

**ДОДАТОК А**  
Демонстраційний матеріал



Харківський національний університет радіоелектроніки  
Кафедра фізичних основ електронної техніки

**АТЕСТАЦІЙНА РОБОТА**  
**СУЧАСНА ЛАЗЕРНА ДАЛЕКОМЕТРІЯ**

Рівень вищої освіти – другий (магістерський)

Спеціальність 152 – Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка

Освітня програма – Лазерна і оптоелектронна техніка

**Розробив:**  
студент гр. ЛОЕТм-19-1  
Бутенко М.С.

**Керівник:**  
доцент кафедри ФОЕТ  
Курський Ю.С.

Харків 2020

**Мета роботи: дослідження лазерних систем  
високоточного вимірювання дистанції**

Задачі роботи:

1. Аналіз методів імпульсно-фазового лазерної далекометрії, визначення їх переваг і недоліків
2. Моделювання принципу роботи імпульсно-фазового далекоміра
3. Визначення факторів, які впливають на точність вимірювань

## Продовження додатку А

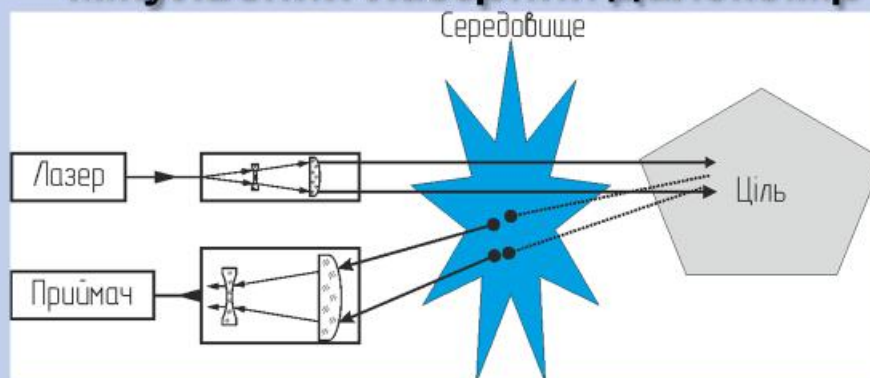
## Лазерна далекометрія

3



## Імпульсний лазерний далекомір

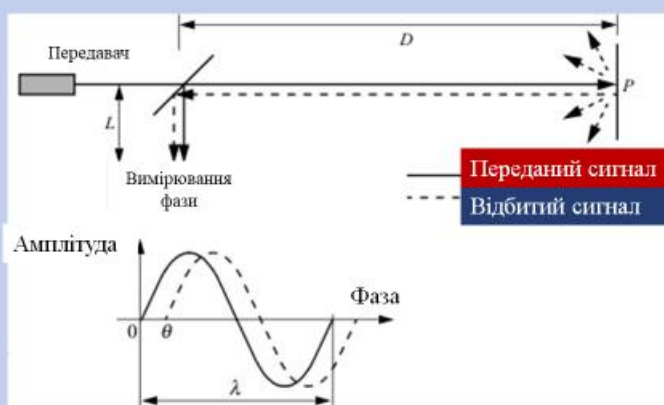
4



Сутність імпульсного методу далекометрії полягає в тому, що до об'єкту посилають зондуєчий імпульс, він же запускає часовий лічильник в далекомірі. Коли відбитий об'єктом імпульс приходить до далекоміру, то він зупиняє роботу лічильника. По часовому інтервалі (затримки відбитого імпульсу) визначається відстань до об'єкта:  $L = c\Delta t / 2n$ , де  $L$  - відстань,  $n$  - показник заломлення середовища,  $\Delta t$  - інтервал часу між моментами послілки і прийому випромінювання зондуєчого імпульсу.

## Фазовий лазерний далекомір

5



При фазовому методі далекометрії лазерне випромінювання модулюється за синусоїдальним законом за допомогою модулятора (електрооптичного кристала, що змінює свої параметри під впливом електричного сигналу). Зазвичай використовують синусоїдальний сигнал з частотою 10 ... 150 МГц (вимірвальна частота). Відбите випромінювання потрапляє в приймальну оптику і фотоприймач, де виділяється модулюючий сигнал. В залежності від дальності до об'єкта змінюється фаза відбитого сигналу щодо фази сигналу в модуляторі. Вимірюючи різницю фаз, визначають відстань до об'єкта. Відстань, яку проходить світлова хвиля за час  $t$ , дорівнює:  $L = c * t$ , де  $c$  - швидкість світла.

За той же час фаза модульованого лазерного випромінювання, що пройшов шлях від джерела далекоміра до об'єкта і назад, зміниться на величину:  $\varphi = 2\pi f_m L$ , де  $f_m$  - частота модуляції випромінювання.

Таким чином, дальність до об'єкта можна визначити як:

$$L = c * \Delta\varphi / 2\pi f_m$$

## Імпульсно-фазовий лазерний далекомір

6

Параметри існуючих імпульсно-фазових далекомірів

Тип далекоміра	Країна, фірма	Дальність дії, км	Похибка вимірювань, мм
Гранат	СССР	20	$5+2 \cdot 10^{-6} \cdot D$
СТ-5	СССР	5	$10+5 \cdot 10^{-6} \cdot D$
2СТ10	СССР	10	$5+3 \cdot 10^{-6} \cdot D$
СП2	СССР	2	$1+1 \cdot 10^{-6} \cdot D$
Геодиметр 10	Швеція, Geotronics	2,2	$5+10 \cdot 10^{-6} \cdot D$
Геодиметр 6000	Швеція, Geotronics	35	$5+1 \cdot 10^{-6} \cdot D$
Дистомат DI 1000	Швейцарія, Wild	1,6	$5+5 \cdot 10^{-6} \cdot D$
Мекометр ME 5000	Швейцарія, Wild	5	$0,1+1 \cdot 10^{-6} \cdot D$
RED mini 2	Японія, Sokkisha	1,2	$5+5 \cdot 10^{-6} \cdot D$
ND-21	Японія, Nikon	2	$5+5 \cdot 10^{-6} \cdot D$

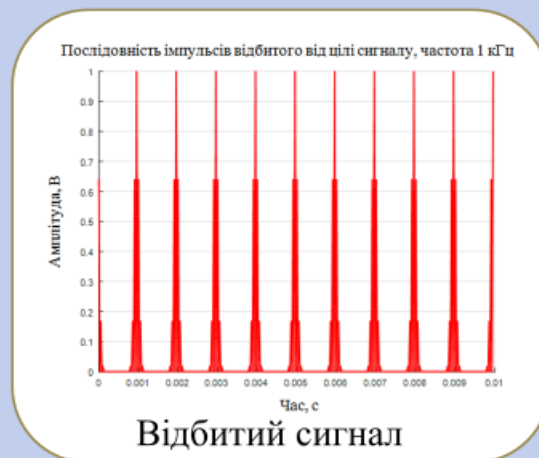
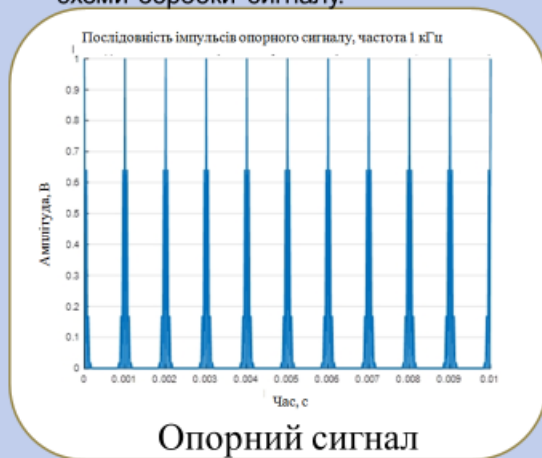
Більшість існуючих оптоелектронних далекомірів використовують два принципи вимірювання дальності - імпульсний і фазовий. При однаковій середній потужності і інших рівних умовах імпульсні далекоміри мають велику дальність дії в порівнянні з фазовими, що мають джерела безперервного випромінювання, але щодо точності імпульсні системи поступаються фазовим. У зв'язку з цим величезно перспективною виглядає система, в якій імпульсний характер випромінювання поєднувався б з фазовим методом індикації принципом обробки сигналів, що дозволяє об'єднати переваги двох методів дальнометрії. Саме імпульсно-фазові системи і об'єднують переваги імпульсних і фазових систем.

## Продовження додатку А

7

## Результати роботи

Реалізація імпульсно-фазового методу, базується на реєстрації запізнювання відбитого імпульсу через зміну значення фази опорного сигналу. В даному методі не потрібна складна модуляція імпульсу випромінювання, що робить можливим застосування імпульсних випромінювачів з простим генератором струму накачування, а також вдається уникнути застосування складної аналогової частини схеми обробки сигналу.



## Результати роботи

8

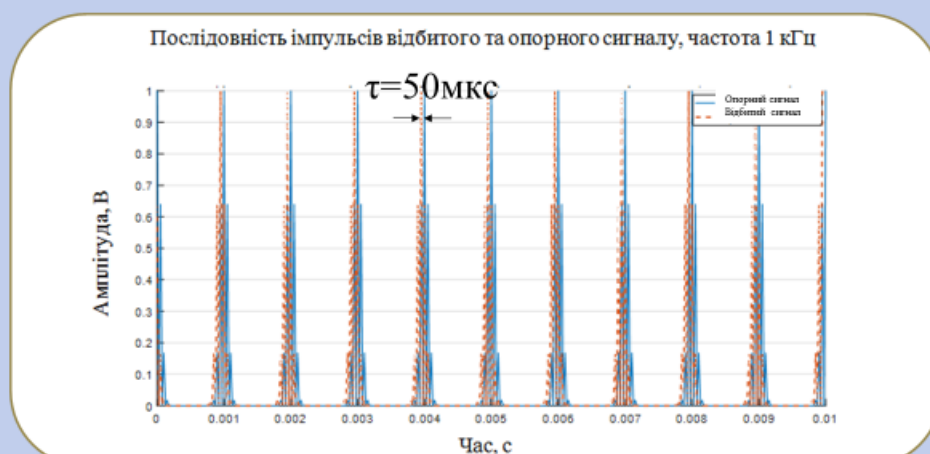
При накладенні опорного і відбитого сигналу видно, що з'явилася запізнювання відбитого сигналу щодо опорного.

Таким чином, з відомого вислову, можна визначити дальність до об'єкта:

$$D = \Delta\tau c / 2,$$

де  $D$  - це вимірювана дальність,  $c$  - швидкість світла,  $\Delta\tau$  - час запізнювання сигналу.

При отриманих параметрах запізнювання сигналу 50мкс дальність  $D = 7,5$  км.

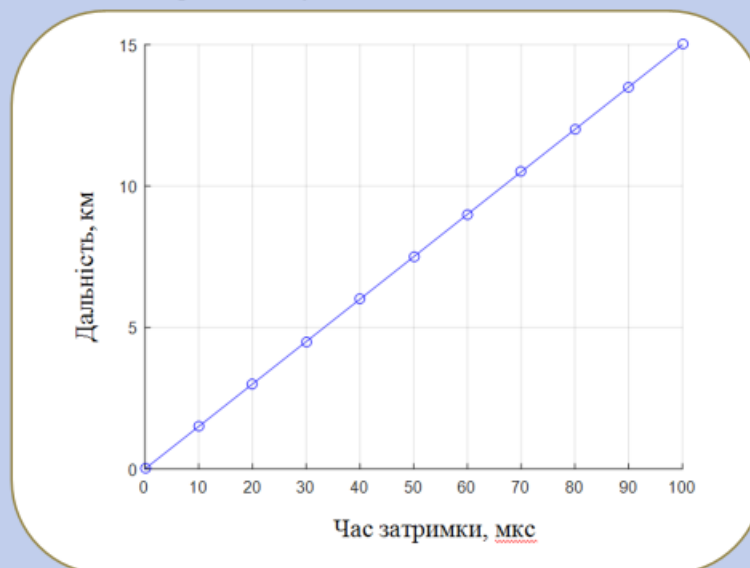


## Продовження додатку А

## Результати роботи

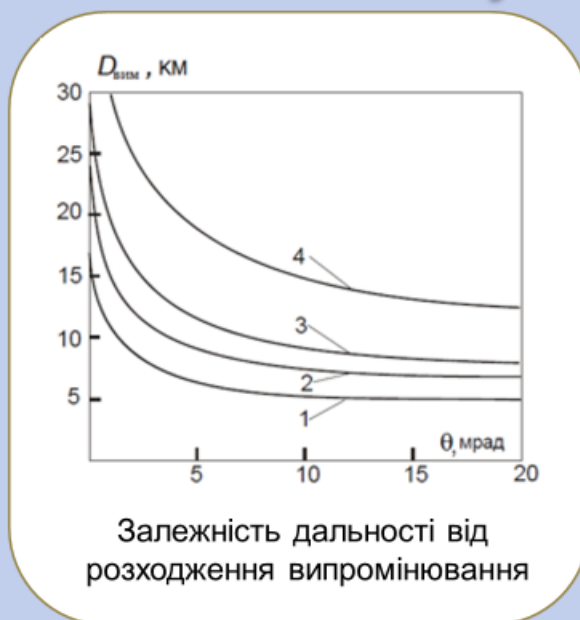
9

Залежність дальності, від затримки імпульсів, з якої видно лінійне збільшення вимірюваної дальності.

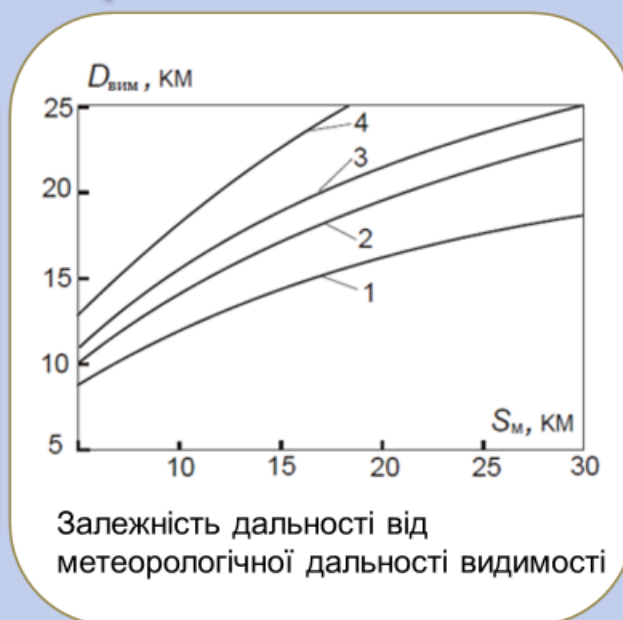


## Результати роботи

10



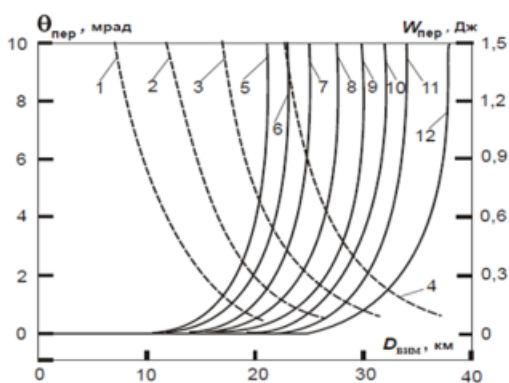
Залежність дальності від розходження випромінювання



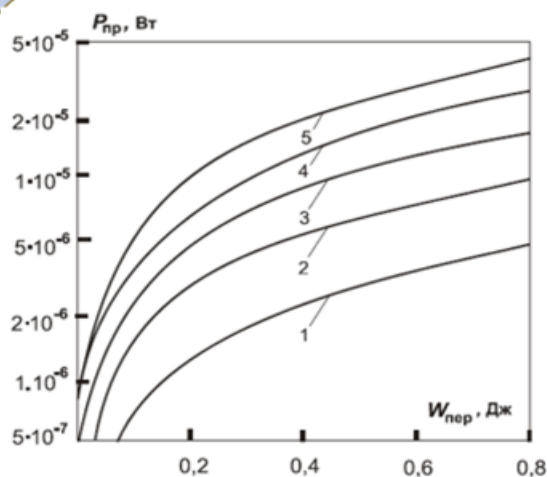
Залежність дальності від метеорологічної дальності видимості

## Результати роботи

11



Залежність дальності дії від розходження випромінювання При роботі по об'єкту, забезпеченому кутовим відбивачем



Зв'язок чутливості ФПП і енергії випромінювання передавача в залежності від діаметра входної лінзи приймача

### Новий лазерний далекомір LLDR 2H

Характеристики лазерного далекоміра LLDR 2H: межа вимірювання дальності - 20000 м; точність вимірювання дальності  $\pm 5$  м; дальність целеказівки до 10000 м; точність визначення координат цілі на дальності 20 км складає до 8 м; довжина хвилі випромінювання лазерного далекоміра 1,57 мкм. До числа недоліків даної системи американські військові фахівці відносять залежність від погодних умов, що впливають на видимість небесних тіл. Для усунення цього в LLDR 2H передбачена можливість використання цифрового магнітного компаса і записи з функцією збереження на вбудованій карті пам'яті даних про всі проведені виміри за програмними цілями (орієнтирів) і їх результати.



12

## СКАНУЮЧІ ЛАЗЕРНІ ДАЛЕКОМІРИ (LIDAR)

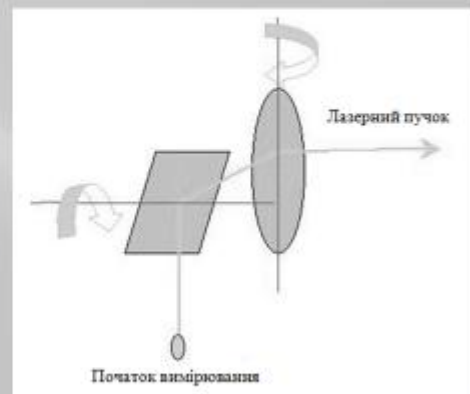
13

Тривимірне лазерне сканування є новим методом лазерних вимірювань, що використовуються для вирішення різних виробничих і інженерних задач. В основі методу лазерного сканування лежить визначення координат окремих реєстрованих точок на поверхні вимірюваного об'єкта за трьома вимірами ( $X$ ,  $Y$  і  $Z$ ), яке виконуються за допомогою високоточного швидкісного (десятки тисяч вимірів в секунду) лазерного далекоміра. Принцип сканування полягає в тому, що після вимірювання координат окремої фіксованої точки на поверхні об'єкту лазерний пучок розгортається на деякий заданий кут для того, щоб перейти на наступний вузол уявної координатної сітки, де знову проводиться визначення координат. Так триває до тих пір, поки не буде просканована вся поверхня вивчального об'єкта.

## ДВОКООРДИНАТНЕ СКАНУВАННЯ ЛАЗЕРНИМ ПУЧКОМ

14

Робота більшості лазерних сканерів заснована на використанні імпульсних лазерних далекомірів. Сканування лазерним пучком здійснюється кроковими електромоторами з закріпленими на них дзеркалами. Одне з дзеркал відхиляє промінь лазера в горизонтальному напрямку, а інше — в вертикальній площині



## Висновки

15

У даній роботі були проаналізовані та досліджені існуючі імпульсно-фазові методи дальнометрії, з виявленням їх переваг і недоліків.

Був промодельований принцип роботи імпульсно-фазового далекоміра сучасними математичними пакетами програм, а саме програмою Scilab. В результаті моделювання були отримані лазерні імпульси з частотою проходження 1кГц, як опорний сигнал, і такий же інформаційний сигнал з затримкою рівній приблизно 50 мкс, що відповідає вимірюваній відстані 7,5 км. Також була отримана залежність вимірюваної дальності від затримки інформаційного сигналу.

Виконано аналіз відстані дії далекоміра залежно від розходження випромінювання передавача та від метеорологічної дальності видимості. Основними факторами, що впливають на точність визначення дистанції є: калібрування; похибка вимірювання часу проходження; нестабільність системи; атмосферна поправка; поправка по відбивачу. Найбільший внесок до загальної похибки вимірювання дистанції мають: нестабільність системи; похибка вимірювання часу; атмосферна поправка.

