

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний автомобільно-дорожній університет
(ХНАДУ)

Механічний факультет

Кафедра метрології та безпеки життєдіяльності

ДИПЛОМНА РОБОТА

бакалавра

ВИЗНАЧЕННЯ МЕТРОЛОГІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК СИСТЕМИ ВИМІРЮВАННЯ ВІДСТАНИ ДОРОЖНІХ МАШИН

Завідувач кафедри канд. техн. наук, проф.



О.І. Богатов

Нормоконтролер канд. техн. наук



М.В. Москаленко

Керівник канд. техн. наук



І.О. Серікова

Студентка гр. ММ-41-19



В.О. Надточий

Харків - 2023

Харківський національний автомобільно-дорожній університет
Механічний факультет
Кафедра Метрології та безпеки життєдіяльності
Освітньо-кваліфікаційний рівень бакалавр
Галузь знань 15 – Автоматизація та приладобудування
Спеціальність: 152 – Метрологія та інформаційно-вимірвальна техніка

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри,
проф. Богатов О.І.

“ _____ ” _____ 2023 року

З А В Д А Н Н Я **НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА**

Надточий Вікторії Олександрівні

1. Тема роботи: ВИЗНАЧЕННЯ МЕТРОЛОГІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК СИСТЕМИ ВИМІРЮВАННЯ ВІДСТАНІ ДОРОЖНІХ МАШИН, керівник роботи Серікова Ірина Олексіївна, кандидат технічних наук, затверджена рішенням Вченої ради механічного факультету від 31.03.2023 р. наказ № 31.
2. Строк подання студенткою роботи: 1 червня 2023 р.
3. Вихідні дані до роботи: метрологічні вимоги, дослідити безконтактні методи визначення відстані до об'єкта, дослідити лазерний метод визначення відстані до об'єкта, визначити метрологічні характеристики радіохвильового методу сканування електронним променем за рахунок зсуву фаз між активними випромінювачами.
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити):
 - теоретичне обґрунтування вибраного напрямку;
 - огляд існуючих методів визначення відстані до об'єкта;
 - лазерний метод визначення відстані до об'єкта;
 - застосування компенсаційного методу вимірювання фазового зсуву;
 - охорона праці.
5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень):
не задано.

6. Консультанти розділів роботи

| Розділ | Прізвище, ініціали та посада консультанта | Підпис, дата | |
|--------|---|-----------------|------------------|
| | | завдання видав; | завдання прийняв |
| 4 | Канд. техн. наук, доц. Богатов О.І. | 03.04.2023 | 08.06.2023 |

7. Дата видачі завдання 03 квітня 2023 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

| | Назва етапів дипломної роботи | Строк виконання етапів роботи | Примітка |
|---|--|-------------------------------|----------|
| 1 | Вивчення літератури. | 3 квітня – 17 квітня 2023 р. | виконано |
| 2 | Вивчення метрологічних характеристик датчиків відстані | 18 квітня – 24 квітня 2023 р. | виконано |
| 3 | Огляд датчиків обліку витрат | 18 квітня – 24 квітня 2023 р. | виконано |
| 4 | Формулювання висновків | 24 травня – 27 травня 2023 р. | виконано |
| 5 | Оформлення пояснювальної записки. | 28 травня – 4 червня 2023 р. | виконано |
| 6 | Створення презентації на Power Point. | 5 червня – 7 червня 2023 р. | виконано |
| 7 | Подання роботи керівнику | 8 червня 2023 р. | виконано |

Студентка

Надточий Ю.О.

Керівник роботи

Серікова І.О.

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 80 стор., 15 ілюстрацій, 2 таблиці, 39 джерел та 1 додаток.

Мета роботи бакалавра: визначення метрологічних характеристик системи вимірювання відстані дорожніх машин.

Методи дослідження: теоретичний аналіз.

Об'єкт дослідження – метрологічні характеристики системи визначення відстані дорожніх машин. Предмет дослідження – безконтактні методи визначення відстані до об'єкта.

У роботі визначені метрологічні характеристики радіохвильового методу сканування електронним променем за рахунок зсуву фаз між активними випромінювачами, що дає можливість досягти заданої точності вимірювання відстані дорожніх машин.

Результати дипломної роботи бакалавра можуть бути використані як у навчальному процесі, так і у виробничій діяльності.

**МЕТРОЛОГІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ, ВИМІРЮВАННЯ ВІДСТАНІ,
БЕЗКОНТАКТНІ МЕТОДИ, ДАЛЕКОМІР, ДОРОЖНІ МАШИНИ, АКТИВНІ
ВИПРОМІНЮВАЧІ**

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

ЕПТ -електронно-променева трубка.

ППЧ – підсилювач проміжної частоти.

НЧ – низька частота.

АД – амплітудний детектор.

ПНЧ – підсилювач низької частоти.

ЧД – частотний детектор.

GPS (англ. Global Positioning System)– супутникова система навігації.

ОКЗ – оптичне коротке замикання.

ЕД – електрооптичний далекомір.

ОКГ – оптичні квантові генератори.

ІЧ – інфрачервоний.

ПЗЗ - Прилад із зарядним зв'язком.

ПЛІС – програмовані логічні інтегральні схеми.

ФПП – фотоприймальний пристрій.

ВЧІ – вимірювач часових інтервалів.

ЛВ – лазерні напівпровідникові випромінювачі.

ВП – вимірювальний пристрій.

НІХ - нескінченна імпульсна характеристика.

АЦП - аналогово-цифровий перетворювач.

ЗМІСТ

| | |
|--|----|
| Вступ..... | 7 |
| 1 Огляд метрологічних характеристик існуючих методів визначення відстані до об'єкта..... | 8 |
| 1.1 Огляд існуючих методів визначення відстані до об'єкта..... | 8 |
| 1.2 Аналіз метрологічних характеристик безконтактних методів визначення відстані до об'єкта..... | 22 |
| 1.3 Обґрунтування вибору безконтактних методів визначення відстані до об'єкта..... | 23 |
| 1.4 Висновки до розділу | 26 |
| 2 Метрологічні характеристики лазерного методу визначення відстані до об'єкта | 28 |
| 2.1 Методи вимірювання відстаней..... | 28 |
| 2.2 Імпульсний лазерний далекомір..... | 29 |
| 2.3 Метрологічні характеристики фазового лазерного далекоміру..... | 33 |
| 2.4 Приклади реалізації сучасних далекомірів..... | 49 |
| 2.5 Висновки до розділу | 52 |
| Висновки | 59 |
| Перелік використаних джерел | 61 |
| Додаток А Ілюстраційний матеріал до дипломної роботи | 67 |

ВСТУП

Вимірювання відстані завжди було актуальною задачею як з технічної точки зору, так і з питань безпеки та метрологічних характеристик. Це зумовлено необхідністю позиціонування об'єктів в дорожньому будівництві, геодезії, військовій справі, навігації і т.д. Також постійно посилюються метрологічні вимоги до точності вимірювань, дальності, темпу вимірювань, характеристикам апаратури. Зараз вже існують прилади, що вимірюють відстань більше 200 м з похибкою $\pm 1,5$ мм. Впроваджені та використовуються різноманітні далекоміри, що вимірюють дальністю понад 50 км. Існують вже прилади нового класу - скануючі далекоміри, які мають високі метрологічні характеристики та формують матрицю дальностей з подальшим синтезом комп'ютерної 3D-моделі зондуючого об'єкта[28].

Оснащення дорожніх машин та машин спеціального призначення безконтактними методами визначення відстані (БМВВ) є дуже актуальною темою з метрологічної точки зору. Оснащення дорожніх машин безконтактними методами вимірювання відстані надає істотне розширення їх метрологічних, функціональних та технологічних можливостей. Недоліком багатьох приладів є невисокі метрологічні характеристики, наприклад, просторова роздільність як слідство широкої діаграми спрямованості випромінювачів. Однак, цього недоліку позбавлені лазерні далекоміри. В якості випромінювача в них використовують лазер, що забезпечує вузьку граничну діаграму спрямованості та високу точність вимірювання дистанції до об'єкта. В даній роботі будуть розглянуті такі питання як огляд метрологічних характеристик існуючих методів вимірювання відстані до об'єкта, обґрунтування вибору безконтактних методів, розглянемо лазерний метод визначення відстані до об'єкта, визначимо метрологічні характеристики радіохвильового методу сканування електронним променем за рахунок зсуву фаз між активними випромінювачами.

1 ОГЛЯД МЕТРОЛОГІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ІСНУЮЧИХ МЕТОДІВ ВИЗНАЧЕННЯ ВІДСТАНІ ДО ОБ'ЄКТА

1.1 Огляд існуючих методів визначення відстані до об'єкта

Існуючі методи вимірювання параметрів об'єктів за метрологічними характеристиками можна розділити на дві групи методів: контактні та безконтактні.

Контактний заснований на тому, що чутливий елемент приладу вимірювання приводиться в контакт з тим об'єктом, що вимірюється.

Контактні методи прості в реалізації, мають точне положення на досліджуваному об'єкті. Невелика вартість і прийнятна точність широко розповсюдили їх у промисловості, проте необхідність установки контактного датчика безпосередньо на динамічному об'єкті різко знижує їх метрологічні характеристики та область застосування.

Датчик відстані - це пристрій, який використовується для вимірювання довжини, висоти і ширини об'єкта. Для зручності датчик вбудовують в корпус, програмують його і надають компактний вид. Таким чином створюється далекомір, який широко використовується в багатьох сферах. До основних недоліків контактних датчиків можна віднести: схильність датчиків і ліній зв'язку шкідливим, з точки зору надійності, механічних і температурних впливів, що призводить до частих і дорогих збоїв та відмов у системах контролю стану обладнання [2].

Існує багато ситуацій, в яких необхідно виміряти таку метрологічну характеристику, як вібрація об'єкта, не маючи фізичного контакту з ним, або такий контакт просто неможливий.

Безконтактний метод заснований на тому, що чутливий елемент приладу не наводиться в контакт з об'єктом вимірювання.

В багатьох випадках ефективніше використовувати безконтактний спосіб вимірювання, тому що він гарантує, що не буде пошкоджень

вимірюваного об'єкта, які можливо з'являться в результаті контакту з чутливим елементом приладу контролю при контактному методі вимірювань.

Перевагою безконтактних методів є відсутність механічного впливу на об'єкт, що досліджується, та мала інерційність. Це дозволяє уникнути основних недоліків, властивих контактним методам. Зокрема, це можливість отримання необхідної інформації на малих і великих відстанях, в будь-яких режимах роботи, в умовах низьких і високих температур, тисків, від герметичних об'єктів, від елементів які знаходяться в агресивних і вибухонебезпечних середовищах, в замкнутих приміщеннях.

Метод вимірювань визначається пристроєм для вимірювань. Щоб виміряти відстань зазвичай використовують далекомір. Під далекоміром розуміють пристрій, що призначений для вимірювання відстані від спостерігача до об'єкта. Такі пристрої застосовуються в геодезії, робототехніці, військовій справі, будівництві та інших сферах [28, 29].

За принципом дії далекоміри діляться на два типи - активні і пасивні. До групи активних далекомірів відносяться: світлові далекоміри; звукові далекоміри; лазерні і далекоміри інших конструкцій.

Далекоміри, що використовують зіставлення об'єкта зі зразком; далекоміри, що використовують оптичний паралакс та далекоміри інших конструкцій відносяться до пасивних далекомірів.

Далекоміри активного типу використовують принцип вимірювання часу, що витрачає посланий сигнал для проходження відстані до об'єкту та назад. Швидкість світла або звуку, тобто швидкість поширення сигналу вважається відомою.

Принцип дії далекомірів пасивного типу заснований на визначенні висоти h трикутника рівнобедреного ABC , наприклад по стороні $AB = l$ (базі), що відома, та протилежного кута гострого β . Одна з цих величин, l або β , є постійною, а вимірювана - змінною. Таким чином розрізняються далекоміри з постійною базою та далекоміри з постійним кутом [21].

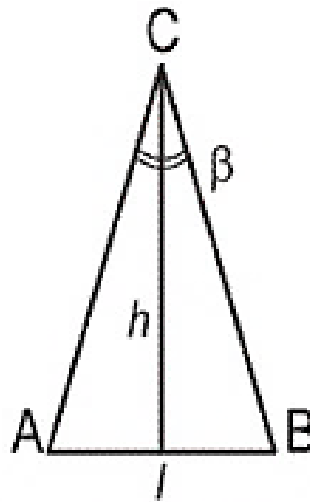


Рисунок 1.1 – Ілюстрація принципу дії далекоміра

1.1.1 Радіодалекомір

Радіодалекомір складається з двох станцій: провідної (на якій виконуються вимірювання) і відомої (активного відбивача), установлених на кінцевих точках вимірюваної лінії. Станції часто робляться взаємозамінними, тобто кожна з них може працювати як в режимі провідної, так і в режимі відомої. Між станціями радіодалекоміра передбачається двосторонній радіозв'язок. Сучасні радіодалекоміри працюють, як правило, в 3-сантиметровому діапазоні радіохвиль. В якості генераторів несучої частоти використовуються клістронні генератори або напівпровідникові генератори на діоді Ганна. Антени для зазначеного діапазону рупорного або параболічного типу. В останньому випадку вони складаються з рупорного випромінювача і параболічного дзеркала [22].

Геодезичні радіодалекоміри побудовані по некогерентній (гетеродинній) схемі. Провідна і відома станції мають різні несучі частоти, модульовані різними масштабними частотами, і фазові вимірювання виконуються на низькій частоті, що дорівнює різниці масштабних частот станцій і утворюється в результаті гетеродинірування несучих частот з подальшим детектуванням. Різниця фаз низькочастотних сигналів, утворених

на провідній і відомій станціях, пропорційна відстані між станціями. Для вимірювання цієї різниці фаз низькочастотний сигнал передається з відомої станції на провідну шляхом додаткової модуляції цим сигналом генератора несучої частоти провідної станції. Для вимірювання різниці фаз в першому поколінні радіодалекомірів, які працювали на довжині хвилі несучої 10 см, використовувався фазометр на електронно-променевій трубці (ЕПТ). Надалі прямий метод вимірювання різниці фаз за допомогою ЕПТ був замінений компенсаційним методом з використанням фазового детектора зі стрілочним нуль індикатором і фазообертачем [4].

В останніх моделях радіодалекомірів використовується цифровий метод вимірювання різниці фаз з індикацією результату на електронному табло. Дозвіл неоднозначності в радіодалекомірах здійснюється введенням набору фіксованих частот модуляції. Відповідним вибором сітки масштабних частот реалізується по розрядному способу, що дозволяє отримувати результат вимірювання безпосередньо в одиницях відстані. Радіодалекомірним вимірам властива додаткова специфічна помилка, обумовлена впливом відбиттям радіохвиль від підстильної поверхні. Крім того, в радіодіапазоні набагато сильніше вплив вологості на показник заломлення повітря, ніж в оптичному діапазоні. Нижче наводяться більш докладні відомості про вітчизняні та деякі зарубіжні прилади [34, 35].

Радіодалекоміри РДГВ і "Луч": Радіодалекомір РДГВ прилад першого покоління зі взаємозамінними станціями, що працює в діапазоні 10 см і має фазометр на ЕПТ. Відліковим пристроєм служить нанесена на екран трубки кругова шкала. Зображення на екрані провідної станції являє собою окружність яка світиться (кругову розгортку) з розривом, що створює відлікову мітку. Відлік за шкалою виражається в одиницях часу поширення. На частоті А вся шкала трубки (100 поділок) відповідає часу 100 нс. Для відповідних різниць частот масштаб шкали послідовно збільшується в 10 разів (1000 нс, 10000 нс, 100000 нс). Частота Л + менше, а частота А" більше частоти А провідної станції на 1 кГц. Решта частоти відомої станції менше відповідних

частот провідної станції на 1 кГц. Фазові вимірювання на провідній станції виробляються на різницевій частоті 1 кГц. Наявність симетричних частот $A + i$ та $A - i$ дозволяє виключити помилки за фазові затримки в колах станцій. Фаза низькочастотного сигналу на відомій станції може вручну перемикатися на 180° , що дозволяє виключити помилку за ексцентриситет шкали і розгортки.

Програма вимірювань передбачає "грубі" і "точні" вимірювання. "Грубі" вимірювання - це вимірювання на всіх масштабних частотах, що дозволяють отримати повне значення часу поширення радіохвиль на подвійній дистанції в межах сотні тисяч наносекунд. "Точні" вимірювання - це багаторазові вимірювання на основній частоті A (виконувані з перебудовою несучих частот станцій для зменшення помилки через відбиття від підстильної поверхні), уточнюючі молодший розряд в часі поширення (одиниці наносекунд і їх частки). Множенням вимірюваного часу поширення на половину робочої швидкості радіохвиль отримують відстань в межах 15 км. Довжина хвилі несучої 3 см[41].

Приймач з антенною системою конструктивно відокремлений від індикаторного блоку (на кожній зі станцій, які є взаємозамінними). Він встановлюється на переносній щоглі і з'єднується з індикаторним блоком кабелем довжиною 25 м. Орієнтування приймача і перебудова несучої частоти здійснюється дистанційно з пульта індикаторного блоку. Це дозволяє виконувати лінійні вимірювання без побудови геодезичних знаків. Замість фазометра на ЕПТ застосований більш точний компенсаційний фазометр; вихідним індикатором служить стрілочний прилад, а відліки знімаються за шкалою фазообертача. Передача низькочастотного сигналу з відомою станції на провідну здійснюється не імпульсною модуляцією, як в РДГВ, а гармонійною модуляцією з використанням несучої; що створює на провідній станції два синусоїдальних сигнали, необхідних для фазових вимірювань компенсаційним методом. На станції, що працює в режимі відомої, введена система автопідстроювання частоти, що несе. Відліковий пристрій фазообертача дозволяє при роботі на частоті A відразу зчитувати величину (Л

+ A ~) замість обчислення її в журналі. Масштабні частоти далекоміра "Луч" аналогічні частотам РДГВ і вимірюваною величиною є також час поширення, помножене потім на половину робочої швидкості радіохвиль [8, 10, 12].

Радіодалекоміри "Хвиля" та "Трап": Розроблений після радіодалекоміра РДГВ і "Луч". Радіодалекомір "Хвиля" відрізняється значно більшою портативністю, економічністю й більш сучасним технічним рішенням схеми. Фазометр проградуєований в одиницях відстані, генератор несучої частоти виконаний на діоді Ганна, спрощена методика роботи виключенням перебудови несучої частоти в процесі вимірювання. Станції взаємозамінні. Різниця несучих частот провідної і відомої станцій (проміжна частота) становить 33 МГц. На кожній станції несуча модулюється коливаннями кварцового генератора масштабної частоти, що лежить в діапазоні від 12 МГц до 15 МГц. Масштабні частоти провідної і відомої станцій відрізняються на 1,5 кГц. На кожній станції приймаються модульовані коливання від обох станцій і надходять на діод-змішувача. Підсилювач проміжної частоти ППЧ виділяє і підсилює коливання проміжної частоти 33 МГц, які виявляються промодельовані по амплітуді коливанням низької частоти 1,5 кГц. НЧ коливання виділяються після детектування в амплітудних детекторах АД. На відомій станції НЧ сигнал проходить через підсилювач низької частоти ПНЧ і дільний частоти на 2, в результаті чого утворюється сигнал частоти 750 Гц. Цим сигналом модулюються по частоті коливання генератора частоти, що піднесе 120 кГц, після чого модульована несуча подається на СВЧ генератор і додатково модулює випромінювання коливання по частоті. В результаті цього коливання проміжної частоти 33 МГц на виході ППЧ провідної станції мають не тільки амплітудну, але і подвійну частотну модуляцію, яка детектується застосуванням двох послідовних частотних детекторів ЧД. На виході 1-го ЧД виділяється сигнал частоти, що піднесе, модульований низькою частотою 750 Гц. Цей сигнал після посилення детектується у 2-му ЧД, на виході якого утворюється сигнал частоти 750 Гц. З виходу амплітудного детектора АД знімається сигнал частоти 1,5 кГц, який після посилення і розподілу частоти

на 2 перетворюється також в сигнал частоти 750 Гц. Різниця фаз сигналів частоти 750 Гц, отриманих в каналах амплітудного і частотного детектування провідною станцією, залежить від відстані між станціями [5].

1.1.1.1 Літакові радіодалекоміри

На повітряних судах використовуються імпульсні радіодалекоміри, що працюють (за принципом активної радіолокації) спільно з радіомаяками різних далекомірних і кутомірно-віддалемірних радіонавігаційних систем (DME, TACAN, РСБН і ін.). У сигналах використовуються кодовані посилки радіоімпульсів з несучими частотами у відповідному дециметровому діапазоні радіохвиль. В даний час радіодалекоміри стоять практично на всіх типах літальних апаратів (крім деяких легкомоторних) [4,7].

Приклади: СД-75М (РСБН), ВНД-94 (DME / TACAN), СД-67А (DME / TACAN)

1.1.1.2 Геодезичні радіодалекоміри

Для геодезичних цілей застосовуються зазвичай фазові радіодалекоміри, що працюють, як правило, в сантиметровому діапазоні радіохвиль, з активним відбивачем, в якості якого може використовуватися прилад, аналогічний приладу, що вимірює і відображає.

В даний час вітчизняна та зарубіжна промисловість фактично не випускає радіодалекоміри, основна увага в практиці геодезичних і кадастрових робіт приділяється впровадженню приймальної апаратури радіонавігаційних супутникових систем (GPS) навігаційного і геодезичного типу [10, 11]. Приклади: РДГВ, Луч, Трап, Теллуrometer MRA 7, Теллуrometer CMW20.

1.1.1.3 Зенітні і прицільні радіодалекоміри

У зенітних радіошукачах і радіолокаційних прицілах використовуються радіодалекоміри імпульсного типу з спрямованою антеною, що працюють з пасивно відбиваючою метою, фактично, такі радіодалекоміри представляють собою спеціалізовані радіолокатори [8, 11, 13].

Приклади далекомірів радіоприцілів: Алмаз, ПРС-4КМ, Смарагд, Смарагд-2, СРД-3

1.1.2 Лазерні далекоміри

Лазерний далекомір – пристрій для вимірювання відстаней із використанням лазерного випромінювання.

Сучасні лазерні далекоміри в більшості випадків компактні і дозволяють в найкоротші терміни і з великою точністю визначити відстані до об'єктів.

Лазерний далекомір - це прилад, що складається з детектора випромінювання і імпульсного лазера. Реєструючи час розповсюдження проміню на шлях до відбивача і назад і знаючи швидкість світла, можна розрахувати відстань між лазером і об'єктом [3, 4, 5].

При імпульсному методі вірно наступне співвідношення

$$L = \frac{ct}{2n}, \quad (1.1)$$

де L - відстань до об'єкта,

c - швидкість світла у вакуумі,

n - показник заломлення середовища, в якій поширюється випромінювання,

t - час проходження імпульсу до цілі і назад [32]. Параметри формул розписуються так!

Завдання визначення відстані між далекоміром і об'єктом зводиться до вимірювання відповідного інтервалу часу між зондуючим сигналом та сигналом, відбитим від мети. Призначення окремих блоків зрозуміло з розгляду рисунка[4].

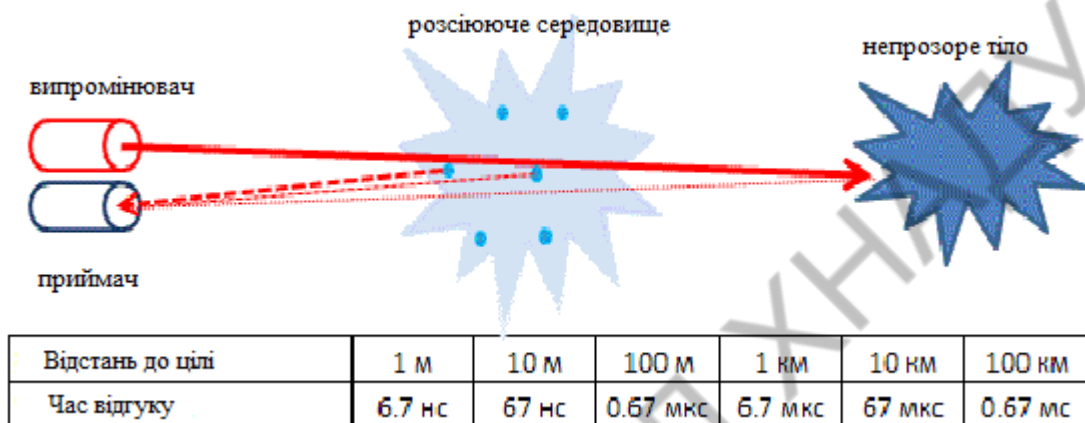


Рисунок 1.2 - Принцип роботи лазерного далекоміра

Сутність імпульсного методу полягає в тому, що до об'єкта надсилається зондуючий імпульс, він же запускає тимчасовий лічильник в далекомірові. Якщо відомо, що точність вимірювання інтервалу часу між зондуючим і відбитим сигналами відповідає 10^{-9} с. Оскільки можна вважати, що швидкість світла дорівнює $3 \cdot 10^{10}$ см/с, отримаємо похибку у зміні відстані коло 30 см.

За принципом дії далекоміра поділяються на дві основні групи. Перша - це геометричні далекоміри, де вимірювання відстаней засноване на визначенні висоти рівнобедреного трикутника ABC (рисунок 1.1) наприклад по відомій стороні $AB = l$ (базі) і протилежного гострого кута. Одна з величин є постійною, а друга - змінною (вимірюваною).

Вимірюється далекоміром відстань до бази пропорційно числу поділок рейки, що видно в зорову трубу між нитками. За таким принципом працюють

багато геодезичних інструментів (теодоліти, нівеліри і ін.). Відносна похибка нитяного далекоміра – до 1 % [13].

Другу групу складають фізичні далекоміри. Принцип дії далекоміра фізичного типу полягає у вимірюванні часу, що витрачає посланий сигнал для проходження відстані до об'єкту і назад [14].

При імпульсному методі зондуєчий імпульс надсилається до об'єкта, що запускає часовий лічильник в далекомірові. Коли відбитий об'єктом імпульс повертається до далекоміра, то він зупиняє роботу лічильника. За часового інтервалу (затримки відбитого імпульсу), потім відстань до об'єкта визначається за допомогою вбудованого мікропроцесора

$$L = \frac{ct}{2}, \quad (1.2)$$

де: L - відстань до об'єкта, t - час проходження імпульсу до цілі і назад, c - швидкість поширення випромінювання,

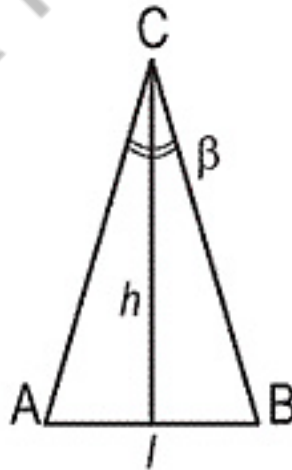


Рисунок 1.3 - Далекомір геометричного типу, де h -вимірювана відстань, АВ-база

1.1.3 Світлові далекоміри

Світлодалекомір складається з приймача і пасивного відбивача, установлених у кінцевих точках вимірюваної лінії. Відбивач може бути призменним або дзеркально-лінзовим. Найчастіше використовується призменний відбивач, що складається з різного числа кутових призм (трипельпризм), змонтованих в загальному корпусі [30, 33].

Приймач фазового світлодалекоміра складається в загальному випадку з наступних елементів: джерела випромінювання, модулятора випромінювання, генератора моделюючої (масштабної) частоти, передавальної і приймальної оптичних систем і приймально-фазометричної частини, що включає в себе приймач випромінювання, аналоговий або цифровий фазометр і кінцевий індикаторний пристрій. Як джерело випромінювання використовуються, за рідкісним винятком, або газовий лазер на суміші гелій неон (HeNe), що випромінює в червоній області спектра (довжина хвилі випромінювання $\lambda = 0,63$ мкм), або світлодіод на арсеніді галію (GaAs), випромінює в ІЧ області ($\lambda = 0,9$ мкм) [32].

У далекомірах з лазерами як модулятора застосовується осередок Поккельса на кристалі типу KDP або осередок Керра з нітробензолом. У далекомірах зі світлодіодами використовується внутрішня модуляція випромінювання. Приймачем випромінювання зазвичай служить або фотоелектронний помножувач (ФЕП), або, рідше, фотодіод.

За типом схеми світлодалекоміри поділяються на дві групи:

- 1) світлодалекоміри, в яких фазове порівняння опорного і відбитого сигналів відбувається на високій частоті модуляції світла;
- 2) гетеродинні світлодалекоміри, в яких фазове порівняння переноситься на низьку частоту, утворену в результаті змішування частоти модуляції і частоти допоміжного генератора в опорному і сигнальному каналах.

Неоднозначність в сучасних приладах дозволяється, в переважній більшості випадків, введенням набору декількох фіксованих частот модуляції світла. Для виключення в процесі вимірювань впливу нестабільності постійної поправки приладу передбачається лінія оптичного короткого замикання (ОКЗ).

Фазові вимірювання проводяться або аналоговим (компенсаційним), або цифровим методом. В останньому випадку вимірювання можуть бути автоматизовані аж до видачі результату на електронне цифрове табло і на зовнішній накопичувач даних (перфоленту, магнітний носій тощо). У новітніх приладах завдання управління, обчислення і контролю вирішуються за допомогою мікропроцесорів або мікро-ЕОМ. Вони призначаються для вимірювання сторін в державних геодезичних мережах, а також базисів космічної тріангуляції і тріангуляції вищих класів [14].

Світлодалекоміри малої дальності дії, за допомогою яких можна вимірювати відстані до декількох кілометрів (до 3) з помилкою 2 см. Вони призначаються для вимірювання відстаней в геодезичних мережах згущення і для виконання топографічних зйомок. В окремих випадках дальність дії приладів цієї групи може перевищувати вказану межу, досягаючи 15 км. Світлодалекоміри підвищеної і найвищої точності для коротких відстаней, за допомогою яких можна вимірювати відстані у середньому 2 км з помилкою 2 мм і менше [15].

Вони призначені для високоточного вимірювання відстаней при вирішенні різних завдань прикладної геодезії, в маркшейдерських роботах і вимірах спеціального призначення. Відповідно до ГОСТ 19223 82 зазначеним групам світлодалекомірів додані відповідні літерні індекси: Г (геодезичні), Т (топографічні), П (застосовувані в прикладній геодезії). Ці букви додаються до букви С, що означає слово "світлодалекомір", після чого вказуються цифри, що означають дальність дії приладу. Наприклад, СТ-3 означає: світлодалекомір топографічний з дальністю дії 3 км [14].

Світлодалекоміри другої групи (топографічні) часто виконуються у вигляді сумісних приладів. Це означає, що вони можуть використовуватися не тільки як автономні світлодалекоміри, але і як далекомірні насадки на теодоліт, надаючи, отриманої комбінації приладів, функції електронного тахеометра. В цьому випадку до буквено-цифрового позначення додається буква Н (насадка). Маркшейдерське виконання приладу позначається додаткової буквою М. Окрему категорію приладів складають електронні тахеометри нероз'ємної конструкції.

Геодезичні світлодалекоміри. Світлодалекомір "Гранат": Лазерний далекомір "Гранат", розроблений, модернізований варіант більш раннього далекоміра "Кварц". Відрізняється від "Кварца" меншими габаритами і масою, меншою споживаною потужністю внаслідок застосування транзисторів замість ламп. Дещо менший діаметр оптики знизив дальність дії до 20 км замість 30 (у далекоміра "Кварц" в денний час).

Випромінювання від лазера направляєтся в модулятор (конденсатор Керра і поляроїд-аналізатор) і за допомогою оптичної системи надсилається на віддалений відбивач. Приймальна оптична система збирає частину відбитого потоку і фокусує його на катоді фото помножувача. Перед ФЕУ встановлений сірий клин (ослаблювач світлового потоку) СК і вузькосмуговий інтерференційний оптичний фільтр ІФ.

Передбачена можливість візуального спостереження світла через окуляр ОК. У приладі є лінія оптичного короткого замикання (ОКЗ), в яку можна направити світло за допомогою перемикача. Електронна частина далекоміра виконана за гетеродинною схемою з перетворенням частоти в ФЕУ. Модулююча частота f_m від генератора подається на модулятор світла і одночасно на змішувач, де змішується з частотою f_r від гетеродина, утворюючи опорний сигнал низької різницевої частоти $D = 5$ кГц, що виділяється резонансним підсилювачем і подається на один вхід фазового детектора [17].

На другий вхід фазового детектора подається сигнал тієї ж різносної частоти f_a , утвореної змішанням частот f_m і f_r в ФЕУ (частота f_r подається на зовнішній електрод фото помножувача, що приймає світло, модульований частотою f_m) і виділяється другим резонансним підсилювачем. Стрілочний нуль-індикатор на виході фазового детектора показує нуль, коли різниця фаз в опорному і сигнальному каналах приведена до 90° або 270° . Це приведення здійснюється фазообертачем, за шкалою якого знімається відлік.

Далекомір має чотири частоти модуляції, обраних так, щоб реалізувати спосіб визначення повної відстані. Значення першої частоти таке, що вся шкала фазообертача відповідає 5 м при стандартних умовах (температурі 0°C і тиску 760 тор в сухому повітрі). Тому вимірювання на всіх чотирьох частотах дозволяють однозначно отримати відстань в межах 5 км; число повних 5 км відрізків визначають по наближеному значенню відстані, яке треба знати з помилкою не більше $\pm 2,5$ км. Ці відліки дозволяють отримати послідовні десяткові розряди в подвоєному значенні відстані [16].

Ділячи результат на 2, отримують повну вимірювану відстань (в межах, 5 км), яка виявляється з точністю до 1 см ("грубі" вимірювання). Уточнення останнього розряду (до 1 мм) виконують двома прийомами вимірювань на одній першій частоті ("точні" вимірювання). Один прийом точних вимірювань включає в себе відліки при роботі на відбивач і на ОКЗ при кожному з чотирьох положень перемикача фази, що зрушує фазу опорного сигналу стрибками на 90° для ослаблення циклічної помилки фазообертача [18].

1.1.4 Електрооптичний далекомір

Прилад для вимірювання відстаней та за часом проходження цієї відстані електромагнітними хвилями інфрачервоного або оптичного діапазонів називається електрооптичним далекоміром. Вони поділяються на фазові та імпульсні. Найбільшого поширення набули фазові електродвигуни.

Промодельований світло-лінзовою або дзеркально-лінзовою оптичною системою формується в вузько-спрямований пучок, що посиляється на відбивач. Відбите світло фокусується на демодуляторі оптичною системою.

1.2 Аналіз існуючих безконтактних методів визначення відстані до об'єкта

Активне безконтактне вимірювання відстані може бути реалізовано акустичними методами, надзвуковим випромінюванням, електромагнітними хвилями радіо частоти або оптично світловим випромінюванням. У всіх методах сигнал посиляється до мети, і відстань обчислюється, ґрунтуючись на параметрах відбитого сигналу [1, 2].

Далекоміри, що використовують звукові хвилі працюють в надзвуковому діапазоні частот (від 20 кГц до декількох МГц). Перевагами надзвукових методів є відносно низькі частоти, які легко обробляти електронікою, проста і дешева структура пристрою, а також можливість вимірювати відстань до металевих, дзеркальних і скляних поверхонь, які представляють труднощі для оптичних далекомірів. Основним недоліком є велике відхилення променя (ширина сягає десятків градусів), невелика швидкість, множинні відображення і сильне загасання на великих відстанях. Ультразвукові методи знаходять найбільше застосування на коротких відстанях (що не перевищують 100 м) і в випадках, коли в повітрі велика кількість пилу або інших частинок [20].

Електромагнітні хвилі використовуються з 1930-х років в традиційних радарах. Радари використовують частоти від десятків МГц до 100 ГГц. Дозвіл при вимірюванні кутів і відстаней зазвичай гірше, ніж в оптичних методах. Для вимірювання великих відстаней потрібна велика потужність випромінюваного імпульсу, що ускладнює їх використання в переносних пристроях з автономним джерелом живлення [21].

Оптичні методи вимірювання відстані можуть бути розділені декількома способами, одним з яких є класифікація на активні і пасивні методи. Пасивні методи не вимагають власного джерела світла, а використовують навколишній світ для збору інформації про відстань до мети. Активні методи мають джерело випромінювання для підсвічування мети. Найважливішими активними методами є інтерференційні методи, геометричні методи (тріангуляція) і вимір прогонового часу. Інша класифікація розділяє методи на прямі, що вимірюють відстань до якоїсь точки цілі та методи, що обчислюють відстань до цілі за певним алгоритмом, що враховує тіні і відносне положення окремих частин об'єкта [22].

1.3 Обґрунтування вибору безконтактних методів визначення відстані до об'єкта

Основними даними, які потрібні для складання локальної карти є відстань до об'єкта і напрямок, по якому він розташований. Розглянемо основні безконтактні методи вимірювання відстані [23].

Пристрої та методи, які здійснюють безконтактні методи вимірювання можна розділити на три групи:

1.3.1 Лазерний метод

За допомогою лазерів відстань можна виміряти двома способами. Перший спосіб - це вимірювання часу, за яке світловий промінь досягне об'єкта та повернеться назад. Такий метод застосовують в тих випадках, коли об'єкт розташовується на великій відстані, тому що швидкість світла велика та складно виміряти час та відстань. Для того, щоб виміряти відстані до 1 м необхідна точність вимірювання часу приблизно до десятків наносекунд [15].

Другий метод вимірювання - це фазовий. В ньому лазер працює майже в безперервному режимі, однак його випромінювання необхідно амплітудно модулювати сигналом частоти, меншою 500 МГц.

Фаза сигналу, що відбитий від об'єкта порівнюємо з фазою опорного сигналу, потім фіксуємо зсув фаз, та розраховуємо відстань по формулі

$$D = \frac{c}{2f} \cdot \frac{\varphi}{2\pi} \quad (1.3)$$

де: D - відстань в метрах, c - швидкість світла, f - частота модуляції лазера, φ - фазовий зсув.

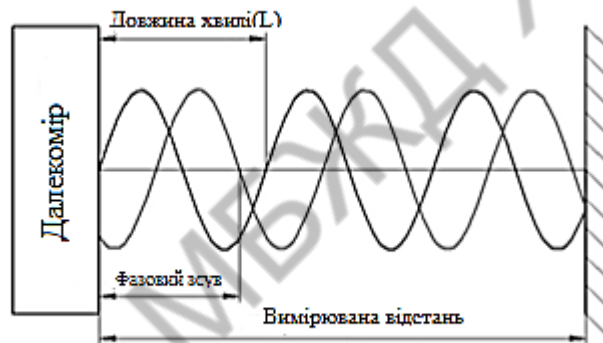


Рисунок 1.4 - Діаграми випромінюваного і прийнятого сигналів при фазовому методі

Вимірювана відстань менше за половину довжини хвилі сигналу, що розраховується за наступною формулою

$$\lambda = c/2f. \quad (1.4)$$

При фазовому способі точність вимірювання відстані доходить до 0,5 мм [14]. Найбільш важливий процес - це вимір різниці фаз сигналів, яка і визначає точність вимірювання відстані. Існують різні способи вимірювання різниці фаз, як аналогові, так і цифрові. Аналогові значно простіше, а цифрові

дають більшу точність. При цьому цифровими методами виміряти різницю фаз високочастотних сигналів складніше - тимчасова затримка між сигналами вимірюється наносекундами (ця затримка виникає також, як і в імпульсному далекомірові) [17].

Також вимірювання відстані лазерами може перешкодити яскраве світло, в тому числі і сонячний.

1.3.2 Інфрачервоний метод

Даний спосіб вимірювання відстані заснований на триангуляції.

Світловий імпульс ІЧ діапазону (довжина хвилі 850 нм) випромінюється і відбивається назад від перешкоди. Відстань до об'єкта визначається за кутом повернутого сигналу.

Датчик має спеціальний інфрачервоний об'єктив, який приймає відбитий промінь на ПЗС-матрицю. На основі даних цієї матриці, визначається кут відображення повернутого променя, який використовується для подальшого розрахунку дальності.

Оскільки в основі роботи пристрою використовується світло, сенсор погано підходить для визначення відстані до світлопоглинаючих об'єктів.

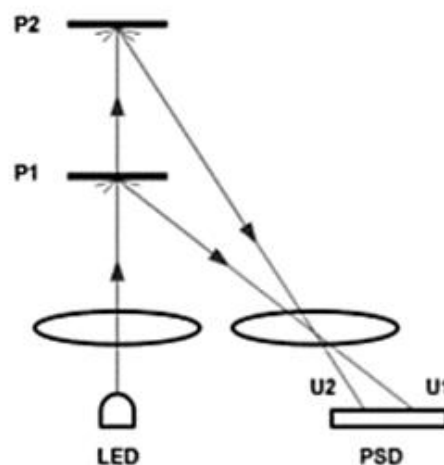


Рисунок 1.5 - Шлях світлового променя інфрачервоного вимірювача

Інфрачервоні далекоміри мають перед собою «мертву зону» величиною 20 см [23].

1.3.3 Ультразвуковий метод

Ультразвукові далекоміри діють за принципом ехолота: пристрій посилає звукові хвилі, вловлює їх відображення від об'єкта і фіксує час повернення, за допомогою якого потім, знаючи швидкість проходження звукової хвилі через середовище, можна обчислити відстань [24].

Метод має деякі недоліки: об'єкт повинен бути достатньо великим, щоб пучок звукових хвиль відбився від нього, деякі матеріали мають властивість послаблювати звук, тому результат вимірювань буде спотворений. До переваг можна віднести доступну ціну.

Таким чином, порівнявши три методи вимірювання відстані, виділимо два способи, які нам підходять: ультразвуковий та лазерний. Інфрачервоні далекоміри не зовсім підходять для вирішення поставленої задачі за причини наявності «сліпої зони».

Великим недоліком розглянутих лазерних далекомірів є також їх ціна: майже вдесятеро вищою, ніж у ультразвукових далекомірів. А в якості недоліку ультразвукового виділимо наступне – можуть виникнути труднощі при визначенні відстані до тонких об'єктів. Головною перевагою вимірювання відстані за допомогою лазерів – дальність. Таким чином зупинимося на лазерних вимірниках відстані.

1.4 Висновки до розділу

В цьому розділі дипломної роботи бакалавра проведений огляд метрологічних характеристик існуючих методів та пристроїв для визначення відстані до об'єкта. Визначили, що далекомірні пристрої розділяються на два типи: активні і пасивні. Активні – це світловий, звуковий, лазерні далекоміри

і інших конструкцій. Пасивні - це далекоміри, що використовують зіставлення якогось об'єкта зі зразком, оптичний паралакс та інших конструкцій. Та розглянули такі далекоміри, як: радіодалекомір (літакові радіодалекоміри, геодезичні радіодалекоміри, зенітні та прицільні радіодалекоміри), лазерні далекоміри, світлові далекоміри та електрооптичний далекомір.

Провели аналіз безконтактних методів визначення відстані до об'єкта та обґрунтували актуальність використання БМВВ у наш час. Розглянули основні безконтактні методи вимірювання відстані. Методи та пристрої, що здійснюють безконтактні методи вимірювання відстані розділили на три наступні групи: лазерні, інфрачервоні та ультразвукові.

Для вирішення поставлених задач визначення метрологічних характеристик системи вимірювання відстані дорожніх машин найбільш підходять лазерний та ультразвуковий методи вимірювання. Головною перевагою вимірювання відстані за допомогою лазерів – дальність. Таким чином зупинилися на лазерних вимірниках відстані. Лазери можуть бути використані при різних безконтактних способах вимірювання відстаней або зсувів. За допомогою лазерів здійснюються найбільш точні вимірювання довжин і відстаней.

2 МЕТРОЛОГІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЛАЗЕРНОГО МЕТОДУ ВИЗНАЧЕННЯ ВІДСТАНІ ДО ОБ'ЄКТА

Лазери можуть бути використані при різних безконтактних способах вимірювання відстаней або зсувів. За допомогою лазерів здійснюються найбільш точні вимірювання довжин і відстаней. Лазерні системи вимірювання відстані мають велику швидкість отримання даних, можуть використовуватися для різних діапазонів вимірювань. Лазерні прилади знаходять у теперішній час широкий спектр застосування – це і в галузі дорожнього будівництва, архітектури, контролю на виробництві, робототехніці, аналізу місць випадків, у військових цілях і інших [7].

2.1 Методи вимірювання відстаней

Деякі з найбільш важливих технологій, що використовуються для лазерних вимірювань відстаней:

- Триангуляція - геометричний метод, який використовується для вимірювання відстані в діапазоні від 1 мм до багатьох кілометрів.

- Імпульсний метод - заснований на вимірюванні часу проходження лазерного імпульсу від вимірювального приладу до певної мети і назад. Такі методи зазвичай використовуються для великих відстаней, від сотень метрів до кількох кілометрів. Використовуючи передові технології, можна виміряти відстань між Землею і Місяцем з точністю до декількох сантиметрів. Типова точність простих пристроїв вимірювання коротких відстаней дорівнює кільком міліметрам або сантиметрам.

- Метод фазового зсуву використовує модульований за інтенсивністю лазерний промінь. У порівнянні з інтерферометричним методом, його точність нижче, але він дозволяє однозначні вимірювання на великих відстанях і більше підходить для цілей з розсіяним відображенням. Відзначимо, що методику фазового зсуву іноді, називають методом часу

прольоту, так як зсув фази пропорційний часу прольоту, але цей термін є більш відповідним для методу, описаного вище, де вимірюється час прольоту світлового імпульсу.

- Методи частотної модуляції використовують частотно-модульовані лазерні промені, наприклад, з повторюваним лінійним законом зміни частоти. Вимірювані відстані можуть бути переведені в зміщення частоти, які можуть бути виміряні за допомогою відбиття вихідного і прийнятого пучка.

- Інтерферометрія дозволяє вимірювати відстані з точністю, що перевищує довжину хвилі використовуваного світла [22].

2.2 Імпульсний лазерний далекомір

Імпульсний далекомір - це прилад, який складається з детектора випромінювання та імпульсного лазера. Відстань між лазером і об'єктом можна розрахувати, знаючи час руху імпульсу до відбивача і назад і швидкість світла. Імпульсні лазерні далекоміри можна застосовувати для вимірювання великих відстаней, так як імпульс можна видати з більшою потужністю або меншою потужністю, також імпульсні далекоміри мають велику скритність, так як він включається тільки на час імпульсу. Імпульсні далекоміри часто використовуються у військових цілях, а також при складанні 3D карт місцевості.

2.2.1 Метрологічні характеристики імпульсних далекомірів

Принцип дії лазерних імпульсних далекомірів полягає у вимірюванні інтервалу часу між випромінюванням лазерного імпульса (старт) і прийомом випромінювання, що відбите від об'єкта (стоп). Джерело випромінювання в цих приладах є імпульсний лазер (зазвичай твердотільний або напівпровідниковий), випромінювання якого формується за допомогою оптичної системи.

Дальність до об'єкта можна розрахувати за допомогою наступного виразу (При цьому враховується, що лазерне випромінювання проходить подвійну відстань)

$$L = \frac{c\Delta t}{2n}, \quad (2.1)$$

де: c - швидкість світла у вакуумі; Δt - інтервал часу між часом послілки і прийому випромінювання імпульсу; n - показник заломлення середовища поширення для використовуваної довжини хвилі випромінювання.

Як впливає з виразу (2.1), для зменшення похибки вимірювання дальності до об'єкта необхідно забезпечити сталість швидкості поширення випромінювання в шарі середовища та його прямолінійність.

Серед похибок, що виникають при вимірі часового інтервалу між моментами послілки і прийому випромінювання виділимо наступні:

- систематичну, яка обумовлена часом затримки сигналу в каналах прийому випромінюваного (Старт-імпульс) та прийнятого (Стоп-імпульс) сигналів;
- похибку, що обумовлена дискретністю вимірювання часових інтервалів;
- третя похибка часової фіксації для імпульсів випромінювання.

Першу систематичну похибку, що обумовлена часом затримки сигналу у каналах фіксації випромінюваного (Старт-імпульс) та прийнятого (Стоп-імпульс) сигналів, можна зменшити або врахувати при вимірюванні часового інтервалу. Мінімізація цієї похибки можлива при схемній компенсації, а при схемі суміщеного старту, коли імпульси старт і стоп подаються на єдиний приймач випромінювання, вона компенсується повністю.

У системах без поєднаного старту таку похибку враховують за допомогою вимірювання відстані, що відбувається багаторазово.

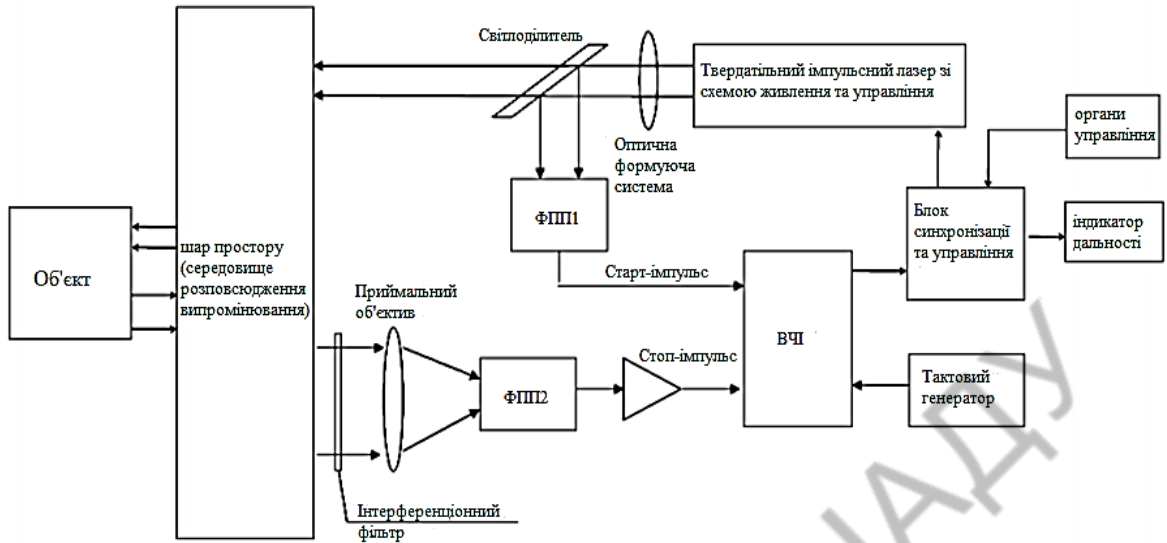


Рисунок 2.1 - Функціональна схема лазерного імпульсного далекоміра

Вплив дискретності вимірювача часових інтервалів при несинхронності тактової частоти з часом випромінювання імпульсу оцінюємо за дисперсією похибки, що з нею пов'язана

$$D = \frac{\Delta d^2}{6}, \quad (2.2)$$

де Δd означає дискретність вимірювача часових інтервалів (одиницях дальності).

Тоді середнє квадратичне відхилення оцінки дальності складе $\delta = 0,408d$. Якщо використовується тактовий генератор для вимірювання часових інтервалів з частотою до 300 МГц, то похибка, що викликана дискретністю, складає до 0,2 м.

Похибка часової фіксації імпульсів випромінювання в основному пов'язана з прийомом відбитого від об'єкта лазерного імпульсу - потужність сигналу може змінюватися на кілька порядків в залежності від дальності до

об'єкта і його коефіцієнта відбиття, стану шару середовища поширення випромінювання.

Крім того, на сигнал накладаються шуми і перешкоди приймального каналу і каналу поширення. Все це призводить до сильних спотворень форми прийнятого сигналу і, як наслідок, до похибки фіксації моменту приходу даного імпульсу пороговим пристроєм (рисунок 2.2).

Найбільш поширений метод часової прив'язки прийнятого імпульсу випромінювання шляхом фіксації його за рівнем пороговим пристроєм (наприклад, швидкодіючим компаратором). В цьому випадку момент приходу імпульсу випромінювання фіксується при перетині порога спрацьовування і залежить як від тривалості фронту імпульсу, так і від усіх параметрів (що відбивають властивості об'єкта, стану атмосфери і т. д.), які деформують форму прийнятого сигналу. При збереженні форми сигналу розкид моменту фіксації дорівнює тривалості фронту імпульсу, тому до лазерного джерела в високоточних далекомірах пред'являють вимоги мінімальності тривалості імпульсу і максимізації добротності. Найчастіше використовують імпульсні лазери з тривалістю імпульсу 10 нс і менше. Якщо вимоги до точності фіксації імпульсу дуже високі, застосовують методи фіксації максимуму імпульсу і точки перетину нуля похідної.

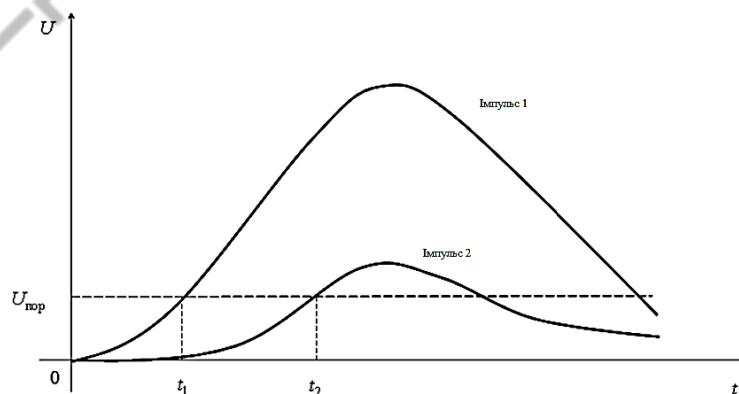


Рисунок 2.2 – Часова фіксація імпульсу за рівнем: $U_{\text{пор}}$ - поріг спрацьовування, t_1 , t_2 - час фіксації відбитих імпульсів.

Ці методи порівняно легко реалізуються і дають високу точність фіксації, проте вони ефективні лише в лінійній області зміни сигналу, як правило, в динамічному діапазоні амплітуд, що не перевищує 100.

Як було показано вище, лазерні далекомірні методи засновані на визначенні тривалості часу, протягом якого імпульсний сигнал проходить подвійну відстань від далекоміра до відбивача. Лазерні далекоміри повинні вимірювати відстані від часток метра до десятків кілометрів, що відповідає вимірювального тимчасового інтервалу від наносекунд до мілісекунд. Час вимірювання лазерними далекомірами незмінно і визначається оператором. Це спрощує отримання задовільного сталого дозволу і знижує вимоги до ВЧІ.

Дозвіл ВЧІ має бути набагато вище, ніж дозвіл всієї далекомірної системи в цілому, яке визначається рівнем шумів і часом вимірювання. Дозвіл ВЧІ можна поліпшити за допомогою усереднення, що, в свою чергу, збільшує час вимірювань [26].

Ще два не менш важливі параметри вимірювання тимчасових інтервалів - лінійність і стабільність. Лінійність разом з флуктуаційної похибкою пристрою часової прив'язки визначає абсолютну точність лазерного далекоміра. Стабільність лазерного далекоміра визначається не тільки дрейфом ВЧІ, хоча він є одним з основних джерел похибок. В цілому стабільність ВЧІ не суттєва для точних вимірювань, оскільки лазерний далекомір неодноразово калібрується в процесі вимірювань [27].

2.3 Метрологічні характеристики фазового лазерного далекоміру

Фазові лазерні далекоміри на короткий проміжок часу підсвічують об'єкт з різною частотою та за зрушенням фази розраховують відстань до цілі. Вони не мають вбудованого таймера, тому дешевше, але мають меншу дальність застосування до 1 км. Фазові далекоміри зазвичай використовуються в технічних областях для вимірювання відносних відстаней. Вони вигідні з багатьох причин, по-перше, простота використання, по-друге, висока точність,

а також ефективність. Завдяки цим властивостям існує широкий спектр потенційного застосування цих датчиків в різних областях науки і промисловості. В області мобільного робототехнічного лазера далекоміри використовуються для вимірювання відстаней до перешкод навколо робота. Причиною цього є забезпечення руху без зіткнень і навігації в відомому або невідомому середовищі [17].

2.3.1 Принцип дії фазового лазерного далекоміра

Лазерні фазові далекоміри на відміну від розглянутих вище імпульсних далекомірів мають меншу дальність вимірювання та набагато більшу точність вимірювань. Такі відмінності пояснюються тим, що в якості джерела випромінювання в лазерних фазових далекомірах використовується безперервний напівпровідниковий лазер або світлодіод, випромінювання який промодульований одним або декількома сигналами.

Відстань, яку проходить світловою хвилею за час t , дорівнює

$$l = ct, \quad (2.3)$$

де c - швидкість світла.

Фаза модульованого лазерного випромінювання зміниться на величину

$$\varphi = 2\pi f_M t, \quad (2.4)$$

де f_M - частота модуляції випромінювання

Таким чином, дальність до об'єкта можна визначити з виразів (2.3) і (2.4)

як

$$l = c \frac{\varphi}{2\pi f_M}. \quad (2.5)$$

При вимірюванні фази виникає похибка $\Delta\varphi$. Відповідна похибка у вимірюванні відстані Δl складе

$$\Delta l = c \frac{\Delta\varphi}{2\pi f_m}. \quad (2.6)$$

Аналіз формули (2.6) дозволяє зробити висновок, що похибка вимірювання дальності Δl нижче, чим вища буде частота модуляції. Однак, для визначення дальності фаза φ на вимірюваному відстані повинна бути меншою 2π , подвійна відстань не має перевищувати довжину хвилі модуляції. Це накладає обмеження на максимально допустиме значення частоти модуляції f_m . Як правило, в далекомірах використовують не одну, а кілька частот модуляції. Частота модуляції буде визначатися похибкою $\Delta\varphi$ і необхідної точністю вимірювань з рівняння (2.6).

У далекомірах використовуються інтегральні фазові детектори, що можуть вимірювати різницю фаз між сигналом вхідним і опорним сигналом від 0° до 180° (при більшому фазовому діапазоні виникає неоднозначність). У цьому випадку необхідно, щоб при проходженні випромінюванням відстані до об'єкта і назад фаза змінювалася на величину φ , що не перевищує π , тобто, щоб подвійну відстань до об'єкта відповідало половині довжини хвилі частоти модуляції (рисунки 2.2). При цьому максимальна дальність визначиться з допомогою виразу

$$2l_{max} \leq \frac{1}{2} T_1 c, \quad (2.7)$$

де T_1 означає період модуляції випромінювання на першій, тобто низькій частоті.

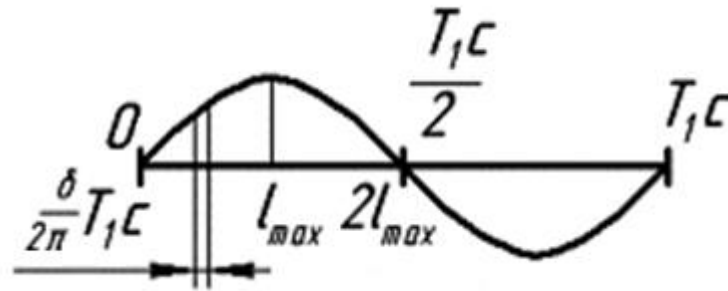


Рисунок 2.3 - Схематичне зображення одного періоду модулюючого випромінювання і його співвідношення з вимірюваною дальністю

Тоді перша частота модуляції

$$f_{1м} \leq \frac{c}{4l_{max}}. \quad (2.8)$$

Якщо похибка перевищує необхідну, необхідно використовувати ще одну, більш високу частоту модуляції [31].

Для однозначного визначення відстані треба, щоб похибка першої частоти модуляції не перевищувала 0,5 довжини хвилі на другій частоті модуляції, тобто

$$\Delta l_1 \leq \frac{1}{2} T_2 c \Rightarrow f_{2м} \leq \frac{c}{2\Delta l_1}, \quad (2.9)$$

де T_2 означає період модуляції випромінювання другої частоти.

Потім на частоті $f_{2м}$ похибка вимірювання буде складати

$$\Delta l_2 = \frac{c\delta\varphi_2}{2\pi f_2}. \quad (2.10)$$

Оскільки вихідне значення є половиною вимірюваної відстані, то його похибка буде також менше вдвічі. В цьому випадку вона складе $\Delta l_2/2$.

При вимірюваннях на частотах f_{1M} та f_{2M} будуть отримані значення зміщення фаз φ_1 і φ_2 .

Схематичне зображення процесу поширення модульованого лазерного випромінювання представлено на рис. 2.4.

Відстань, що вимірюється, до об'єкта і назад буде відповідати частині хвилі на низькочастотній модуляції:

$$l = \frac{c\varphi_1}{2\pi f_{1M}}. \quad (2.11)$$

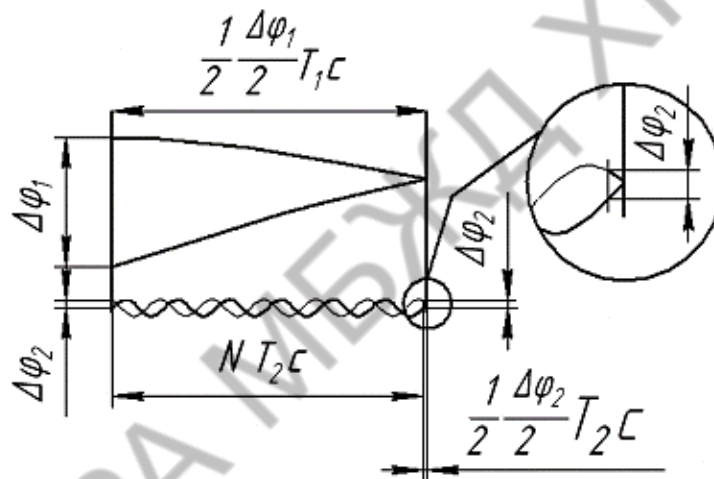


Рисунок 2.4 - Ілюстрація процесу поширення лазерного випромінювання

Відстань, що вимірюється, до об'єкта і назад відповідає N довжинам хвиль високочастотної модуляції та дробової частини

$$l = N \frac{c}{f_{2M}} + \frac{c\varphi_2}{2\pi f_{2M}}. \quad (2.12)$$

Підсумкову відстань до об'єкта визначають з вирішення системи рівнянь

$$\begin{cases} l = \frac{c\varphi_1}{2\pi f_{1M}} \\ l = N \frac{c}{f_{2M}} + \frac{1}{2} \frac{c\varphi_2}{2\pi f_{2M}} \end{cases} \quad (2.13)$$

де N знаходять як цілу частину від вираження

$$\frac{f_{2M}}{4\pi} \left(\frac{2\varphi_1}{f_{1M}} - \frac{\varphi_2}{f_{2M}} \right). \quad (2.14)$$

Потім отримують відстань до об'єкта за формулою

$$l = N \frac{c}{f_{2M}} + \frac{1}{2} \frac{c\varphi_2}{2\pi f_{2M}}. \quad (2.15)$$

Недоліком цього принципу є висока частота модуляції сигналу f_{2M} . Крім того, при великій відстані до зондуемого об'єкта і одночасно високою точності вимірювань (на рівні 5 мм) можуть знадобитися три і більше частоти модуляції. Це призводить до ускладнення електричної схеми, а також до високого рівня шумів в електронному тракті, що значно знижує точність вимірювань [27].

На рис. 2.5 представлена функціональна схема двочастотного лазерного далекоміра. На виході формуються сигнали у вигляді меандрів з частотою f_{1M} і f_{2M} . Ці сигнали перемножуються та подаються на драйвер лазера, що потім модулює струм напівпровідникового лазера. Ці ж сигнали надходять через вузькосмугові фільтри на два фазових детектора в якості опорних напруг.

Після відбиття від зондуемого об'єкта модулюючи двома частотами цк лазерне випромінювання реєструється ФПП. З виходу ФПП напруга посилюється підсилювачем та подається на активні фільтри, що налаштовані на частоти f_{1M} і f_{2M} . Таким чином, з прийнятого сигналу складної форми виділяються дві гармоніки, які надходять на входи фазових детекторів.

Потім на виходах фазових детекторів проходить формування напруги, пропорційної зміщенням фаз φ_1 і φ_2 , які згодом відцифровуються за допомогою АЦП. Результатом відцифровки сигналів є два довільних числа з розрядних b_1 і b_2 .

Перше число є грубо певною дальністю, а друге число - уточненням дальності до необхідної похибки.

Розрядність b_1 задовольняє умові значення дальності без неоднозначності

$$2^{b_1} \geq \frac{l_{max}}{\Delta l_1}. \quad (2.16)$$

У свою чергу, розрядність b_2 повинна задовольняти умові уточнення дальності до величини необхідної похибки

$$2^{b_2} \geq \frac{\Delta l_1}{\Delta l_2} = \frac{c}{4f_{2M}\Delta l_2}. \quad (2.17)$$

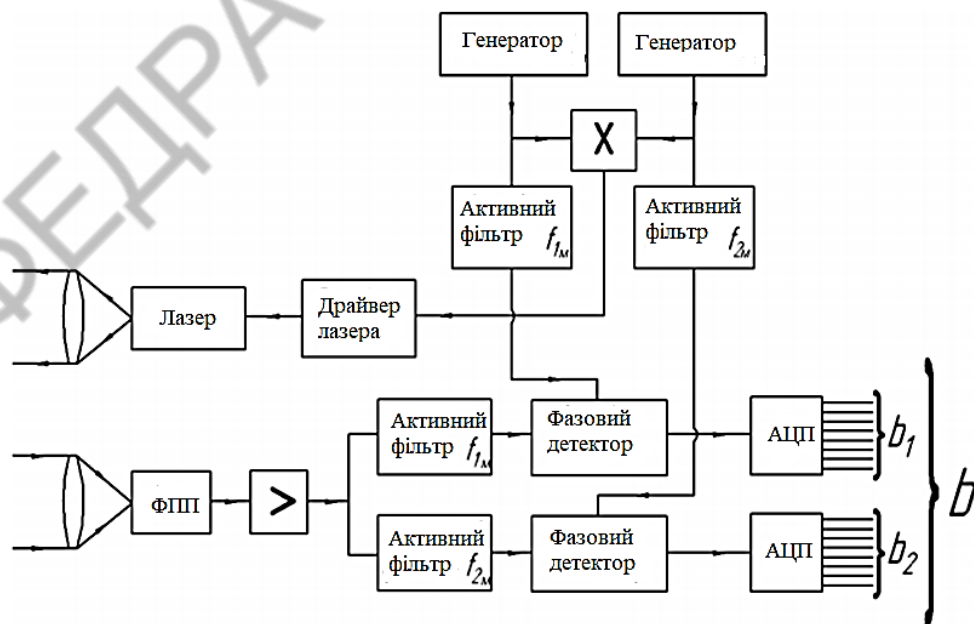


Рисунок 2.5 - Функціональна схема лазерного фазового далекоміра

Визначимо напругу, яка подається на драйвер лазера і перетворюється лазером в оптичне випромінювання.

На виходах генераторів формуються меандри з частотами f_{1M} і f_{2M} . Ці сигнали надходять в перемножувач, позначений на функціональній схемі знаком «X» (рисунок 2.5).

Після перемноження результуючу напругу можна описати наступною функцією

$$U(t) = \text{comb}\left(\frac{t}{T_2}\right) \text{comb}\left(\frac{t}{T_1}\right). \quad (2.18)$$

При цьому кількість імпульсів в пачці можна визначити за формулою

$$n = \frac{T_1}{2T_2} = \frac{f_2}{2f_1}. \quad (2.19)$$

Це значення є істотним для фазового детектора, яким необхідна кількість імпульсів для подальшого визначення різниці фаз сигналів.

На рисунку 2.6 надані графіки сигналів, що ілюструють роботу лазерного фазового далекоміра.

Вимірювання різниці фаз методом цифрової обробки вирішується різноманітними методами, наприклад, методом перетворення інтервалу часу в напругу, методом компенсації фази, цифровим методом підрахунку кількості імпульсів, квадратурних методом вимірювання фазового зсуву, за допомогою методу вимірювання фази з перетворенням частоти, синхронним детектуванням та методом перетворення Фур'є з витяганням фазової складової, ще використанням зв'язку між фазочастотною та амплітудно-частотною характеристиками. Всі ці методи мають наступні недоліками:

- точність методів сильно знижується при вимірюванні різниці фаз зашумлених сигналів, що особливо актуально для схем лазерних фазових далекомірів, що використовують перетворення Фур'є;

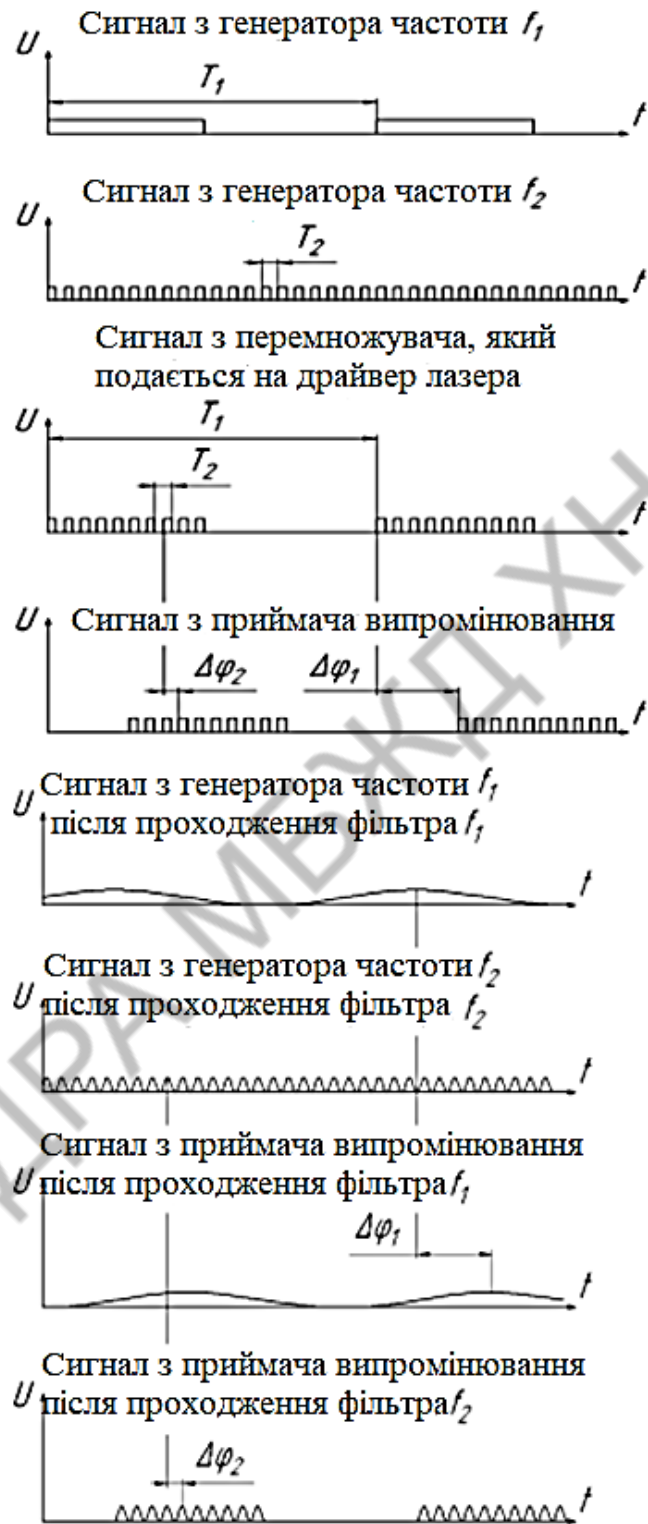


Рисунок 2.6 – Метрологічні характеристики, що пояснюють роботу лазерного фазового далекоміра

- всі методи (окрім методу перетворення Фур'є), не оптимальні при використанні цифрової реалізації.

Нижче описаний цифровий метод визначення різниці фаз, практично позбавлений перерахованих недоліків. Метод заснований на перемноженні двох гармонійних сигналів - опорного і робочого - з подальшим виділенням фазових компонентів.

Нехай $s_1 = A_1 \sin(\omega t + \Delta\varphi)$ - прийнятий сигнал, одержуваний з робочого вимірювального кола, та $s_2 = A_2 \cos(\omega t)$ - опорний сигнал.

Зробимо перемноження сигналів, отримуємо вираз, що містить різницю фаз $\Delta\varphi$

$$s_1 s_2 = A_1 \sin(\omega t + \Delta\varphi) A_2 \cos(\omega t) = \frac{1}{2} A_1 A_2 [\sin(\Delta\varphi) + \sin(2\omega t + \Delta\varphi)]. \quad (2.20)$$

У разі використання методу синхронного детектування використовуються синусоїдальні або косинусоїдальні сигналів.

Класичним методом позбавлення від коливання на подвоєній частоті є використання фільтра низьких частот. Низькочастотна фільтрація добре проявляє себе при аналоговій обробці. Для цифрової обробки сигналу замість низькочастотного фільтра застосуємо усереднення. В результаті отримаємо

$$\overline{s_1 s_2} = 0,5 A_1 A_2 \sin(\Delta\varphi) + \frac{0,5 A_1 A_2}{\Delta t} \int_0^{\Delta t} \sin(2\omega t + \Delta\varphi) dt \approx 0,5 A_1 A_2 \sin(\Delta\varphi). \quad (2.21)$$

Оскільки для тимчасового інтервалу Δt , кратного T , справедливо вираз

$$\int_0^{\Delta t} \sin(2\omega t + \Delta\varphi) dt = 0, \quad (2.22)$$

остаточний результат для обчислення шуканої різниці фаз матиме вигляд

$$\Delta\varphi = \arcsin\left(\frac{\overline{s_1 s_2}}{A_1 A_2}\right). \quad (2.23)$$

Таке співвідношення надає можливість відновити різницю фаз в діапазоні

$$-\frac{\pi}{2} \dots + \frac{\pi}{2}.$$

Як, видно, з формули (2.23), для розрахунку фази необхідно знати амплітуду A_1 і A_2 , необхідно усереднити гармонійний сигнал та помножити на $\pi/2$

$$\overline{s_{1.\text{мод}}} = \frac{A_1}{\Delta t} \int_0^{\Delta t} |s_1| dt = \frac{A_1}{\Delta t} \int_0^{\Delta t} |\sin(\omega t + \varphi_1)| dt, \quad (2.24)$$

При $\Delta t = kT$

$$\begin{aligned} \overline{s_{1.\text{мод}}} &= \frac{A_1}{\Delta t} \int_0^{\Delta t} |\sin(\omega t + \varphi_1)| dt \approx \frac{2A_1}{T} \int_0^{\frac{T}{2}} \sin(\omega t) dt = \frac{2A_1}{T} \left(\frac{1}{\omega} \cos 0 - \right. \\ &\left. \frac{1}{\omega} \cos \pi \right) = \frac{2A_1}{\pi}. \end{aligned} \quad (2.25)$$

Тобто,

$$A_1 = \frac{\pi \overline{s_{1.\text{мод}}}}{2}. \quad (2.26)$$

Співвідношення (2.25), як і (2.26), виконується точніше, чим більшим буде інтервал часу в порівнянні з періодом T . Амплітуда A_2 відновлюється аналогічним чином.

Усереднення, використане в формулах (2.25) і (2.26), дозволяє оцінювати різницю фаз навіть для сильно перешкоди сигналу, що є істотною перевагою перед іншими методами. Таким чином, формула для визначення різниці фаз прийме остаточний вигляд

$$\varphi_1 - \varphi_2 = \arcsin \left(\frac{8}{\pi^2} \frac{\overline{s_1 s_2}}{\overline{s_{1.\text{мод}}} \overline{s_{2.\text{мод}}}} \right). \quad (2.27)$$

Схема реалізує алгоритм обчислення різниці фаз відповідно до вираження (2.27), представлена на рисунку 2.7.

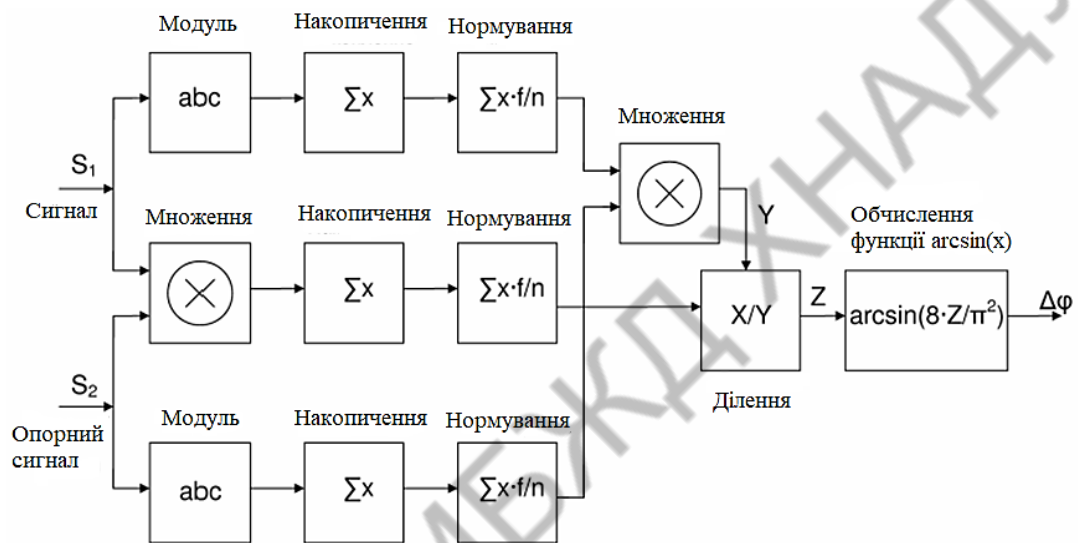


Рисунок 2.7 - Функціональна схема цифрового фазового детектора

Для визначення значень $\overline{s_1 s_2}$, $\overline{s_{1.\text{мод}}}$, $\overline{s_{2.\text{мод}}}$ сигнали s_1 і s_2 перемножуються, результати підсумовують з урахуванням частоти проходження. Так визначають значення вхідних сигналів. Відзначимо, що для отримання високої точності визначення різниці фаз кількість відліків, за які відбувається усереднення, має бути кратна кількості відліків, що укладаються в період модуляції вхідних сигналів.

Отримані значення обробляють. На виході формується сигнал, який несе інформацію по різниці фаз між вхідними сигналами.

Таким чином, використання таких цифрових методів знаходження фази дозволяє нам знизити частоту модуляції сигналу майже на 2 порядки. Для

обробки сигналу в кілька мегагерц треба застосовувати процесори або програмовані логічні інтегральні схеми (ПЛІС) з високою обчислювальною потужністю. Однак існує можливість перевести сигнали, що приймаються в низькочастотну область без втрати інформації про фазі. Дану задачу вирішують шляхом використання гетеродинування.

Генератор опорної частоти, на яку необхідно знизити прийняте коливання, називається гетеродином. Як правило, гетеродинування реалізується на апаратному рівні в електронному тракті. Різнісну частоту маємо отримувати як перемноження вимірюваного сигналу і сигналу з гетеродина. Тоді на виході перемножувача формується низькочастотний сигнал, який після відцифровки подається в блок обробки сигналів. Маємо сигнал з гетеродина, що повинен бути стабільним по частоті та фазі. Він точно налаштований щодо основної частоти вимірюваного сигналу. Різнісну частоту ω_0 зазвичай вибирають в діапазоні від 1 кГц до 10 кГц для зручності подальшої обробки.

На рисунку 2.8 представлена схема, яка пояснює процес гетеродинування вимірюваного сигналу.

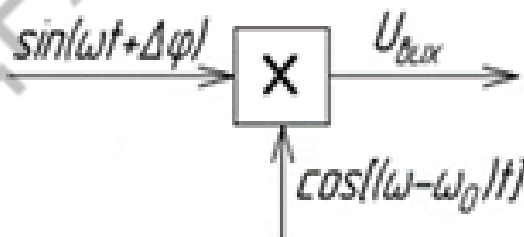


Рисунок 2.8 - Схема, яка пояснює процес гетеродинування вимірюваного сигналу в робочому каналі

Вихідний сигнал $U_{\text{вих}}$ в даному випадку можна визначити з допомогою виразу

$$\begin{aligned}
 U_{\text{вих}} &= U_0 \sin(\omega t + \Delta\varphi) \cos[(\omega - \omega_0)t] = \\
 &U_0 \frac{\sin(\omega t + \Delta\varphi - (\omega - \omega_0)t) + \sin(\omega t + \Delta\varphi + (\omega - \omega_0)t)}{2} = U_0 \frac{1}{2} \sin(\omega_0 t + \Delta\varphi) + \\
 &U_0 \frac{1}{2} \sin((2\omega - \omega_0)t + \Delta\varphi). \tag{2.28}
 \end{aligned}$$

Складова сигналу частотою $(2\omega - \omega_0)$ пригнічується низькочастотним фільтром. На виході фільтра сигнал має вигляд

$$U = \frac{1}{2} \sin(\omega_0 t + \Delta\varphi). \tag{2.29}$$

Таким чином, напруга після гетеродинірування і частотної фільтрації має багато меншу частоту при збереженні інформації про зсуву фаз $\Delta\varphi$. При цьому нижня частота модуляції ω_0 дозволяє застосувати подальшу обробку за допомогою розповсюджених цифрових процесорів [31].

Для зниження похибки обчислення зсуву фаз цифровим фазометром відповідно до формули (2.29) необхідно забезпечити високе відношення сигнал/шум. Розрахунки і комп'ютерне моделювання показують, що при відношенні сигнал/шум, рівному 20, похибка визначення фази дорівнює $\pi \cdot 10^{-3}$, при цьому при відношенні сигнал/шум, що дорівнює 50, похибка зменшується в 100 раз до значення $\pi \cdot 10^{-5}$. У зв'язку з цим доцільно здійснити попередню вузькополосну цифрову фільтрацію оброблюваних сигналів з метою придушення шумів.

Вирішення цього завдання в електронному тракті лазерного фазового далекоміра можливо і за допомогою аналогових фільтрів, проте цифрові фільтри мають наступні переваги:

- 1) здатність реалізації фільтрів з будь-якими імпульсними та частотними характеристиками в межах діапазону частот, що забезпечується АЦП і процесором. При цьому можна побудувати пристрої, реалізація яких в аналоговому вигляді вкрай скрутна;

2) відсутність поганих факторів (вплив паразитних зв'язків між окремими вузлами, інерційність енергоємних елементів, неузгодженість вузлів по вхідному опору);

3) висока точність відтворення операторів перетворення і стабільність характеристик;

4) повторюваність характеристик;

5) нечутливість до змін зовнішніх умов;

6) висока надійність в роботі;

7) модернізація в процесі експлуатації;

8) можливість діагностики і самодіагностики;

9) малі маса і габарити, оскільки допоміжних електронних компонентів не потрібно.

Реалізація цифрового фільтра з добротністю більше 50 спрощується, якщо використовувати фільтри з НІХ (нескінченної імпульсною характеристикою). Передавальна функція, що реалізується в цифровому НІХ-фільтрі визначається виразом

$$y_n = \sum_{j=1}^M a_j y(n\Delta t - j\Delta t) + \sum_{i=0}^N b_i x(n\Delta t - i\Delta t), \quad (2.30)$$

Де a_j і b_i – коефіцієнти, $x(n\Delta t)$ і $y(n\Delta t)$ - відліки вихідного і вхідного сигналів фільтра.

Вираз (2.30) являє собою різницеве рівняння, проаналізуємо його та зробимо наступний висновок: для обчислення відліків фільтра треба періодично робити три операції:

1 - затримка (запам'ятовування) відповідно N і M відліків вхідного і вихідного сигналів;

2 - алгебраїчне додавання;

3 - множення.

Функціональна схема лазерного фазового далекоміра представлена на рисунку 2.9.

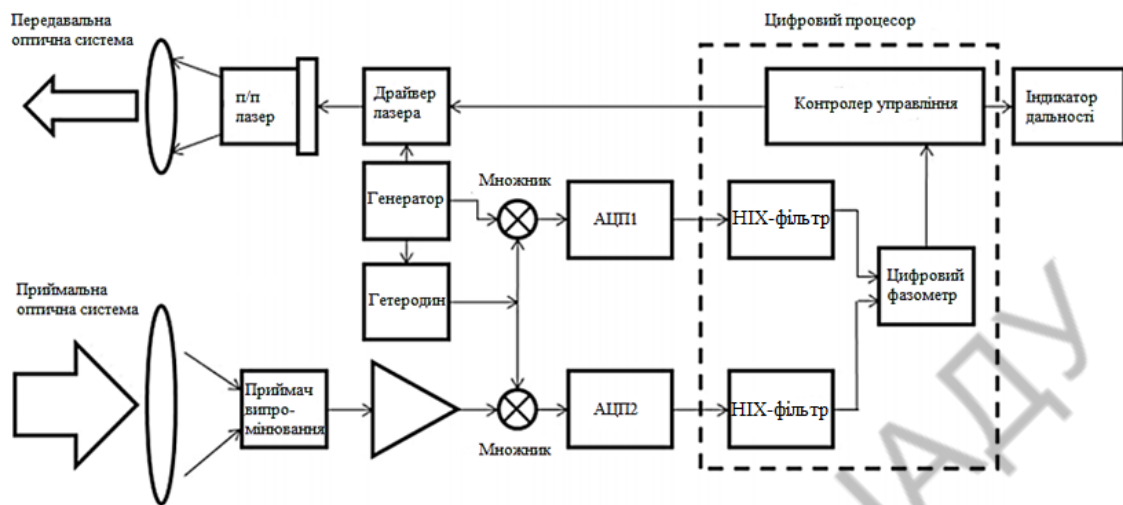


Рисунок 2.9 - Функціональна схема сучасного цифрового лазерного фазового далекоміра

Генератор, що задає, формує напругу, мінливий по гармонійним законом на частоті модуляції f_{1M} і одночасно подається на вхід гетеродина і на драйвер лазера. У результаті випромінювання модулюється на частоті f_{1M} , та на виході гетеродина буде формуватися сигнал з частотою f_0 , який відрізняється від частоти f_{1M} на 1 кГц. Тоді після перемноження частот опорна вихідна напруга з частотою 1 кГц буде надходити на АЦП1, а потім в цифровий процесор.

У свою чергу, ФПП приймального каналу реєструє відбитий від об'єкта лазерний пучок на частоті модуляції f_{1M} .

Після посилення і множення з частотою гетеродина робоча напруга з частотою 1 кГц надходить на вхід АЦП2 і далі в вимірювальний ланцюг цифрового процесора.

Оцифровані сигнали в опорних і вимірювальних ланцюгах процесора проходять фільтрацію в НІХ-фільтрах, потім після цього подаються в блок фазометра цифрового. Результат обчислення зсуву фаз надходить в контролер, де перераховується в значення дальності та виводиться на індикатор.

Ще одним важливим завданням контролера є здійснення адаптивного управління потужністю лазерного випромінювача в залежності від відстані до об'єкта. Чим ближче об'єкт зондування, тим менше потужність лазера [24].

2.4 Приклади реалізації сучасних далекомірів

Сучасні лазерні імпульсні далекоміри виробляються великими закордонними комерційними компаніями, такими як Bosch, Leica, Zeiss та ін.

Вони мають відмінні малогабаритні та ергономічні характеристики, володіють широкою функціональністю метрологічних характеристик (цифрова індикація дальності, режими роботи, наявність заряду батареї, інтерфейсу зв'язку з комп'ютером, вимірювання швидкості пересування об'єкта) і в основному розрізняються по точності і дальності дії вимірювання в залежності від передбачуваного використання. Основні характеристики вітчизняних і деяких зарубіжних лазерних імпульсних далекомірів наведені в таблиці 2.1.

За даними таблиці 2.1 можна зробити висновок про те, що до метрологічних характеристик імпульсних далекомірів, можна віднести великі граничні вимірювані дальності (до 30 км), похибка 0,5 м, а також широке використання приладів з «безпечної» довжиною хвилі 1,54 мкм. При цьому на відстанях до декількох кілометрів в якості випромінювача використовується НПЛ, а на великих відстанях - твердотільний лазер.

На рисунку 2.10 показаний зовнішній вигляд далекомірів, представлених в таблиці 2.1. Деякі прилади (крім стаціонарних військового призначення) мають конструктивне виконання у вигляді бінокля. При цьому всі прилади оснащені допоміжною телескопічною системою для зручності наведення на далекі об'єкти. Індикація значень дальності зазвичай представляється в зручній формі на екрані, оптично зв'язаному з одним з окулярів зорової системи.



Армійський далекомір 1Д26



Армійський далекомір EG-LRF



Армійський далекомір KTD-2-2

Рисунок 2.10 - Зовнішній вигляд імпульсних далекомірів

Таблиця 2.1 - Параметри деяких сучасних імпульсних лазерних далекомірів

| Модель | Виробник | Діапазон вимірювальної відстані, м | Похибка вимірювання, м | Довжина хвилі випромінювача, мкм |
|---------------------|-------------|------------------------------------|------------------------|----------------------------------|
| EG-LRF | НДІ «Полюс» | 50...25 000 | 5,0 | 1,540 |
| КТД-2-2 | НДІ «Полюс» | 100...20 000 | 0,5 | 1,079 |
| Victory RF 10x56 T* | Carl Zeiss | 10...1 200 | 1,0 | 0,904 |

Як приклад лазерних фазових далекомірів наведено лазерні фазові далекоміри фірм Leica і Bosch. У таблиці 2.2 наведені метрологічні параметри далекомірів, що випускаються цими фірмами.

Таблиця 2.2 - Параметри далекомірів фірм Leica і Bosch

| Фірма- производитель | Модель | Похибка вимірювання, мм | Дальність вимірювання*, м | Габарити прибора, мм | Маса прибора, г |
|-------------------------|--------|-------------------------------|---------------------------------|----------------------------|-----------------------|
| Leica | D3a | ±1 | 0,05...80 | 125x45x24 | 110 |
| | D8 | ±1 | 0,05...200 | 143x55x30 | 195 |
| | A8 | ±1,5 | 0,05...200 | 148x64x36 | 270 |
| | DXT | ±1,5 | 0,05...70 | - | - |
| Bosch | DLE 70 | ±1,5 | 0,05...70 | 100x59x32 | 180 |
| | DLE 40 | ±1,5 | 0,05...40 | 100x58x32 | 180 |

*Дальність вимірювання по дифузним об'єктам

При застосуванні вуглового відбивача, зазначена в таблиці 2.2, максимальна дальність вимірювання зростає в 2,5 рази. Усі ці зазначені далекоміри мають компактні габарити та похибку вимірювання ± 1 мм.

На рисунку 2.11 показаний вигляд лазерного фазового далекоміра фірми Leica Disto A5. Відзнакою цієї моделі є наявність обчислювача, який може вимірювати периметр, площу та об'єм на визначеній інформації про дальності. В побутових фазових далекомірах використовується НПЛ видимого діапазону для полегшення процесу наведення.



Рисунок 2.11 - Фазовий далекомір Leica Disto A5

Зазвичай, в такий прилад вбудований телескопічний візир, який здійснює наведення на зондуєчий об'єкт в умовах великої освітленості [19].

2.5 Висновки до розділу

В цьому розділі проведено метрологічний аналіз лазерних методів вимірювання відстаней.

Лазерні фазові далекоміри на відміну від розглянутих імпульсних далекомірів мають істотно меншу дальність вимірювання, але при цьому характеризуються набагато більшою точністю вимірювань. Привели приклади технічної реалізації деяких далекомірів.

Імпульсний лазерний метод можна застосовувати для вимірювання великих відстаней, тому найчастіше цей метод використовується в військовій справі.

В області мобільного лазера далекоміри використовуються для вимірювання відстаней до перешкод навколо дорожніх машин. Але в даний час при вимірюванні відстані до об'єктів потрібно проводити вимірювання лінійних переміщень з похибкою до 0,5 мм на відстані до 100 м. При цьому значення переміщення визначається по зміні відстані до контрольованого об'єкта щодо його базового значення. Зазначена вимога до точності вимірювання змушує шукати нові шляхи вдосконалення лазерних далекомірів.

В ході аналізу ми з'ясували, що найбільш близькі до вирішення поставлених задач контролю відстані дорожніх машин фазовий лазерний метод тому, що в нього висока точність та ефективність метрологічних характеристик.

3 ОХОРОНА ПРАЦІ

ПРАВИЛА охорони праці під час будівництва, ремонту та утримання автомобільних доріг:

I. Загальні положення

1. Ці Правила поширюються на всіх суб'єктів господарювання незалежно від форми власності (далі - підприємства), які виконують роботи з будівництва, ремонту та утримання автомобільних доріг загального користування.

2. На кожному підприємстві повинні бути розроблені інструкції з охорони праці відповідно до вимог Положення про розробку інструкцій з охорони праці, затвердженого наказом Комітету по нагляду за охороною праці Міністерства праці та соціальної політики України.

3. Навчання і перевірка знань з питань охорони праці працівників підприємств проводяться відповідно до вимог Типового положення про порядок проведення навчання і перевірки знань з питань охорони праці, а з питань пожежної безпеки - відповідно до Переліку посад, при призначенні на які особи зобов'язані проходити навчання і перевірку знань з питань пожежної безпеки, та порядок їх організації, затвердженого наказом Міністерства України з питань надзвичайних ситуацій та у справах захисту населення від наслідків Чорнобильської катастрофи та Типового положення про інструктажі, спеціальне навчання та перевірку знань з питань пожежної безпеки на підприємствах, в установах та організаціях України, затвердженого наказом Міністерства України з питань надзвичайних ситуацій та у справах захисту населення від наслідків Чорнобильської катастрофи.

Забороняється допускати до роботи працівників, які не пройшли навчання та перевірку знань з питань охорони праці та пожежної безпеки.

4. Попередній (під час прийняття на роботу) і періодичний (протягом трудової діяльності) медичні огляди працівників повинні проводитися в

установлені терміни відповідно до Порядку проведення медичних оглядів працівників певних категорій.

5. Неповнолітні працівники (молодші 18 років) допускаються до робіт, не заборонених для них Переліком важких робіт і робіт із шкідливими і небезпечними умовами праці, на яких забороняється застосування праці неповнолітніх. Не дозволяється жінкам виконувати роботи, які зазначені в Переліку важких робіт та робіт із шкідливими і небезпечними умовами праці, на яких забороняється застосування праці жінок, а також підіймати та переміщувати вантажі відповідно до Граничних норм підіймання і переміщення важких речей жінками.

7. Працівники повинні забезпечуватися спецодягом, спецвзуттям і іншими засобами індивідуального захисту відповідно до Норм безплатної видачі спеціального одягу, спеціального взуття та інших засобів індивідуального захисту працівникам дорожнього господарства.

8. Розслідування та ведення обліку нещасних випадків, професійних захворювань і аварій на виробництві здійснюються відповідно до Порядку розслідування та ведення обліку нещасних випадків, професійних захворювань і аварій на виробництві.

II. Вимоги безпеки до підготовчих робіт

1. У місцях проведення дорожніх робіт порядок установа огороджувальних засобів повинен відповідати вимогам [34].

2. Не дозволяється завозити устаткування, матеріали та складувати їх без попереднього встановлення огороджень, які повинні відповідати вимогам [35].

3. Під час технологічних перерв і закінчення робочої зміни дорожньо-будівельна техніка повинна залишатися в огородженій зоні.

2. Вимоги безпеки до улаштування будівельного майданчика та робочих місць:

1. Усі роботи з улаштування будівельного майданчика повинні проводитися відповідно до проектної документації, затвердженої у

встановленому порядку. 2. На будівельному майданчику повинні бути обладнані санітарно-побутові та інші приміщення відповідно до вимог [36].

3. Будівельний майданчик, що розташовується в межах населеного пункту, повинен бути огорожений.

4. Проїзди, проходи, кранові колії, вантажно-розвантажувальні майданчики та робочі місця необхідно регулярно очищати від будівельного сміття, а взимку очищати від снігу та льоду та посипати протижеледними матеріалами.

5. Будівельний майданчик, ділянки виконання робіт, робочі місця, проїзди та підходи до них у темний час доби повинні бути освітлені відповідно до вимог [37].

Прожектори не повинні засліплювати очі працівників.

Висота підвішування світильників загального освітлення, у тому числі прожекторів, повинна бути не нижче 2,5 м

6. На під'їзних тимчасових дорогах до будівельного майданчика, у місцях розміщення пересувних асфальтобетонних і цементобетонних заводів повинні бути встановлені знаки безпеки дорожнього руху відповідно до вимог/

7. Для автомобілів і інших транспортних засобів на будівельному майданчику повинна бути встановлена допустима швидкість руху.

У зонах обмеженої швидкості руху, місцях стоянки транспортних засобів і розворотів повинні бути встановлені дорожні знаки.

3. Вимоги безпеки під час зберігання матеріалів, виробів і конструкцій

1. Завозити матеріали для їх складування та зберігання дозволяється після влаштування майданчиків, передбачених проектом виконання робіт (далі - ПВР).

2. Зберігатися матеріали, вироби та конструкції на будівельному майданчику повинні в штабелях або на спеціальних стелажах. Для матеріалів і виробів, що вимагають закритого зберігання, повинні влаштуватися навіси та склади, а для матеріалів, що порошать, - силоси, бункери, ларі тощо.

3. Усі довгомірні матеріали та конструкції повинні зберігатися в штабелях на спеціально обладнаних горизонтальних майданчиках.

4. Матеріали, які вивозяться для ремонту дороги, повинні складуватися на майданчиках або на узбіччі. У разі складування матеріалів на узбіччі дороги місце складування повинно бути огорожене знаками дорожнього руху. Не дозволяється складувати матеріали на укосах насипу та виїмок.

5. Для відводу поверхневих вод на майданчиках для зберігання матеріалів повинен бути ухил 1-2 град. у бік границь майданчиків, а якщо вони розташовані на косогорах, то влаштовують нагірну канаву для відводу води. Узимку майданчики перед складуванням матеріалів очищають від снігу та льоду.

6. Під час складування матеріалів, конструкцій і виробів вживають заходів проти самовільного їх переміщення (осипання, розкочування, розвалювання та перевертання). Не дозволяється привалювати (опирати) матеріали та вироби на паркани та інші конструкції.

7. Штабелі з піску, гравію, щебеню та інших сипких матеріалів повинні мати укоси, що відповідають куту природного укосу для даного матеріалу, або огорожуватися підпірними стінками.

8. Між суміжними штабелями (стелажми) на складах потрібно влаштувати проїзди для руху транспортних засобів і вантажопідіймальних механізмів, а також проходи для працівників шириною не менше 1 м.

9. Відстань від місць складування матеріалів і устаткування до бровки котлованів, траншей повинна визначатися розрахунком стійкості їх укосів. У всіх випадках ця відстань не може бути менше ніж 1 м.

10. Балони із стиснутими газами та ємності з фарбами, оліфою, маслами та легкозаймистими рідинами, а також тара з-під них повинні зберігатися роздільно відповідно до вимог [38].

11. Балони із зрідженим газом повинні зберігатися у вертикальному положенні в спеціальних приміщеннях або у металевих шафах із природною

вентиляцією. Не дозволяється зберігати в одному приміщенні кисневі балони та балони із зрідженим газом.

12. Вентилі газових балонів повинні бути закриті запобіжними ковпаками. Не дозволяється приймати, зберігати та видавати балони без ковпаків.

13. Отруйні речовини повинні зберігатися в окремих приміщеннях (сховищах), які добре вентилюються. На сховищах повинні бути попереджувальні написи.

14. Якщо в одному приміщенні зберігаються різні отруйні речовини, бирки на них повинні бути пофарбовані в кольори відповідно до вимог [39].

15. Легкозайmistі рідини (гас, бензин тощо), а також змащувальні матеріали повинні зберігатися з дотриманням правил пожежної безпеки в приміщеннях із неспалимими конструкціями або заглибленими в землю. Відстань від складів із такими матеріалами до споруд, що знаходяться поблизу, повинна бути не менше ніж 50 м. Не дозволяється зберігати та переносити летючі або легкозайmistі рідини у відкритій тарі.

16. Ємності для зберігання горючих рідин (резервуари, цистерни тощо) повинні закриватися герметичними кришками та замикатися на замок. Наповнювати ємності та роздавати горючі матеріали потрібно тільки за допомогою трубопроводів і насосів. Не дозволяється роздавати їх відрами, черпаками, сифонами та за допомогою шлангів, відсмоктуючи ротом. Наливати легкозайmistі рідини потрібно тільки в тару, що герметично закривається.

4. Вимоги безпеки до інструменту

1. Інструмент (ручний, електрифікований і пневматичний) повинен зберігатися в коморах.

Після закінчення робочої зміни інструмент повинен здаватися на зберігання відповідальному працівнику.

2. Не дозволяється видавати несправний і неперевірений інструмент.

3. Застосовувати механізований інструмент потрібно лише за призначенням.

4. Працівники, які виконують роботу електрифікованим інструментом, повинні мати II групу з електробезпеки та посвідчення на право роботи з цим інструментом відповідно до вимог Правил безпечної експлуатації електроустановок споживачів.

5. Кліщі для переміщення бортового каменю не повинні мати погнутості, розколин, надломів, спрацьованих шарнірів болтів.

6. Складувати інструмент потрібно на узбіччі проїжджої частини паралельно рухові транспорту в огороженому місці, а граблі, що застосовуються для розпушування та розрівнювання асфальтобетонної суміші, потрібно класти зубцями донизу.

7. Пневматичні інструменти (молотки, зубила, трамбівки тощо) перед застосуванням повинні бути відрегульовані.

8. Клапани на пневматичних інструментах повинні бути відрегульовані та не пропускати повітря.

9. Шланг до трубопроводу стиснутого повітря повинен підключатися тільки через вентиля, встановлені на повіторозподільних резервуарах або відводах від магістралі.

ВИСНОВКИ

В дипломній роботі бакалавра розглянуті метрологічні характеристики безконтактних методів визначення відстані до об'єкта. За технічним завданням точності вимірювання відстані від 0,1 до 0,5 мм, також частота модуляції світлового випромінювання від 25 до 50 МГц.

В першому розділі дипломної роботи бакалавра проведений огляд метрологічних характеристик існуючих методів та пристроїв для визначення відстані до об'єкта. Визначили, що далекомірні пристрої поділяться на два типи - активні і пасивні. До активних відносяться: світловий, звуковий далекомір, лазерні далекоміри та далекоміри інших конструкцій. Також до пасивних відносяться: далекоміри, що використовують зіставлення об'єкта зі зразком, далекоміри, які використовують оптичний паралакс та інших конструкцій. Розглянули метрологічні характеристики таких далекоміри, як: радіодалекомір (літакові радіодалекоміри, геодезичні радіодалекоміри, зенітні та прицільні радіодалекоміри), лазерні далекоміри, світлові далекоміри та електрооптичний далекомір.

Провели аналіз метрологічних характеристик безконтактних методів визначення відстані до об'єкта та обґрунтували актуальність використання безконтактних методів визначення відстані. Розглянули основні метрологічні характеристики безконтактних методів вимірювання відстані. Пристрої та методи, що використовують безконтактні методи, розділили на 3 групи: лазерні, інфрачервоні та ультразвукові.

Порівнявши метрологічні характеристики трьох методів, виділили два вимірювання відстані, які більш підходять: лазерний і ультразвуковий. Зробили висновок, що інфрачервоні далекоміри для вирішення поставленої задачі не підходять з-за наявності «сліпої зони».

У лазерних далекомірів є істотний недолік - це їх ціна: вона майже вдесятеро вища порівняно з ультразвуковими далекомірами. А недолік ультразвукового в тому, що можуть виникнути труднощі при визначенні

відстані до тонких об'єктів. Головною метрологічною характеристикою, що є основною перевагою вимірювання відстані за допомогою лазерів – це дальність. Лазери можуть бути використані при різних безконтактних способах вимірювання відстаней або зсувів, що дуже актуально на теперішній час.

Другий розділ було спрямовано на огляд метрологічних характеристик лазерного методу визначення відстані та технологій. В ході аналізу прийшли до наступних висновків, що імпульсний лазерний метод можна застосовувати для вимірювання великих відстаней, тому найчастіше цей метод використовується в військовій та дорожньо-будівельній галузі.

Але найбільше підійшли для вирішення поставленої задачі метрологічні характеристики фазового лазерного методу тому, що вигідніший він з багатьох причин: простота, висока точність та ефективність.

В третьому розділі розглянуті питання охорони праці під час будівництва, ремонту та утримання автомобільних доріг.

Мета дипломної роботи бакалавра досягнута, завдання на дипломне проектування виконані в повному обсязі.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Barr K. Method for improving the received signal tonoise ratio of a laser rangefinder. US Patent No. 7184130, Feb. 27, 2007, US CI.356/4.01, Int. CI. G01S 3/08.
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. Joerg Stierle, Peter Wolf, Kai Renz. Device and method for optical distance measurement. US Patent US 7221435, G01C3/08.
4. Barr K. Method for improving the received signal tonoise ratio of a laser rangefinder. US Patent No. 7184130, Feb. 27, 2007, US CI. 356/4.01, Int. CI. G01S 3/08
5. Огляд та класифікація систем комп'ютерного зору згідно засобів використання, Лимар В.А., XXIV Міжнародний молодіжний форум «Радіoeлектроніка та молодь у XXI столітті», 2020, с. 61-62.
6. A Comparative Example Between The Use Of Pca And Mds For Image Classification / Hernandez, W., Mendez, A., Flor-Unda, O., Camejo, I.M., Kolendovska, M.// IEEE International Symposium on Industrial Electronics, 29th IEEE International Symposium on Industrial Electronics, ISIE 2020; Delft; Netherlands; 17 June 2020 до 19 June 2020; Volume 2020-June, June 2020, № 9152565, Pages 1353-1358
7. Algorithm For Generating Refined Frequency Estimates In Atmospheric Radio Sounding Systems / Kartashov V., Hernandez W., Hernandez-Balbuena D., M. Kolendovska, Konovalenko O., Melnyk V.// IEEE International Symposium on Industrial Electronics, 29th IEEE International Symposium on Industrial Electronics, ISIE 2020; Delft; Netherlands; 17 June 2020 до 19 June 2020; Volume 2020-June, June 2020, № 9152562, Pages 79-82
8. Application of Fast Frequency Shift Measurement Method for INS in Navigation of Drones / D. Avalos-Gonzalez, D.H. Balbuena, V. Tyrsa, V.M. Kartashov, M. Kolendovska, S. Sheiko, O. Sergiyenko, V. Melnyk, F.N. Murrieta-Rico

// IECON 2018 – 44th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society. – P. 3159–3164.

9. Ivanov, M., Sergiyenko, O., Mercorelli, P., Hernandez, W.c, Rodriguez Quinonez, J.C.d, Katashov V., Kolendovska, M., Iryna, T. Effective informational entropy reduction in multi-robot systems based on real-time TVS. IEEE International Symposium on Industrial Electronics, 2019-June, 8781209, c. 1162-1167.
10. Experimental estimation of direction finding to unmanned air vehicles algorithms efficiency by their acoustic emission, /Oleynikov, V., Zubkov, O., Kartashov, V., ...Sheiko, S., Babkin, S.//2019 IEEE International Scientific-Practical Conference: Problems of Infocommunications Science and Technology, PIC S and T 2019 - Proceedings, 2019, стр. 175-178, 9061337
11. Features of acoustic noise of small unmanned aerial vehicles / Semenets, V.V., Kartashov, V.M., Leonidov, V.I. //Telecommunications and Radio Engineering (English translation of Elektrosvyaz and Radiotekhnika), 2020, 79(11), стр. 985-995
12. Geometric Analysis Of A Laser Scanner Functioning Based On Dynamic Triangulation /Sepulveda-Valdez, C., Sergiyenko, O., Tyrsa, V, Mercorelli, P., Kolendovska, M.// IEEE International Symposium on Industrial Electronics, 29th IEEE International Symposium on Industrial Electronics, ISIE 2020; Delft; Netherlands; 17 June 2020 до 19 June 2020; Volume 2020-June, June 2020, № 9152268, Pages 1398-1403
13. M. Ivanov, O. Sergiyenko, V. Tyrsa, P. Mercorelli, V. Kartashov, W. Hernandez, S. Sheiko, M. Kolendovska. Individual scans fusion in virtual knowledge base for navigation of mobile robotic group with 3D TVS // Proceedings of 44th Annual Conference of IEEE Industrial Electronics Society (IECON).. -2018. – Washington DC, USA. -S. 3187-3192. . ISBN 978-1-5090-6683-4/18/.
14. Oleksandr Sotnikov, Vladimir Kartashov, Oleksandr Tymochko, Oleg Sergiyenko, Vera Tyrsa, Paolo Mercorelli, Wendy Flores-Fuentes. Methods for Ensuring the Accuracy of Radiometric and Optoelectronic Navigation Systems

- of Flying Robots in a Developed Infrastructure. Chapter 16// Machine Vision and Navigation; Springer, Cham. pp.537–578. Editors: Sergiyenko, Oleg, Flores-Fuentes, Wendy, Mercorelli, Paolo. DOI: [10.1007/978-3-030-22587-2_16](https://doi.org/10.1007/978-3-030-22587-2_16).
15. Optical detection of unmanned air vehicles on a video stream in a real-time / [Kartashov, V.](#), [Oleynikov, V.](#), [Zubkov, O.](#), [Sheiko, S.](#) // 2019 International Conference on Information and Telecommunication Technologies and Radio Electronics, UkrMiCo 2019 - Proceedings, 2019, 9165362/
16. Principles Of Construction And Assessment Of Technical Characteristics Of Multi-Frequency Atmospheric Sodar In The Humidity Measurement Mode / [Kartashov, V.M.](#), [Sidorov, G.I.](#), [Sheiko, S.A.](#), [Kolendovskaya, M.M.](#), [Sergienko, O.Yu.](#) // Telecommunications And Radio Engineering (English Translation Of *Elektrosvyaz And Radiotekhnika*), 2020, ISSN Print: 0040-2508, ISSN Online: 1943-6009, DOI: [10.1615/TelecomRadEng.v79.i4.50](https://doi.org/10.1615/TelecomRadEng.v79.i4.50), p. 323-333/
17. Research Of The Uncertainty Of Measurement Frequencies And Definitions Of The Frequency Signal In The Waveguide With Respect To Power / [Semenets, V.](#), [Zakharov, I.](#), [Serhienko, M.](#), [Kartashov, V.M.](#), [Kolendovska, M.](#), [Hernandez, W.](#), [Hipolito, J.I.N.](#), [Tyrsa, V.](#) // 45th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society, IECON 2019; Lisbon Congress Center Lisbon; Portugal; 14 October 2019 до 17 October 2019; CFP19IEC-ART; Код 155980, Volume 2019-October, October 2019, № 8927203, Pages 4674-4679
18. Spatial-Temporal Processing Of Acoustic Signals Of Unmanned Aerial Vehicles / [Kartashov V.M.](#), [Oleinikov V.N.](#), [Zubkov O.V.](#), [Sheiko S.A.](#), [Kolendovska M.M.](#) // Telecommunications And Radio Engineering (English Translation Of *Elektrosvyaz And Radiotekhnika*), 2020, ISSN Print: 0040-2508, ISSN Online: 1943-6009, DOI: [10.1615/Telecomradeng.v79.i9.40](https://doi.org/10.1615/Telecomradeng.v79.i9.40), p. 769-780
19. Stereoscopic Vision Systems In Machine Vision, Models, And Applications (Book Chapter) / [Ramírez-Hernández, L.R.](#), [Rodríguez-Quiñonez, J.C.](#), [Castro-Toscano, M.J.](#), [Kolendovska, M.](#), [Murrieta-Rico, F.N.](#) // Machine

- Vision And Navigation, 2019 Machine Vision and Navigation 30 September 2019, Pages 241-265
20. The Use of Factorization and Multimode Parametric Spectra in Estimating Frequency and Spectral Parameters of Signal/Semenets, V., Kartashov, V., Sergiyenko, O., ...Rodriguez-Quinonez, J.C., Flores-Fuentes, W.//IEEE International Symposium on Industrial Electronics, 2020, 2020-June, p. 215-219
 21. Use of Acoustic Signature for Detection, Recognition and Direction Finding of Small Unmanned Aerial Vehicles/Kartashov, V., Oleynikov, V., Koryttsev, I., ...Babkin, S., Selieznov, I.//Proceedings - 15th International Conference on Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering, TCSET 2020, 2020, p. 377-380/
 22. Avalos-Gonzalez, D., Sergiyenko, O., Hernandez-Balbuena, D., Tyrsa, V., Kartashov V.M., V., Rivas-Lopes, M., Murrieta-Rico, F.N. Constraints definition and application optimization based on geometric analysis of the frequency measurement method by pulse coincidence// Measurement: Journal of the International Measurement Confederation (USA). 2018, V.126. P. 184-193.
 23. Карташов В.М., Посошенко В.А., Цехмистро Р.И., Тимошенко Л.П., Колендовская М.М. Методы ориентации, навигации и контроля мобильных робототехнических платформ// Радиотехника. (Харьков). 2019. Вып. 199. С. 38-44.
 24. Карташов В.М., Олейников В.Н., Колендовская М.М., Тимошенко Л.П., Капуста А.И., Рыбников Н.В. Комплексование изображений при обнаружении беспилотных летательных аппаратов// Радиотехника. (Харьков). 2020. Вып. 201; С.120-129.
 25. Sytnik O., Kartashov V. Methods and Algorithms for Technical Vision in Radar Introspection. Chapter 13// Optoelectronics in Machine Vision-Based Theories and Applications. IGI Global, 2019; pp. 373-391.
 26. Карташов В.М. и др. Обработка сигналов в радиоэлектронных системах дистанционного мониторинга атмосферы; Харьков: ХНУРЭ, 2014. 312 с.

27. Ситнік О.В., Карташов В.М. Радіотехнічні системи. Навч. посібник. Х.: Сміт, 2009. 448 с.
28. Strelkova T., Kartashov V., Lytyuga A., Strelkov A. Theoretical Methods of Images Processing in Optoelectronic Systems. Chapter 6 // Developing and Applying Optoelectronics in Machine Vision; Oleg Sergiyenko and Julio C. Rodriguez-Quiñonez. (341p.) – USA, Herhey, IGI Global, 2016; pp.180-205.
29. Strelkova T., Kartashov V., Lytyuga A., Strelkov A. Theoretical Methods of Images Processing in Optoelectronic Systems. Chapter 16. // Biometrics: Concepts, Methodologies, Tools, and Applications; Oleg Sergiyenko and Julio C. Rodriguez-Quiñonez. (341p.), IGI Global, 2017; pp. 361-381. DOI: 10.4018/978-1-5225-0983-7.ch016.
30. Developing and Applying Optoelectronics in Machine Vision/ O. Sergiyenko, J.C. Rodriguez-Quiñonez, IGI Global, 2016; 341p.
31. Lindner, L., Sergiyenko, O., Rivas-López, M., (...), Gurko, A., Kartashov, V.M. Machine vision system for UAV navigation; IEEE, 2016 International Conference on Electrical Systems for Aircraft, Railway, Ship Propulsion and Road Vehicles and International Transportation Electrification Conference, ESARS-ITEC, 2016; pp.1–6. DOI: 10.1109/ESARS-ITEC.2016.7841356.
32. Дистанционные методы и средства исследования процессов в атмосфере Земли / Под ред. Б.Л. Кащеева, Е.Г. Прошкина, М.Ф. Лагутина; Харьков: Бизнес Информ, 2002.; 426 с.
33. <https://dnaop.com/html/32164/doc-pravila-ohoroni-praci-pid-chas-budivnictva-remontu-ta-utrimannya-avtomobilynih-dorig>
34. ДСТУ 4100-2002. "Знаки дорожні. Загальні технічні умови. Правила застосування" (далі - ДСТУ 4100-2002).
35. ГОСТ 12.2.061-81. "ССБТ. Оборудование производственное. Общие требования к рабочим местам" (далі – ГОСТ 12.2.061-81).
36. СНИП 2.09.04-87. "Административные и бытовые здания" (далі - СНИП 2.09.04-87).

- 37.ГОСТ 12.1.046-85. "ССБТ. Строительство. Нормы освещения строительных площадок" (далі - ГОСТ 12.1.046-85) і ДБН В.2.5-28-2006. "Природне та штучне освітлення".
- 38.Правила пожежної безпеки в Україні, затверджених наказом Міністерства України з питань надзвичайних ситуацій від 19.10.2004 N 126, зареєстрованих в Міністерстві юстиції України 04.11.2004 за N 1410/10009.
- 39.ГОСТ 19433-88. "Грузы опасные. Классификация и маркировка".

КАФЕДРА МБЖД ХНАДУ

ДОДАТОК А ІЛЮСТРАТИВНИЙ МАТЕРІАЛ ДО ДИПЛОМНОЇ РОБОТИ

КАФЕДРА МБЖД ХНАДУ

Харківський національний автомобільно-дорожній університет
(ХНАДУ)

Механічний факультет

Кафедра метрології та безпеки життєдіяльності

ІЛЮСТРАТИВНИЙ МАТЕРІАЛ ДО ДИПЛОМНОЇ РОБОТИ
бакалавра

ВИЗНАЧЕННЯ МЕТРОЛОГІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК
СИСТЕМИ ВИМІРЮВАННЯ ВІДСТАНИ
ДОРОЖНІХ МАШИН

Завідувач кафедри канд. техн. наук, проф.



О.І. Богатов

Нормоконтролер канд. техн. наук



М.В. Москаленко

Керівник канд. техн. наук



І.О. Серікова

Студентка гр. ММ-41-19



В.О. Надточий

Харків - 2023

Мета роботи бакалавра: визначення метрологічних характеристик системи вимірювання відстані дорожніх машин.

Задачі дослідження:

- огляд існуючих методів визначення відстані до об'єкта;
- аналіз безконтактних методів визначення відстані до об'єкта;
- дослідження лазерного методу визначення відстані до об'єкта;
- розробка системи сканування з активними випромінювачами зі змінними фазами;
- розробка електричної принципової схеми;
- моделювання роботи системи в пакеті PROTEUS;
- визначення метрологічних характеристик.

Об'єкт дослідження – метрологічні характеристики системи визначення відстані дорожніх машин.

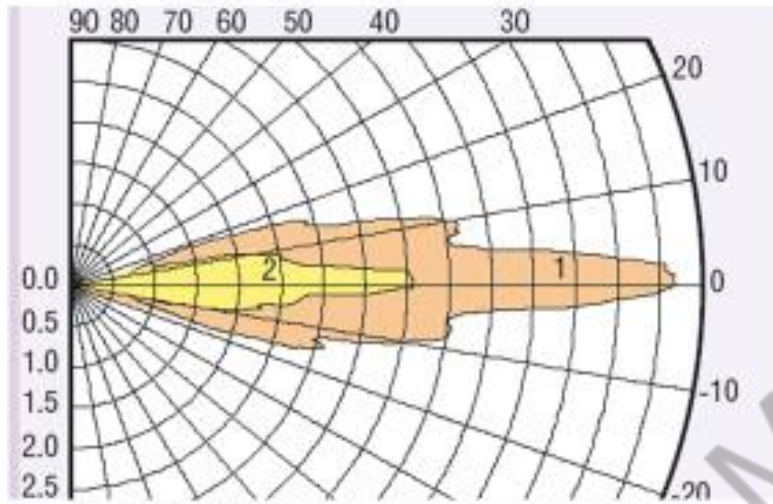
Предмет дослідження – безконтактні методи визначення відстані до об'єкта.





УЛЬТРАЗВУКОВИЙ ПАРКТРОНІК

Діаграма направленості



СТАН ДІСПЛЕЮ

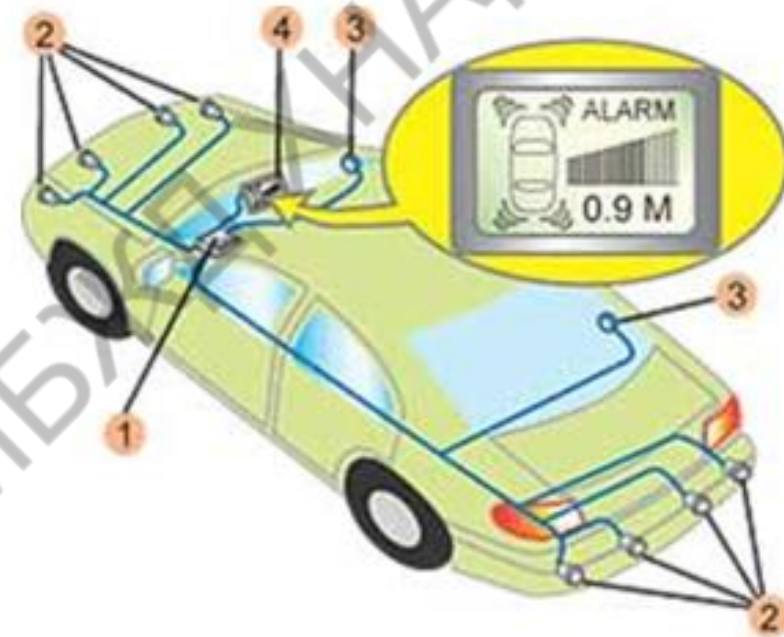
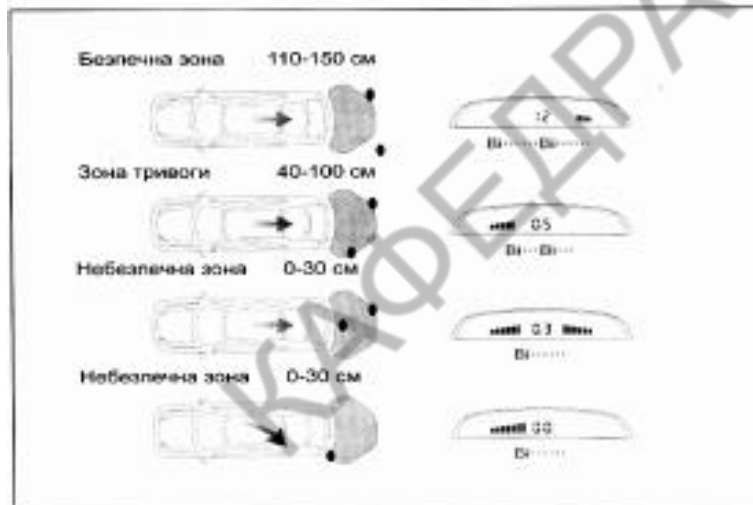
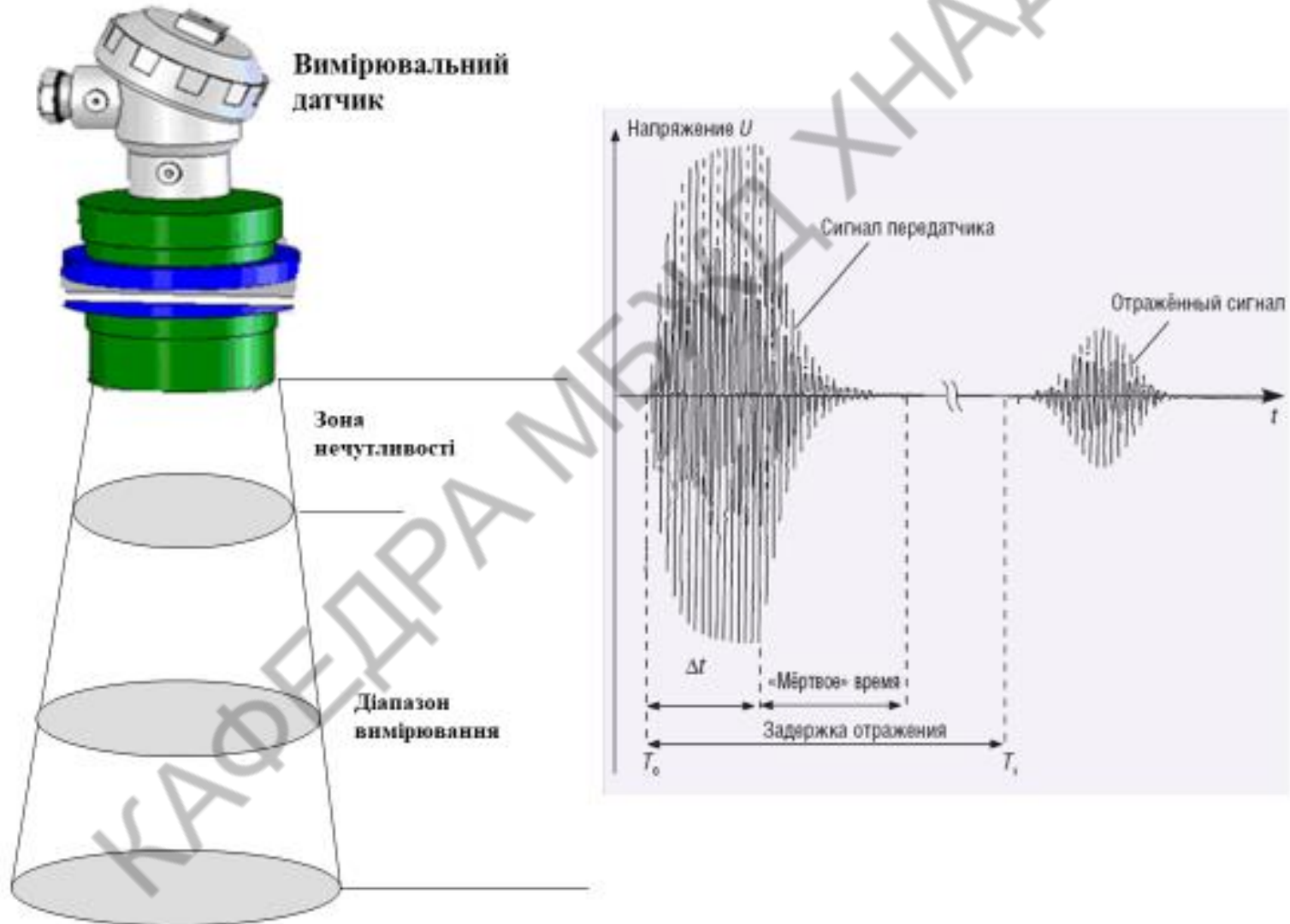


Схема парктроніка, що має вісім датчиків та екран на рідких кристалах:

- 1 — електронний блок;
- 2 — датчики; 3 — звуковий сигнал;
- 4 — екран.

ДЕТЕКТОРНА ХАРАКТЕРИСТИКА ДАТЧИКА ВІДСТАНІ

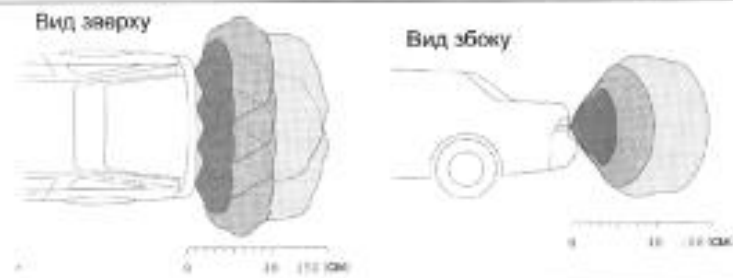


ОБМЕЖЕННЯ ПО ВИЯВЛЕННЮ ПРЕДМЕТІВ УЛЬТРАЗВУКОВИМИ ХВИЛЯМИ

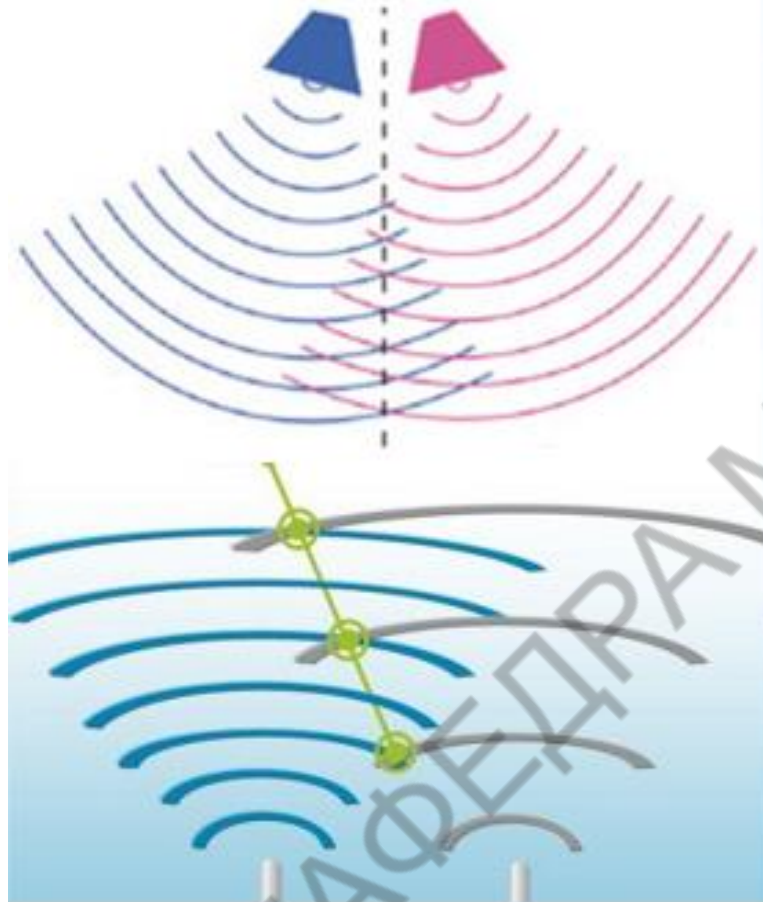


Паркувальна система може не виявити вертикальний стовпчик (а), що знаходиться в "мертвій зоні".

ДІАПАЗОН ДІЇ



ФОРМУВАННЯ ЛУЧА СКАНУВАЛЬНОЇ СИСТЕМИ



Формування луча когерентного складання

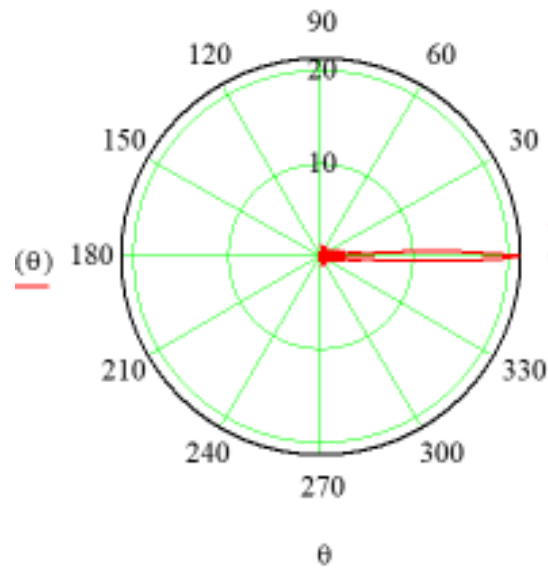


Установка БРЛС з активною фазованою антенною решіткою на багатоцільовому винищувачі

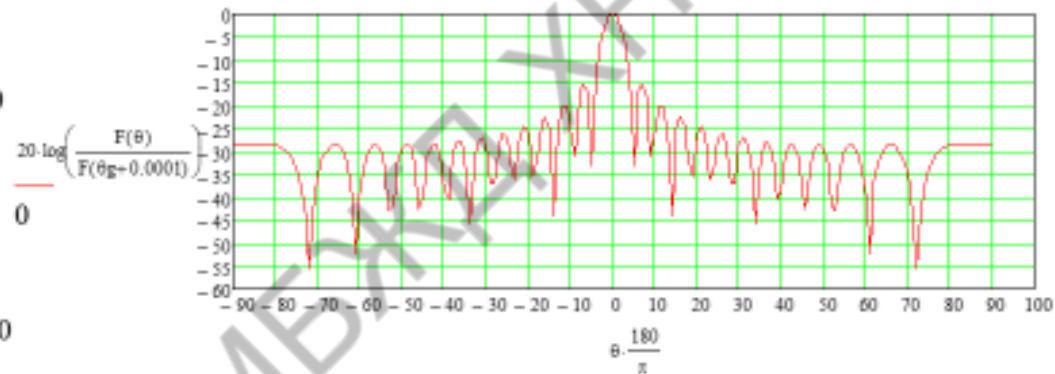


Форма випромінювача ультразвуку

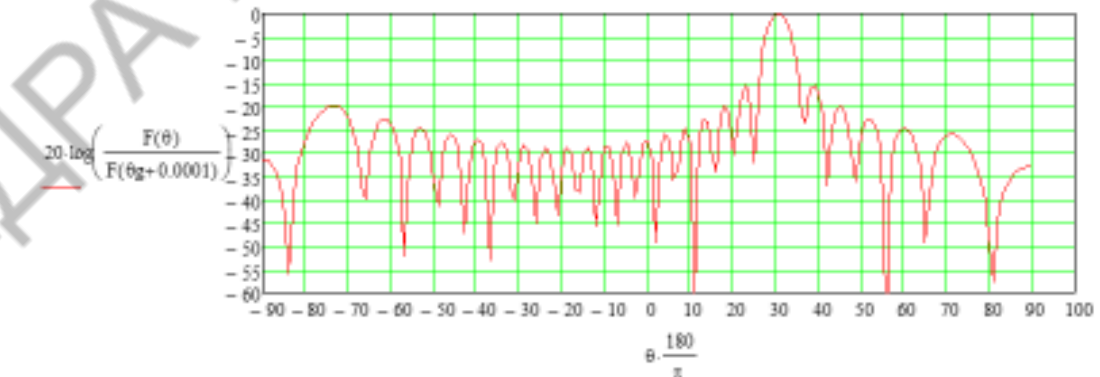
МОДЕЛЮВАННЯ ДІАГРАМИ НАПРАВЛЕНОСТІ АФАР



Діаграма
направленості
максимуму
випромінювання
сигналу



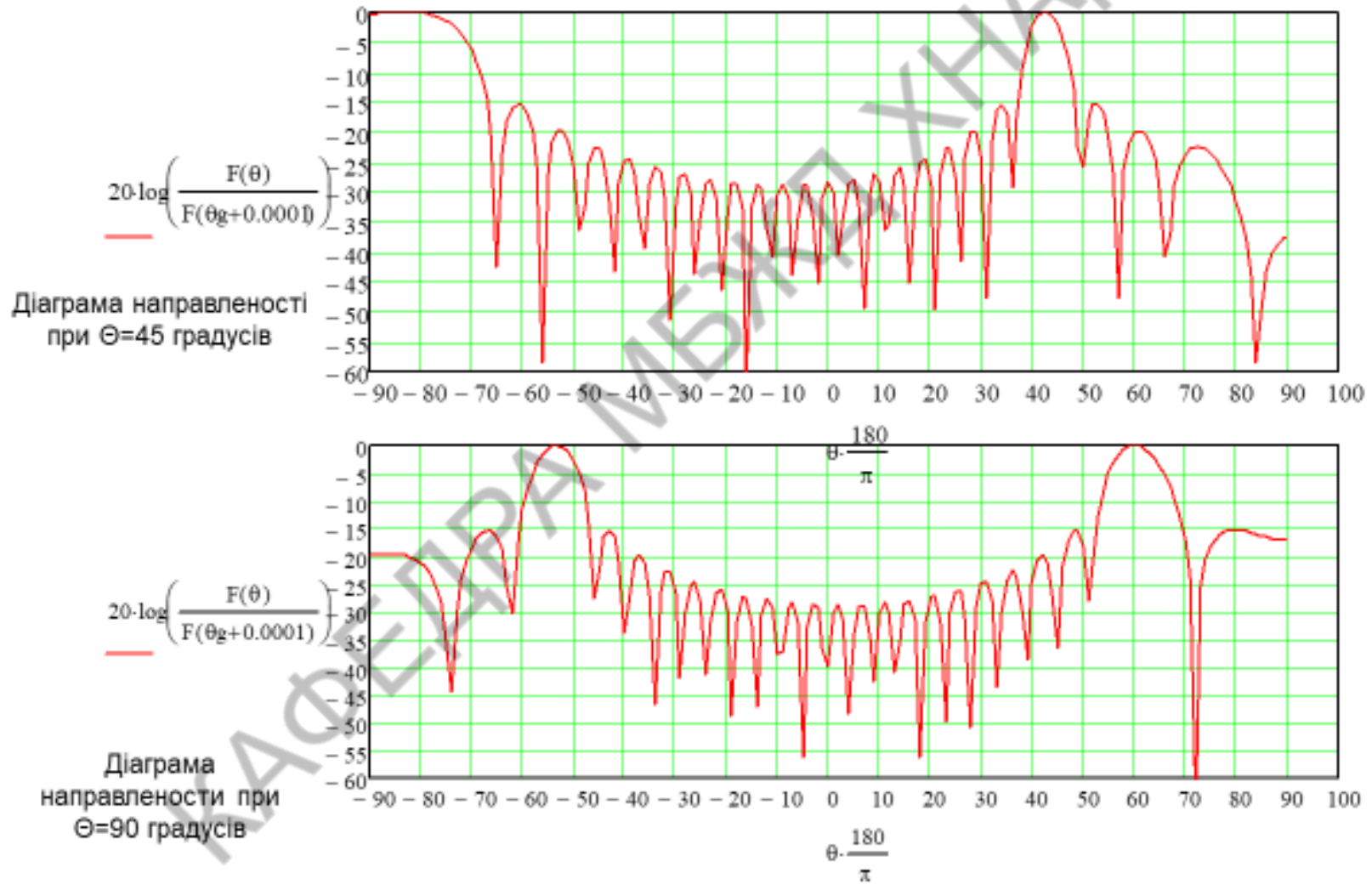
Діаграма направленості при $\Theta = 0$ градусів



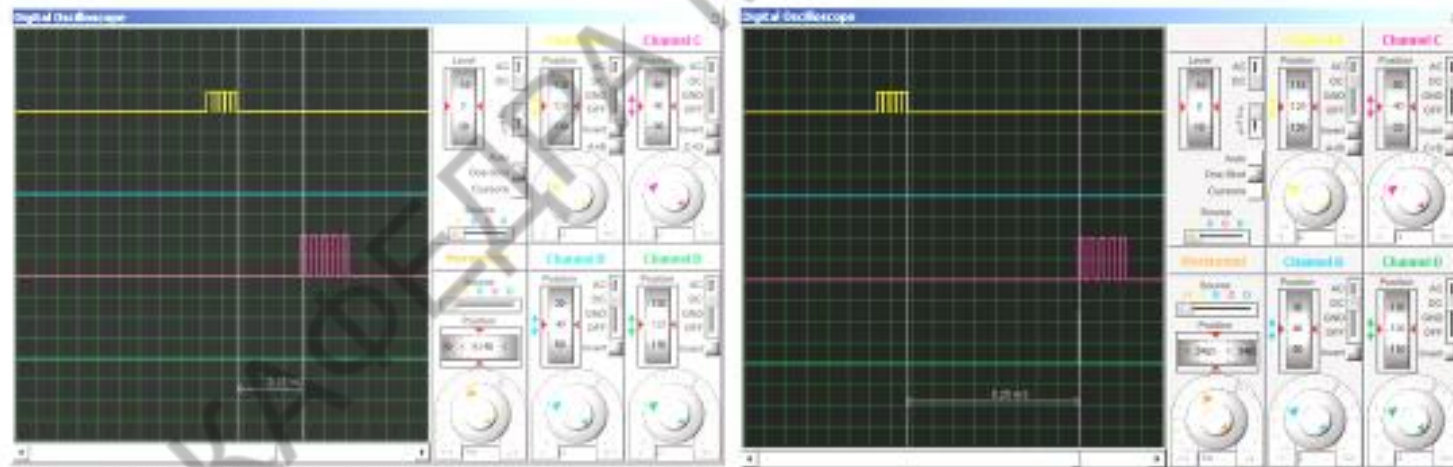
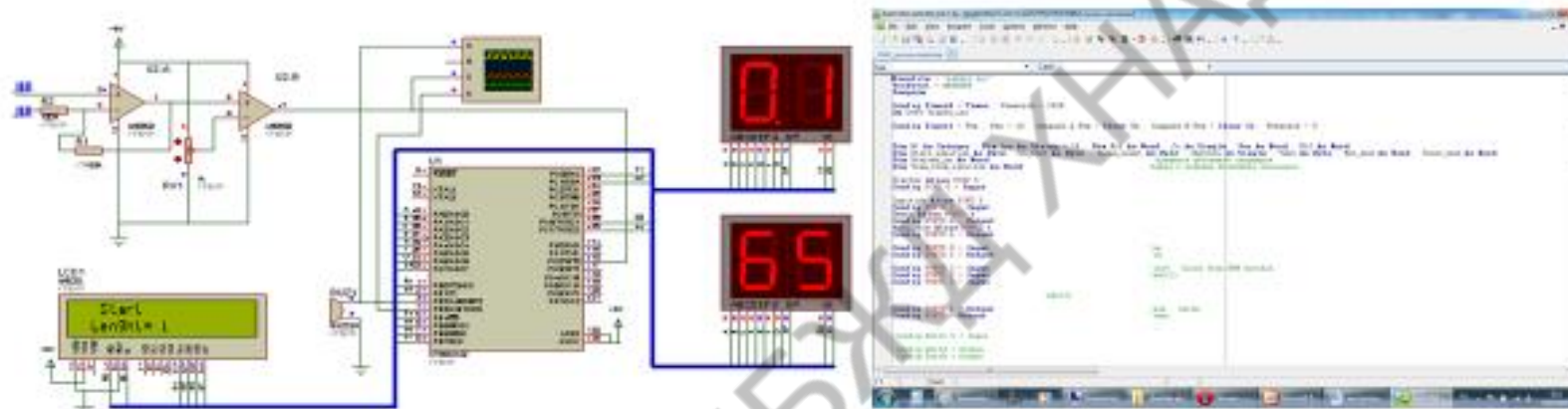
Діаграма направленості при $\Theta = 30$ градусів

Горизонтальна розвертка розподілення амплітуди випромінювання

МОДЕЛЮВАННЯ ДІАГРАМИ НАПРАВЛЕНОСТІ АФАР



МОДЕЛЬ СИСТЕМИ СКАНУВАННЯ



РОБОТА ПРИЙМАЧА ТА ВИПРОМІНЮВАЧА

КОМПОНУВАННЯ СИСТЕМИ ВИМІРЮВАННЯ ВІДСТАНИ



Левий випромінювач



Модуль керування



Правий випромінювач



Номерна рамка для встановлення випромінювачев скануючого модулю

ВИСНОВКИ

У дипломній роботі бакалавра була розроблена система вимірювання відстані дорожніх машин, яка дозволяє суттєво підвищити чутливість скануючого модулю за рахунок застосування випромінювачів зі змінними фазами.

Розроблений датчик, що дозволяє визначити відстань між дорожньою машиною та завадами. Були визначені метрологічні характеристики системи вимірювання відстані та надані рекомендації щодо встановлення датчиків на дорожніх машинах та визначення зони їхньої дії.

В пакеті схемотехнічного моделювання PROTEUS промодельовані різноманітні режими роботи запропонованої системи, що підтвердило попередні розрахунки.

Самодіагностика системи визначення відстані забезпечує високий рівень технічного обслуговування дорожніх машин. Також було розглянуто проблеми достовірності визначення відстані до об'єктів.

У роботі проведено: огляд існуючих методів визначення відстані до об'єкта, аналіз безконтактних методів визначення відстані до об'єкта, обґрунтування вибору безконтактних методів, дослідження лазерного методу визначення відстані до об'єкта та визначені метрологічні характеристики радіохвильового методу сканування електронним променем за рахунок зсуву фаз між активними випромінювачами, що дає можливість досягти заданої точності вимірювання відстані дорожніх машин..