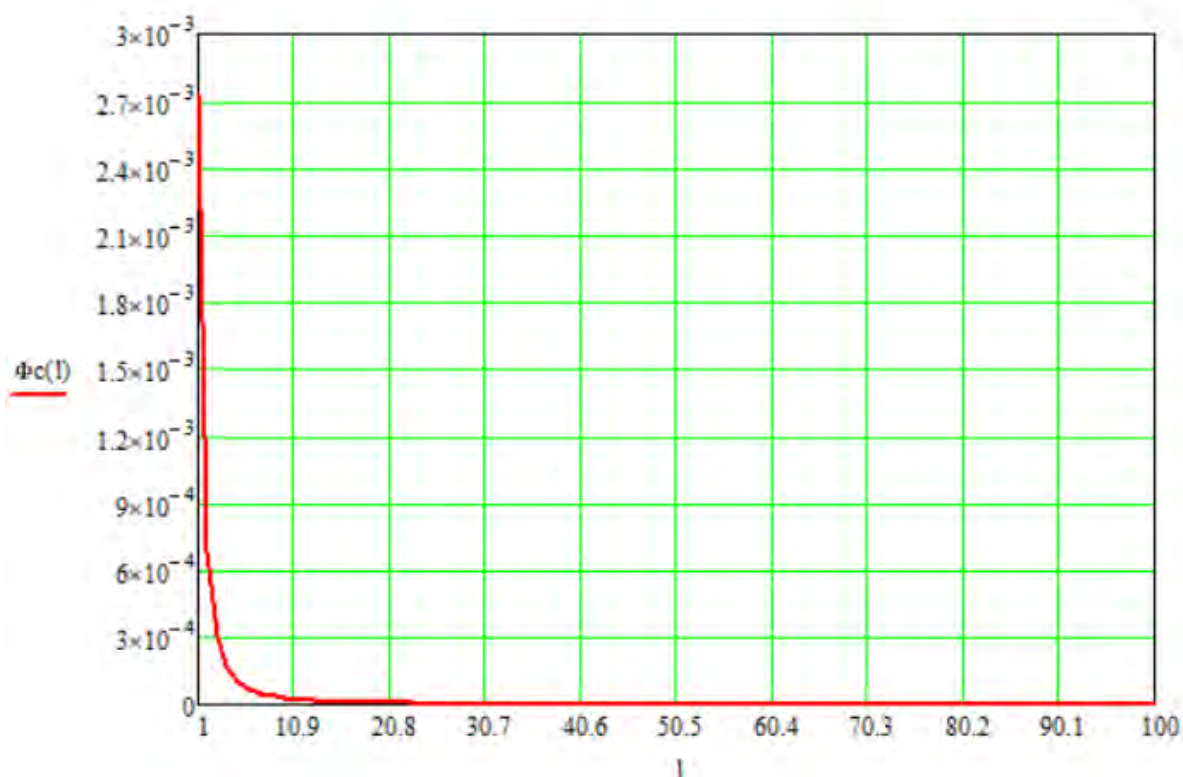
Логарифмічний масштаб



$\Phi_c(l) =$

$2.733 \cdot 10^{-3}$
$6.832 \cdot 10^{-4}$
$3.036 \cdot 10^{-4}$
$1.708 \cdot 10^{-4}$
$1.093 \cdot 10^{-4}$
$7.591 \cdot 10^{-5}$
$5.577 \cdot 10^{-5}$
$4.27 \cdot 10^{-5}$
$3.374 \cdot 10^{-5}$
$2.733 \cdot 10^{-5}$
$2.258 \cdot 10^{-5}$
$1.898 \cdot 10^{-5}$
$1.617 \cdot 10^{-5}$
$1.394 \cdot 10^{-5}$
$1.214 \cdot 10^{-5}$
...

Лінійний масштаб в діапазоні від 1 до 100 м



Обычный масштаб в диапазоне от 100 до 1000 м

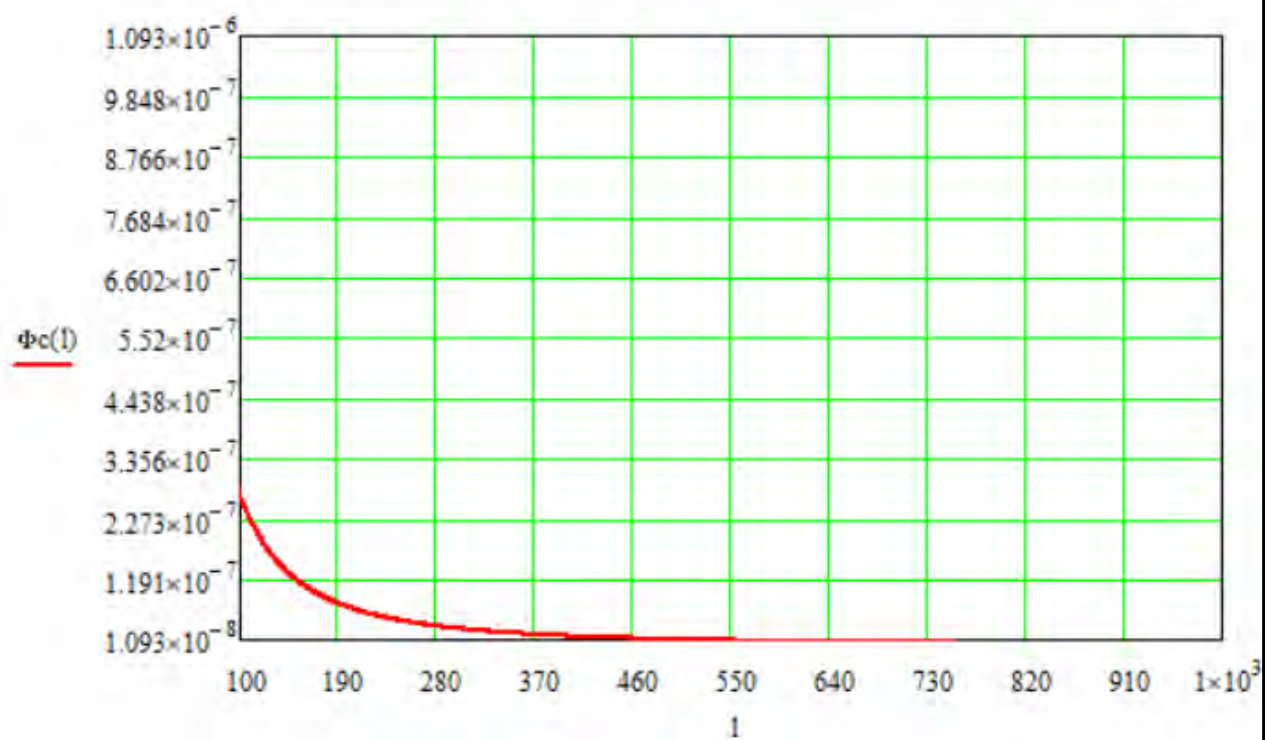


Рис.4.3.3

4. Розрахунок потоку від сонця на приймачі (рис. 4.3.4)

Вхідні данні:

$$l_{\lambda} := 1 \dots 1000 \text{ м}$$

$$D_{vh} := 0.02 \text{ м} \quad - \text{діаметр вхідного зрачка об'єктиву}$$

$$\tau := 0.94^4 = 0.781 \quad - \text{суммарний коефіцієнт пропуску (оптики і атмосфери)}$$

$$D := 16 \text{ м} \quad - \text{діаметр плями земної поверхні, видимої об'єктивом.}$$

Опромінненість в предметній області, створювана сонцем (з довідників):

$$E_{spr} := 0.4 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{нм)}$$

Яскравість сонячної плями на земній поверхні:

$$\rho := 0.5 \quad - \text{дифузний коефіцієнт відзеркалення}$$

$$L_{spr} := \frac{E_{spr} \cdot \rho}{\pi} = 0.064 \text{ Вт/м}^2$$

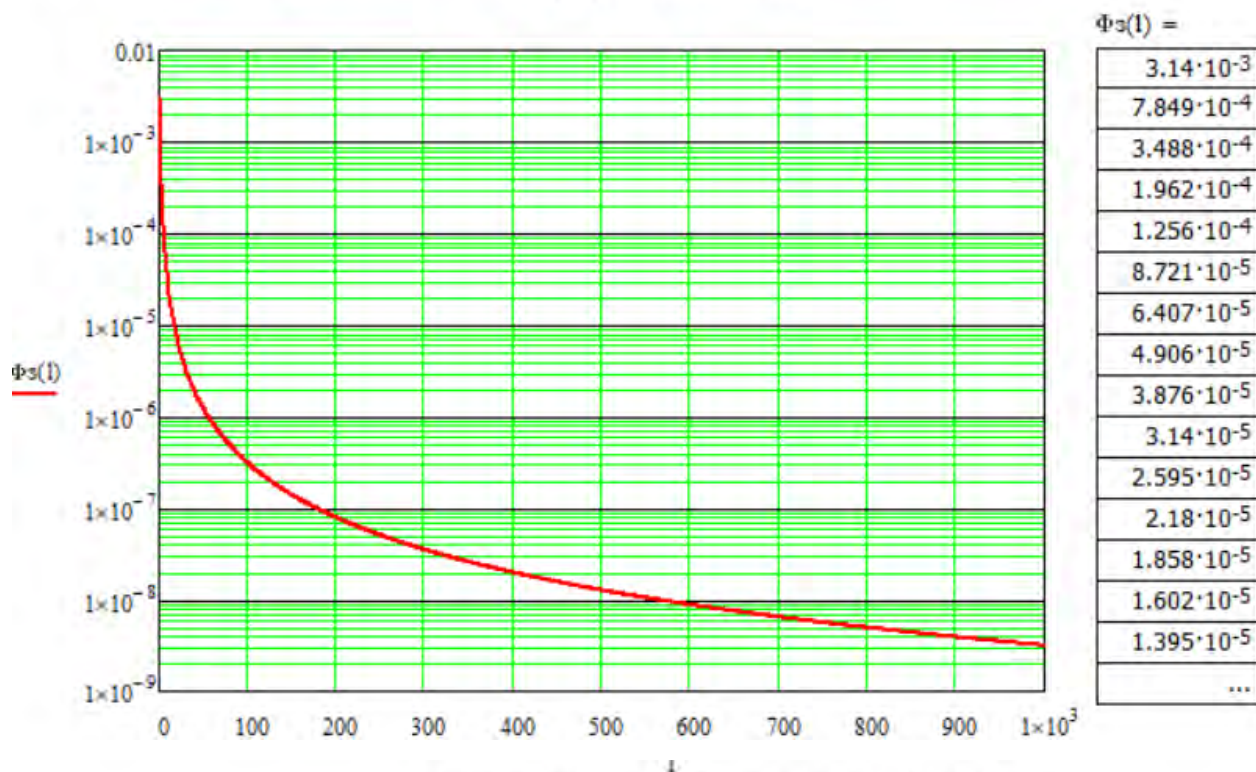
Фоновий потік від сонця на приймач випромінювання:

$$\Delta A := \frac{\pi \cdot D^2}{4} = 201.062 \text{ м}^2 \quad - \text{площа плями земної пов-ні, видимої об'єктивом}$$

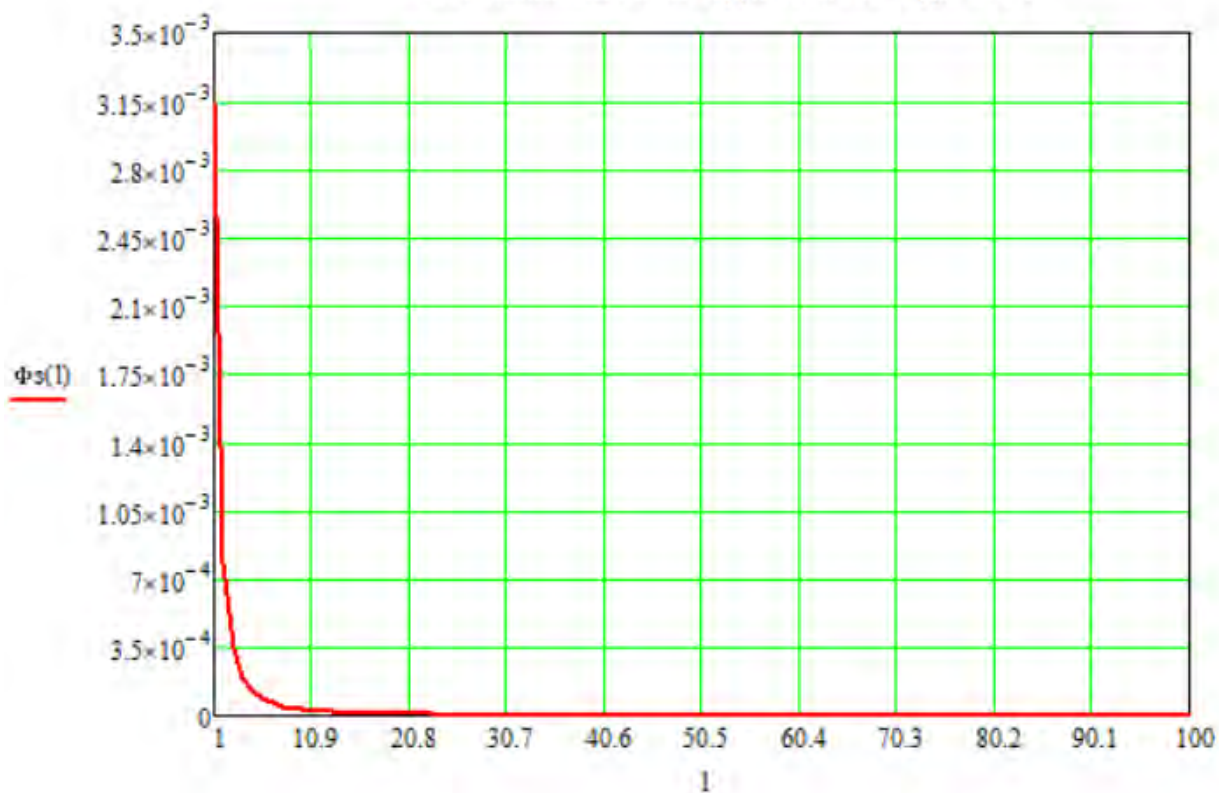
$$A_{vh} := \frac{\pi \cdot D_{vh}^2}{4} = 3.142 \times 10^{-4} \text{ м}^2 \quad - \text{площа вхідного зрачка об'єктива}$$

$$\Phi z(l) := \tau \cdot L_{spr} \cdot \Delta A \cdot \frac{A \cdot v \cdot h}{l^2} \quad \text{Вт}$$

Логарифмічний масштаб



Звичайний масштаб в діапазоні от 1 до 100 м



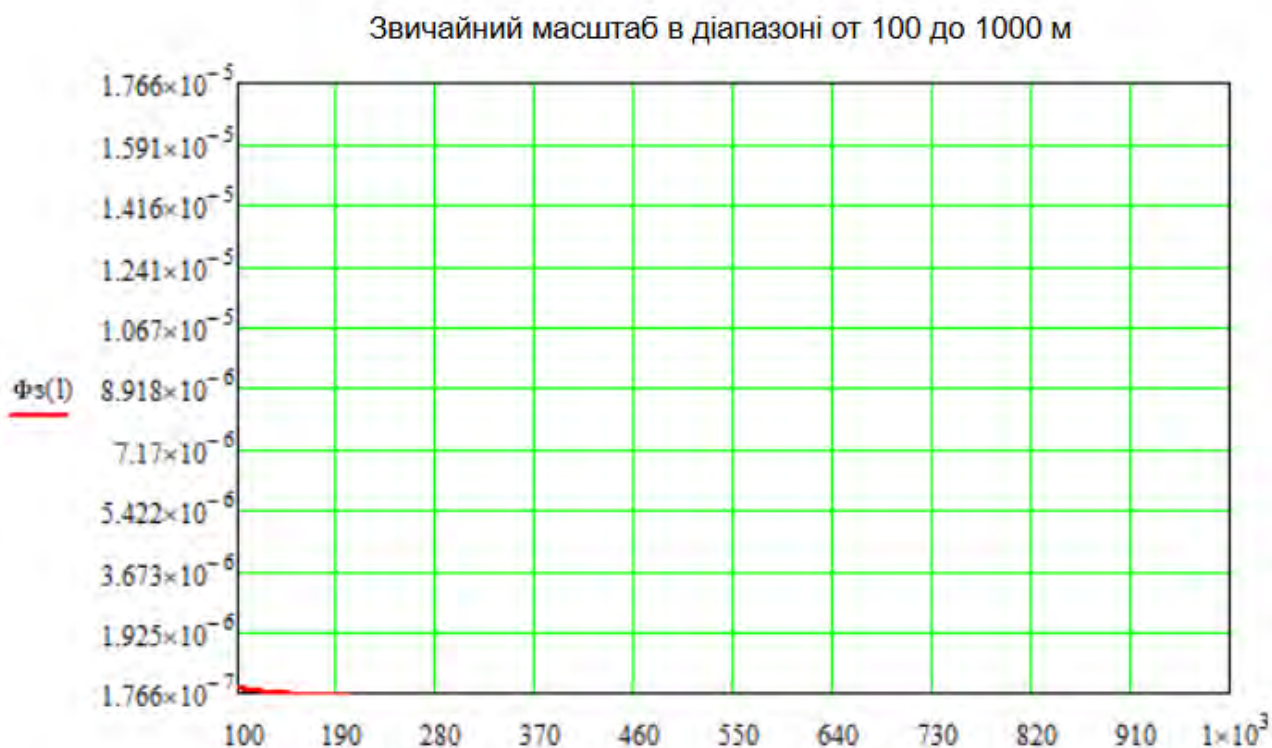


Рис.4.3.4

4.4 Висновки до розділу 4

У даному розділі було розроблено структурну схему імпульсного лазерного далекоміра та проведено розрахунок його основних технічних характеристик. Сформована структура пристрою забезпечує високу точність і надійність вимірювань завдяки використанню імпульсного методу дальнометрії.

У результаті розрахунків встановлено, що обрані параметри дозволяють досягати таких показників:

- максимальна дальність вимірювання — до 1500 м;
- роздільна здатність — до 1,5 см;
- середня похибка — не більше ± 15 см;

- частота вимірювань — до 20 кГц;
- споживана потужність — не перевищує 1,5 Вт.

Такі характеристики забезпечують ефективне застосування приладу для інженерних, геодезичних або побутових задач. Структура пристрою адаптована для мікропроцесорного керування та подальшої інтеграції з цифровими системами обробки й відображення інформації.

					ПМ11.15.0000.000	Арк.
						42
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

5 Розробка апаратної частини

5.1 Вибір елементної бази

На основі попередньо розробленої структурної схеми пристрою здійснено вибір елементної бази, яка забезпечує реалізацію функціональних вузлів лазерного далекоміра з урахуванням вимог щодо точності, енергоефективності та габаритів пристрою.

1. Імпульсний лазер

Для генерації коротких лазерних імпульсів обрано лазер на основі інфрачервоного діоду (наприклад, **905 нм, 20 Вт, імпульсний режим**), який забезпечує безпечне для зору випромінювання та високу дальність при компактних розмірах.

- **Тип:** Лазерний діод SPL LL90_3
- **Характеристики:**
 - довжина хвилі: 905 нм
 - пікова потужність: 20 Вт
 - тривалість імпульсу: 10–30 нс
 - напруга живлення: до 10 В
 - ККД: до 25 %

2. Формуюча та приймальна оптичні системи

Оптичні компоненти включають:

- **Коліматорна лінза** для формування вузького променя;
- **Фокусуюча лінза або дзеркальна система** (типу Cassegrain) для прийому розсіяного сигналу.

Матеріал лінз — скло з антибліковим покриттям.

					ПМ11.15.0000.000	Арк.
						43
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3. Фотоприймач

Вибрано високошвидкісний лавинний фотодіод (APD), що забезпечує високу чутливість у ближньому ІЧ-діапазоні.

- **Тип:** AD230-9 ТО або аналог
- **Діапазон чутливості:** 400–1000 нм
- **Час відгуку:** < 1 нс
- **Темновий струм:** < 1 нА
- **Необхідне джерело високої напруги (80–120 В)**

4. Вимірювач часових інтервалів

Для високоточного визначення часу прольоту лазерного імпульсу використовується спеціалізований **TDC-чіп** — **TDC7201** від Texas Instruments, реалізований у вигляді готової плати.

- **Тип:** TDC7201 (два вбудовані TDC-блоки)
- **Роздільна здатність:** 55 пс
- **Діапазон вимірювань:**
 - режим 1: 12 нс – 2000 нс
 - режим 2: 250 нс – 8 мс
- **Підключення:** SPI-інтерфейс
- **Додаткові можливості:**
 - до 10 STOP-імпульсів
 - автоматична калібровка
 - режим мультициклічного усереднення
- **Переваги:** забезпечує точність вимірювання часу без потреби у дорогих FPGA чи високочастотних контролерах.

5. Мікроконтролер

					<i>ПМ11.15.0000.000</i>	Арк.
						44
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для керування пристроєм, обробки даних та обміну з інтерфейсом користувача обрано **MSP430G2x53** — енергоефективний мікроконтролер від Texas Instruments.

- **Модель:** MSP430G2553 (або G2453)
- **Основні характеристики:**
 - архітектура RISC, 16-біт
 - тактова частота до 16 МГц
 - 16-бітні таймери з режимами capture/compare
 - ADC10 (10-бітний аналого-цифровий перетворювач)
 - UART/SPI/I²C
- **Переваги:** низьке енергоспоживання, швидке пробудження з режиму сну, достатньо периферії для взаємодії з драйверами, дисплеєм і вимірювальними модулями.

6. Індикація і керування

- **Дисплей:** WEO012864G OLED Graphic 128x64 для виводу результатів.
- **Кнопка:** TL9100 для вводу команд.

7. Живлення

- **Джерело живлення:** акумулятор Li-Ion 7.4 В або блок живлення постійного струму;
- **Стабілізатори напруги:** AMS1117 (3.3 В, 5 В), або комутаційні джерела (для APD).

8. Драйвер MOSFET (керування лазерним імпульсом)

Для забезпечення швидкого й надійного перемикавання силового MOSFET-а, що подає імпульс живлення на лазерний діод, використовується високошвидкісний драйвер EL7104.

					<i>ПМ11.15.0000.000</i>	Арк.
						45
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- **Модель:** EL7104
- **Тип:** одноканальний драйвер затвора
- **Піковий вихідний струм:** до 4 А
- **Час наростання/спаду:** 7–15 нс
- **Призначення:** забезпечення швидкого відкривання/закривання MOSFET транзистора, мінімізація втрат і формування коротких лазерних імпульсів

Цей компонент підключається між мікроконтролером і силовим MOSFET-ом, і забезпечує точну форму імпульсу керування затвором при високій частоті перемикань.

5.2 Розробка електричної схеми

На основі структурної схеми та підібраної елементної бази виконано розробку електричної принципової схеми лазерного імпульсного далекоміра. Схеми реалізує вимірювання відстані на основі методу вимірювання часу прольоту (TOF — Time-of-Flight) за допомогою лазерного імпульсу. Схеми зображена на рисунку 5.2

					ПМ11.15.0000.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		46

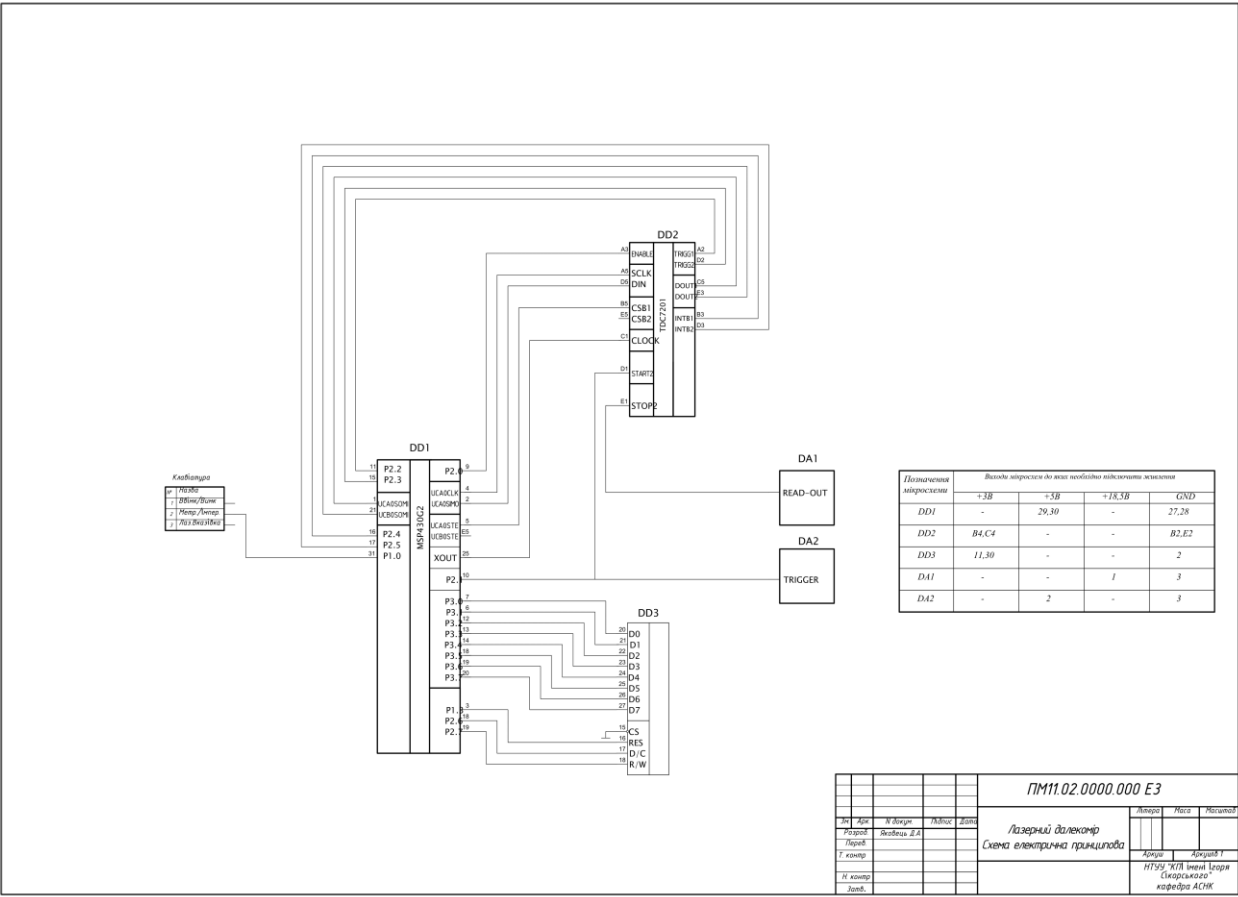


Рис. 5.2 Схема електрична принципова

Схему розбито на функціональні вузли для зручності пояснення:

1. Генерація імпульсу лазера

- **MSP430G2x53** керує подачею короткого імпульсу керування.
- Сигнал надходить на **драйвер затвору EL7104**, який формує швидкий струмовий імпульс для відкриття **силового MOSFET-а** (наприклад, IRF540).
- MOSFET комутує живлення на **лазерний діод 905 нм**, створюючи короткий лазерний імпульс (10–30 нс).

Призначення вузла: формування короткого потужного лазерного імпульсу з високою точністю за часом.

2. Приймання сигналу

- Відбитий від об'єкта сигнал збирається оптикою і потрапляє на **лавинний фотодіод (APD)**.
- Вихід APD подається на швидкодіючий **підсилювач сигналу**, який формує цифровий імпульс для фіксації моменту повернення лазерного імпульсу.

Призначення вузла: фіксація моменту повернення імпульсу з максимальною точністю.

3. Вимірювання часу прольоту

- Обидва імпульси (СТАРТ і СТОП) надходять на **плату з мікросхемою TDC7201**, яка вимірює час між ними з роздільною здатністю до **55 пс**.
- Результат вимірювання надсилається на **MSP430** через SPI.

Призначення вузла: надточне вимірювання часу між стартом і поверненням сигналу.

4. Керування, обчислення і відображення

- Мікроконтролер MSP430** виконує:
 - ініціацію вимірювання;
 - приймання даних із TDC7201;
- передавання результату на дисплей або через UART.
- Інтерфейс користувача** реалізовано через LCD-дисплей (або OLED) та кнопки.

5. Живлення

- Основні вузли живляться від джерел:
 - **3.3 В** для MSP430, TDC7201, APD (через стабілізатор AMS1117);
 - **5 В або вище** для живлення лазера та драйвера EL7104 (через комутаційний перетворювач або акумулятор);

					<i>ПМ11.15.0000.000</i>	Арк.
						48
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

– **80–100 В** для APD через окремий підвищувальний перетворювач (при потребі).

5.3 Розробка креслень

У рамках даного проєкту було створено повний комплект креслень для виготовлення, складання та монтажу лазерного імпульсного далекоміру. Розробка проводилася відповідно до вимог ЄСКД, з урахуванням функціональних і конструктивних особливостей пристрою.

1. Складальне креслення

Розроблено **загальне складальне креслення** лазерного далекоміру, яке відображає взаємне розташування всіх основних компонентів:

- друкована плата з електронними вузлами;
- блок випромінювача (лазер + драйвер);
- об'єктив з оптичною віссю;
- оправы та механічні з'єднання;
- корпус пристрою з монтажними елементами.

Креслення виконано у масштабі 1:1, нанесено позиційні позначення, центрування оптики, місця кріплення та габаритні розміри. Визначено умови складання та допуски на основні елементи.

2. Креслення деталей

У процесі проєктування створено **індивідуальні креслення наступних механічних елементів:**

					<i>ПМ11.15.0000.000</i>	Арк.
						49
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- **Три оправи**, які забезпечують:

- фіксацію об'єктива;
- встановлення лазерного діода у точному положенні;
- кріплення фотоприймача у фокусній площині приймальної оптики.

- **Об'єктив**

Креслення включає геометричні параметри лінз, посадкові розміри в оправу, оптичну вісь та положення в корпусі.

- **Блок випромінювача**

Детально показано конструкцію вузла, який включає лазерний діод, радіатор, драйвер EL7104, MOSFET і силові контакти. Передбачено елементи тепловідведення, заземлення й екранування.

3. Специфікація та таблиця елементів

До креслень додано **повну специфікацію**, яка містить:

- перелік позицій деталей;
- матеріали (наприклад: дюралюміній, оптичне скло, ПЕТ для оправ);
- способи обробки (токарна, фрезерна, 3D-друк);
- допуски, шорсткості та вимоги до точності обробки.

5.4 Висновки до розділу 5

Під час розробки креслень були враховані вимоги ергономіки, надійності та електромагнітної сумісності. Створений комплект графічної документації забезпечує можливість виготовлення, монтажу й налагодження прототипу лазерного далекоміра. Отримані креслення повністю відповідають технічному завданню та дозволяють перейти до етапу виготовлення друкованої плати й складання пристрою.

					<i>ПМ11.15.0000.000</i>	Арк.
						50
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Висновки

У ході виконання дипломної роботи на тему «**Розробка лазерного імпульсного далекоміра**» було проведено повний цикл дослідження, моделювання, вибору компонентної бази, розрахунків та конструкторської розробки пристрою, призначеного для вимірювання відстаней на основі методу вимірювання часу прольоту (Time of Flight).

У теоретичній частині було досліджено основні **принципи дії лазерних далекомірів**, розглянуто різні **методи вимірювання відстані**, зокрема імпульсний, фазовий і тріангуляційний. Проведено **аналіз похибок**, що виникають під час роботи пристроїв, а також визначено **фактори, які впливають на точність вимірювань**.

На підставі аналітичного порівняння методів було обґрунтовано доцільність застосування **імпульсного методу**, як такого, що забезпечує високу дальність вимірювання та прийнятну точність. Обрано оптимальну **елементну базу** для реалізації пристрою, включно з лазерним діодом, фотоприймачем, драйвером керування затвором, мікроконтролером MSP430 та спеціалізованим таймером TDC7201.

Проведено **розрахунок основних технічних характеристик** пристрою, зокрема визначено роздільну здатність, максимальну відстань вимірювання, точність та частоту роботи. Розрахунки підтвердили відповідність конструкції заданим вимогам.

У практичній частині було:

- Розроблено **структурну та електричну схеми** далекоміра;
- Створено **повний комплект креслень**, включаючи складальне креслення та креслення механічних елементів (оправи, блок випромінювача, об'єктив);

					<i>ПМ11.15.0000.000</i>	Арк.
						51
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- Складено специфікацію та описано особливості реалізації апаратної частини пристрою.

У результаті виконання роботи було досягнуто **головну мету** — спроектовано працездатний прототип лазерного далекоміра, що може бути використаний у практичних задачах вимірювання відстані. Результати дослідження можуть бути основою для подальшої розробки промислового або побутового приладу з розширеними функціями.

Перспективи та практичне застосування

Розроблений лазерний імпульсний далекомір має широкі перспективи практичного використання в умовах зростаючої потреби в точних, компактних і енергоефективних системах дистанційного вимірювання. Особливо актуальним є його **використання в складі розвідувально-ударних безпілотних літальних апаратів (БпЛА)** для зйомки, корекції артилерії, оцінки відстані до цілей або об'єктів на місцевості.

Компактність і мале енергоспоживання, можливість точної оцінки відстані в реальному часі роблять цей тип пристрою цінним компонентом у **військових технологіях спостереження, цілевказування та навчання систем автоматичного наведення**. Зокрема, його можна інтегрувати у гіростабілізовані платформи дронів, прицільні комплекси або як окремий модуль у складі наземних спостережних систем.

Подальші удосконалення, зокрема зменшення масогабаритних параметрів, підвищення захищеності та інтеграція з цифровими засобами обробки даних (GPS, відеоаналітика), дозволять значно розширити сфери застосування проєктованого пристрою в оборонному та цивільному секторах.

					ПМ11.15.0000.000	Арк.
						52
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Список використаних джерел

1. Лазерна дальнометрія / Л.А. Асніс, В.П. Васильєв, В. Б. Волконський та ін. М.: Радіо та зв'язок, 1995. 256 с.
2. Lee Seok-Hwan et al. Laser rangefinder and method thereof. Intern. Patent WO 2005/006016, 20.01.05, Int. CI Int. CI. G01S 17/10.
3. Карасик В.Є., Орлов В.М. Лазерні системи бачення. М.: Вид. МГТУ ім. Н.Е. Баумана, 2001. 352 с.
4. Баришніков Н.В., Бокшанская В.Б., Карасик В.Є. Приймально-передавальні пристрої лазерних локаційних зображують систем. М.: Вид. МГТУ ім. Н.Е. Баумана, 2004. 84 с.
5. Смолич С.В. 3 512 Інженерна геодезія: навч. посібник. / С.В. Смолич, А.Г. Верхотуров - Чита: ЧітГУ, 2009. - 185 с.
6. Денисюк Р. Е., Кузнецов Д. Н. Лазерний далекомір для систем машинного зору роботів / Збірник тез доповідей Другого регіонального науково-практичного семінару Теоретичні та практичні аспекти приладобудування, 18 квітня 2013, Луганськ, кафедра Прилади, СНУ ім. В. Даля. - с. 20 - 21.
7. Ратхор Т. С. Цифрові вимірювання. Методи і схемотехніка. - М.: Техносфера, 2004. - 371 с.
8. Геодезичні інструменти // Велика радянська енциклопедія: [в 30 т.] / Гол. ред. А. М. Прохоров. - 3-е вид. - М.: Радянська енциклопедія, 1969-1978.
9. Лемтюжников Д.С. Елементарний курс оптики і далекомірів, Воениздат, 1938, 136 с.
10. Поляков В. Т. Радіолюбителям про техніку прямого перетворення. - М.: Патріот, 1990. - 264 с.
11. Солодилов К.Є. Військові оптико-механічні прилади, Оборонпром, 1940, 263 с.
12. Климко Ю.Н. Основи розрахунку оптико-локаційних приладів з лазерами.

					<i>ПМ11.15.0000.000</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		53

М., 1978.

13. Ставрів А.А., Поздняков М.Г. Рефракційні параметри атмосфери і їх вплив на точності характеристики лазерних далекомірів. Мн., 2003.

14. Хінрікус Х.В. Шуми в лазерних інформаційних системах. М., 1987.

15. В.Є. Карасика «Лазерні прилади та методи вимірювання дальності». М .: 2012 вид. МГТУ ім. Н.Е. Баумана

16. Петрик, В. Ф. Метрологія, стандартизація та сертифікація в неруйнівному контролі [Електронний ресурс] / В. Ф. Петрик, А. Г. Протасов ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2015. – 266 с.

					<i>ПМ11.15.0000.000</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		54