

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Кафедра авіоніки

ДОПУСТИТИ ДО ЗАХИСТУ
Завідувач кафедри

_____ Павлова С.В.
“ _____ ” _____ 2020 р.

ДИПЛОМНА РОБОТА
(ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА)

ВИПУСКНИКА ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ
“МАГІСТР”

Тема: «Лазерний аналізатор чистоти паливно-мастильних матеріалів»

Виконавець: Мілаєнко Ілля Геннадійович
(прізвище, ім'я та по батькові) (підпис, дата)

Керівник: Землянський В.М.
(прізвище та ініціали) (підпис, дата)

Консультанти з окремих розділів пояснювальної записки:

Охорна праці: Козлітін О.О.
(прізвище та ініціали) (підпис, дата)

Охорона навколишнього середовища: Фролов В.Ф.
(прізвище та ініціали) (підпис, дата)

Нормоконтролер: Левківський В.В.
(прізвище та ініціали) (підпис, дата)

НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Навчально-науковий факультет аеронавігації електроніки та телекомунікацій
Кафедра авіоніки

Напрямок (спеціальність) 6.051103 «Авіоніка»
(шифр, найменування)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Павлова С.В.

«_____» _____ 2019р.

ЗАВДАННЯ

на виконання дипломної роботи

Мілаенку Іллі Геннадійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові випускника в родовому відмінку)

1. Тема дипломної роботи: «Лазерний аналізатор чистоти паливно-мастильних матеріалів»

затверджена наказом ректора від «_____» _____ 202__ р. № _____

2. Термін виконання роботи : з _____ по _____

3. Дата подання роботи на випускню кафедру _____.

4. Вихідні дані до роботи : Створення сучасного прототипу лазерного вимірювача розподілу мікрочастинок по розмірам, модернізацію дії пристрою.

5. Зміст пояснювальної записки: Розділ 1: Лазер та його вимірювальні властивості; Розділ 2: Визначення розподілу часток за розмірами; Розділ 3: Розробка нового способу лазерного вимірювання розподілу мікрочастинок по розмірам; Розділ 4: Прототип винаходу; Розділ 5: Охорона праці; Розділ 6: Охорона навколишнього середовища.

6. Перелік обов'язкового графічного (ілюстративного) матеріалу: Зовнішні види лазерів та їх схеми ; структура лезеру ; схема отримання сигналів із зсувом фаз за допомогою призми і діафрагм ; схема отримання сигналів із зсувом фаз за допомогою волоконно-оптичного перетворювача ; структурна схема лазерного інтерферометра.

7. Календарний план-графік

№ пор.	Завдання	Термін виконання	Відмітка про виконання
1	Підбір літератури		
2	Дослідження способів вимірювання розподілу мікрочастинок по розмірам		
3	Аналіз існуючих способів вимірювання розподілу		
4	Пошук матеріалів відносно проектування лазерних пристроїв вимірювання		
5	Дослідження вже існуючих способів вимірювання розподілу мікрочастинок по розмірам		
6	Опрацювання сутності способу та його функцій		
7	Наведення інформації про вимірювальні властивості даного способу		
8	Виведення математичних співвідношень щодо визначення повітряно-швидкісних параметрів за допомогою лазерного вимірювача		
9	Підготовка способу вимірювання та підготовка графічного матеріалу		
10	Оформлення роботи. Подання на кафедру. Усунення недоліків		

8. Дата видачі завдання: “15” Вересня 2020 р.

Керівник дипломної роботи (проекту) _____ Землянський В.М
(підпис керівника) (П.І.Б.)

Завдання прийняв до виконання _____ Мілаєнко І.Г
(підпис випускника) (П.І.Б.)

РЕФЕРАТ

Спосіб вимірювання розподілу часток за розмірами з метрологічної його атестацією в реальному часі. Заснований на зондуванні рухомих частинок з потоком рідини або газу через зону вимірювання, сформовану n -числом пар когерентних лазерних пучків на довжинах хвиль $\lambda_1, \lambda_2 \dots \lambda_n$ пересічних в зоні вимірювання під узгодженими кутами γ_1, γ_2 і γ_n . Прийом розсіяного вивчення здійснюється по-перше в двох напрямках на довжині хвилі $d_1, d_2 \dots d_n$, і також в області симетричного прийому на довжинах хвиль $\lambda_1, \lambda_2 \dots \lambda_n$, для яких виконуються умови формування протифазних високочастотних сигналів, що формуються при фотодетектуванні. В результаті селективної за розмірами частинок $d_1, d_2 \dots d_n$ протифазної просторової фільтрації, здійснюваної на довжинах відповідно хвиль $\lambda_1, \lambda_2 \dots \lambda_n$ формується друга дискретна гістограма розподілу часток за розмірами. На основі збігу результатів вимірювання на довжині хвилі λ_1 , а також на довжинах хвиль $\lambda_1, \lambda_2 \dots \lambda_n$ а саме їх гістограм розподілів, з яких друга є зразковою, відбувається метрологічна атестація першої гістограми розподілу часток за розмірами. прийнятої як результат вимірювання в даний момент часу.

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

- Фп- фотоперетворювач;
- Ус - підсилювач;
- Ф - формувач;
- НПК- пристрій напрямок-переміщення-код;
- СЧ - реверсивний лічильник;
- СУ – погоджуючий пристрій;
- ВУ - обчислювальний пристрій;
- ЦІ - цифрова індикація

ЗМІСТ

Вступ.....	4
<i>РОЗДІЛ 1 Лазер та його вимірювальні властивості</i>	
1.1. Основні типи лазерів.....	8
1.2. Лазер як вимірювальний пристрій.....	12
1.2.1. Вимірювання відстаней і контроль розмірів.....	13
1.2.2. Лазерний вимірювач швидкості.....	28
1.2.3. Вимірювання розмірів виробів.....	31
1.2.4. Вимірювання ступеня чистоти обробки поверхні.....	34
1.2.5 Система виявлення дефектів поверхні.....	37
<i>РОЗДІЛ 2 Визначення розподілу часток за розмірами</i>	
2.1.Метод лазерної дифракції.....	39
2.1.1.Переваги методу дифракції.....	40
2.1.2. Проведення визначення розміру за допомогою дифракції	42
<i>РОЗДІЛ 3 Розробка нового способу лазерного вимірювання розподілу мікрочастинок по розмірам.</i>	
3.1.Сутність способу	45
3.2.Недоліки.....	47
3.3. Рішення поставленої задачі.....	48
3.4. Переваги	55
3.5.Формула винаходу.....	56
<i>РОЗДІЛ 4 Прототип винаходу.</i>	
4.1. Лазерний вимірювач розмірів і дисперсного складу частинок	
4.2. Формула винаходу	
<i>РОЗДІЛ 5 Охорона праці</i>	
5.1. Положення про охорону праці	
5.2. Лазерне випромінювання	
5.3 Біологічна дія лазерного випромінювання.	
5.3.1 Вплив лазерного випромінювання на очі.	
5.3.2. Біологічні ефекти дії лазерного випромінювання на шкіру.	

5.4 Правила безпеки при роботі з лазерами

5.4.1 Засоби індивідуального захисту

РОЗДІЛ 6 *Охорона навколишнього середовища*

6.1. Загальні відомості про охорону навколишнього середовища

6.2. Раціональне природокористування

6.3 Використання лазерного сканування з метою охорони навколишнього середовищ у сучасному світі

Висновки.....58

Список літератури.....59

ВСТУП

Лазер - одне з найбільш яскравих і корисних винаходів ХХ століття, який відкрив перед людством безліч нових напрямків діяльності.

Англійське слово LASER утворено від скорочення «light amplification by stimulated emission of radiation», що в перекладі на російську означає «посилення світла за допомогою вимушеного випромінювання». І тут що ні слово - то прихований фізичний зміст.

Лазерний промінь являє собою когерентний, монохромний, поляризований вузькоспрямований світловий потік. Якщо говорити людською мовою, то це означає наступне:

- Когерентний - тобто такий, де частота випромінювання усіма джерелами синхронна (а треба розуміти, що світло - це електромагнітна хвиля, що випускається атомами і володіє власною частотою).
- Монохромний - значить зосереджений у вузькому діапазоні довжини хвилі.
- Поляризований - володіє спрямованим вектором коливання електромагнітного поля (саме це коливання - і є світлова хвиля).

Одним словом, це промінь світла, що випускається мало того, що синхронними джерелами, так ще й в дуже вузькому діапазоні, причому направлено. Такий собі надзвичайно сконцентрований світловий потік.

Пристрій лазера.

Толку від самого фізичного поняття про лазері було б трохи, якби його не вміли створювати. Основою пристрою служить оптичний квантовий генератор, який, використовуючи електричну, хімічну, теплову або якусь іншу енергію, виробляє лазерний промінь. А виробляє він його за допомогою вимушеного або, як ще кажуть, індукованого випромінювання - тобто коли атом, в який потрапляє фотон (частка світла), не поглинає його, а випромінює ще один фотон, який є точною копією першого (когерентний). Таким чином, відбувається посилення світла.

Лазери як правило складаються з трьох частин:

- Джерело енергії або механізм накачування;
- Робоче тіло;
- Система дзеркал або оптичний резонатор.

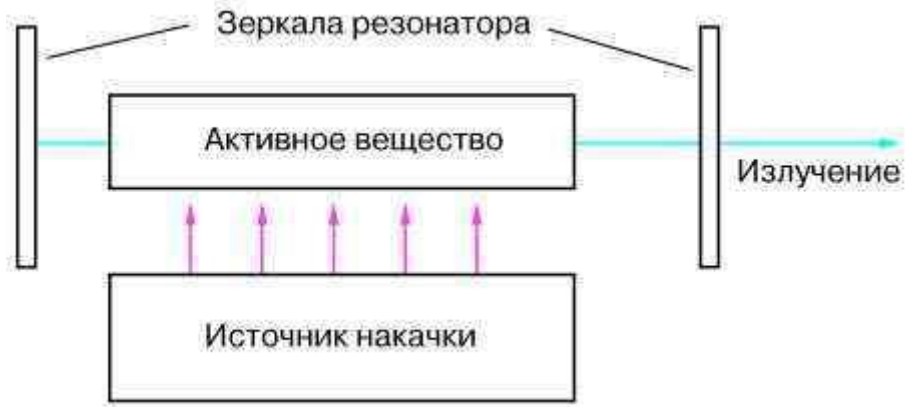


Рис.1.1 Структура лазера

За що відповідає кожна з цих частин:

Джерело енергії, що очевидно з назви, подає необхідну для роботи пристрою енергію. Для лазерів застосовуються різні види енергії, що залежать від того, що саме використовується як робоче тіло. Такий первісної енергією, в числі іншого, може виступати й інше джерело світла, а також електричний розряд, хімічна реакція і т.д. Тут потрібно згадати, що світло - це передача енергії і фотон - не тільки частинка або, кажучи інакше, квант світла, але і частка енергії.

Робоче тіло - це найбільш важлива складова лазера. Воно якраз і є тілом, в якому знаходяться атоми, випромінюють когерентні фотони. Для того, щоб процес випромінювання когерентних фотонів стався, робоче тіло піддається енергетичної накачуванні, яка призводить, грубо кажучи, до того, що велика частина атомів, з яких складається робоче тіло, перейшли в порушену енергетичне стані з спільним знаменником. У цьому стані перехід до зворотного - основному - не порушення стану станеться, якщо через атом пройде фотон, відповідний по своїй енергії різниці між цими двома станами

атома. Таким чином, збуджений атом, при переході в основний стан додає до «пролітає через нього» фотону його точну копію.

Вибір робочого тіла виробляється з міркувань, що диктуються нам тим, що ми хочемо отримати від цього лазера.

Ну і, відповідно, варіантів тут дуже багато: все агрегатні станів (газ, тверде, рідина і навіть плазма), всілякі матеріали, використовуються також і напівпровідники.

Оптичний резонатор - це звичайна система дзеркал, розташованих навколо робочого тіла, адже воно випромінює світло у всіх напрямках, а нам потрібно зібрати в один вузький пучок. Для цієї мети і служить оптичний резонатор. Визначення розмірів частинок зазвичай здійснюється в широкому спектрі галузей і часто цей параметр є критично важливим при виробництві великої кількості продуктів. Визначення розміру часток і розуміння того, як він впливає на процес і кінцевий продукт може бути вкрай важливо для великого числа виробництв.

Застосування лазер знаходить всюди, аби вистачило інженерної думки додуматися як в тих чи інших випадках застосувати цю технологію. Їм є місце і в медицині, і в промисловості, і в побуті, і в військовій справі, і навіть для передачі інформації.

Вимірювання оптичним засобом який зондує лазерним пучком потік не дає чіткі результати, які потрібні у особливо важливих ситуаціях, так як, зміни інтенсивності зондуючого і прийнятого пучків, а також зовнішнього випромінювання який падає на фотодетектор, істотно впливають на його вихідний сигнал. На допомогу нам їде лазерна дифракція.

РОЗДІЛ 1

ЛАЗЕР ТА ЙОГО ВИМІРЮВАЛЬНІ ВЛАСТИВОСТІ

1.1. Основні типи лазерів

Лазери широко використовуються у вимірювальній техніці, через їх високу точність та велику тривалість роботи. Одним з великих плюсів лазера це – те, що ми можемо порахувати виміряти ті області де раніше не змогли би.

В даний час існує велика кількість лазерів різного типу. Вони розрізняються активним середовищем і способом накачування. В якості активного середовища використовуються тверді, рідкі та газоподібні речовини, а з безлічі способів накачування найбільш універсальні оптичний і за допомогою електричного розряду в найактивнішою середовищі. Накачування може бути безперервною і імпульсною. Остання зручна для отримання імпульсного лазерного випромінювання і вигідна тим, що активне середовище менше нагрівається. Лазери широко використовуються у вимірювальній техніці, через їх високу точність та велику тривалість роботи

<i>Кафедра авіоніки</i>				<i>НАУ 19 11 69 000 ПЗ</i>			
<i>Виконав</i>	<i>Мілаєнко І.Г.</i>			РОЗДІЛ 1 Лазер та його вимірювальні властивості	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Акрюшів</i>
<i>Керівник</i>	<i>Землянський В.М.</i>					9	60
<i>Консульт.</i>					6.051103 Авіоніка		
<i>Н-контр.</i>	<i>Левківський В.В.</i>						
<i>Зав. каф.</i>	<i>Павлова С.В.</i>						

Твердотільні лазери

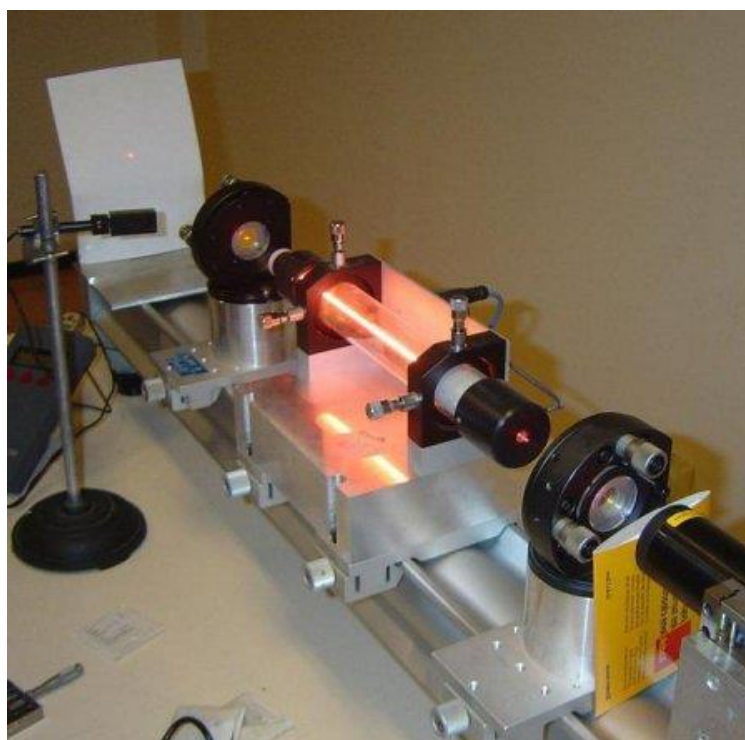


Рис.1.2. Зовнішній вигляд твердотільного лазера

Активним середовищем є діелектричні кристали або спеціальне скло. Можливість лазерного випромінювання існує у декількох сотень різних діелектричних кристалів. Прикладом може служити лазер на рубін. Є історично першим. Рубін є оксид Al з домішкою іонів Cr. Лазер на рубіні дає випромінювання темно-червоного світла $\lambda = 0,69$ мкм. Різні скла для лазерів активують рідкоземельними елементами. Генерується випромінювання у твердотільних лазерів на стеклах в основному має довжину хвилі 1 мкм. Застосовують виключно оптичну накачування. Джерелом накачування може служити допоміжний лазер

Рідинні лазери

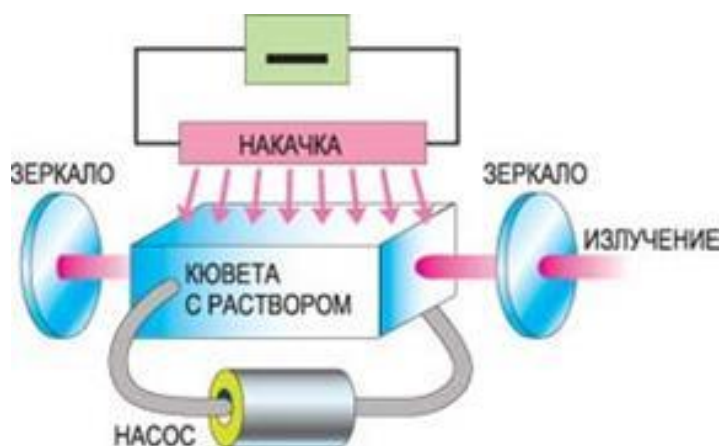


Рис.1.3. Структура рідинного лазера

В якості активного середовища найчастіше використовуються розчини органічних барвників або спеціальної рідини, активовані рідкісноземельними елементами. Відомо кілька сотень різних органічних барвників, придатних для лазерів. Випромінювання з $\lambda = 0,3 \div 1,3$ мкм. Тобто від ультрафіолетового до інфрачервоного. Для рідинних лазерів застосовують безперервну і імпульсну активну накачування, або накачування від газорозрядної лампи.

Газові лазери

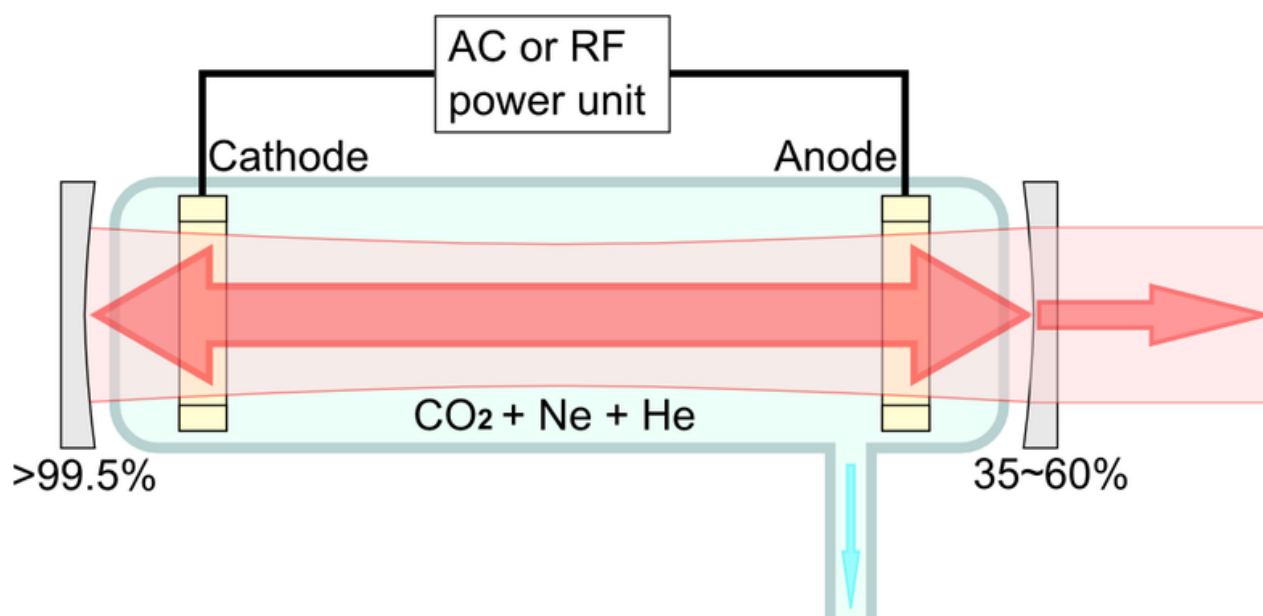


Рис.1.4. Структура газового лазера

Багато різновидів. Одна з них - фотодісоціонний лазер. У ньому застосовується газ, молекули якого під впливом накачування дисоціюють (розпадаються) на 2 частини, одна з яких виявляється в збудженому стані і

використовується для лазерного випромінювання. Велику групу газових лазерів становлять газорозрядні лазери, в яких активним середовищем є розряджений газ. Накачування здійснюється електричним розрядом, тліючим або дуговим, який створюється струмом високої частоти. Є кілька типів газорозрядних лазерів - іонні (випромінювання виходить за рахунок переходів електронів між енергетичними рівнями іонів), на атомних переходах і молекулярні.

Напівпровідникові лазери

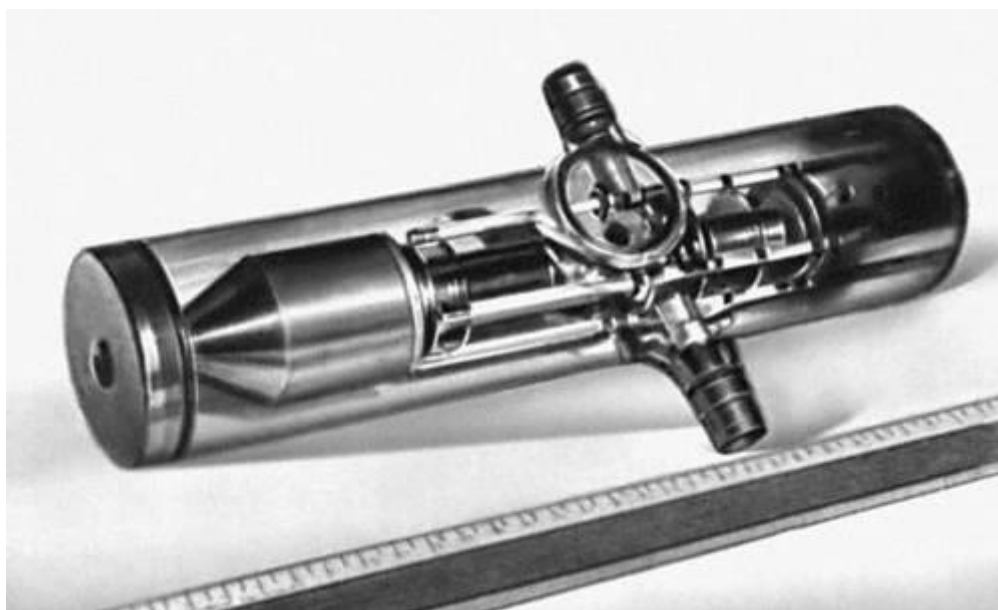


Рис.1.5. Зовнішній вигляд напівпровідникового лазера

Когерентне випромінювання виходить внаслідок переходу електронів з нижнього краю зони провідності на верхній край валентної зони. Існує два типи: 1) Пластина бездомішкового напівпровідника, в якому накачування здійснюється пучком швидких електронів, можлива і оптичне накачування. Як напівпровідника використовується GaAs, CdS, CdSe. Накачування електронним пучком викликає сильне нагрівання напівпровідника, чому лазерне випромінювання погіршує. Лазер на GaAs охолоджують до $T = 80 \text{ K}$. 2)

1.2. Лазер як вимірювальний пристрій

Лазер використовується у великій кількості галузей . Серед яких

- Медицина
- Машинобудування
- Ракетобудування
- Воєнних галузях та багато інших

Його переваги це бистра швидкість реагування, точність, практичність та інше.

Але найбільш корисним для людства він став як пристрій який с великою точністю може визначити будь яку величину яку треба виміряти.

1.2.1. Вимірювання відстаней і контроль розмірів

Лазерні системи широко використовують для визначення відстаней на практиці. Основні лазерні методи з зазначенням ряду областей, в яких ці методи знаходять застосування.

Точне вимірювання відстаней, що не перевищують 100 м, всередині приміщень забезпечується інтерферометричними системами на основі гелій-неонових лазерів. Такі системи придатні для контролю розмірів оброблюваних деталей. У меншій мірі інтерферометричні методи застосовні для вимірювання відстані понад 100 м і для роботи в польових умовах. Часто використовується телеметричний метод, заснований на модуляції світлового пучка. Суть цього методу полягає в тому, що на віддалений об'єкт надсилається модульований світловий пучок і потім приймається відбитий від об'єкта сигнал. Фаза модуляції відбитого сигналу зіставляється з фазою випромінюваного сигналу. Такий метод придатний на відстанях порядку декількох сотень метрів і застосовується при топографічній зйомки.

В інших областях, де важливо забезпечити високу швидкість вимірювань (наприклад, в дальнометрії) і допустима дещо менша точність, можна використовувати методи, засновані на вимірі часу поширення потужного світлового імпульсу малої тривалості від випромінювача до мішені і назад.

На Рис. 1.6. приведена схема світлодальноміра, який складається з генератора Г1 гармонійних коливань, напівпровідникового лазера Г, фотоприймача ФП і фазометра. Випромінювання лазера Г, модульоване по амплітуді, поширюється

до кутового відбивача УО, встановленого на відстані Dx від далекоміра.

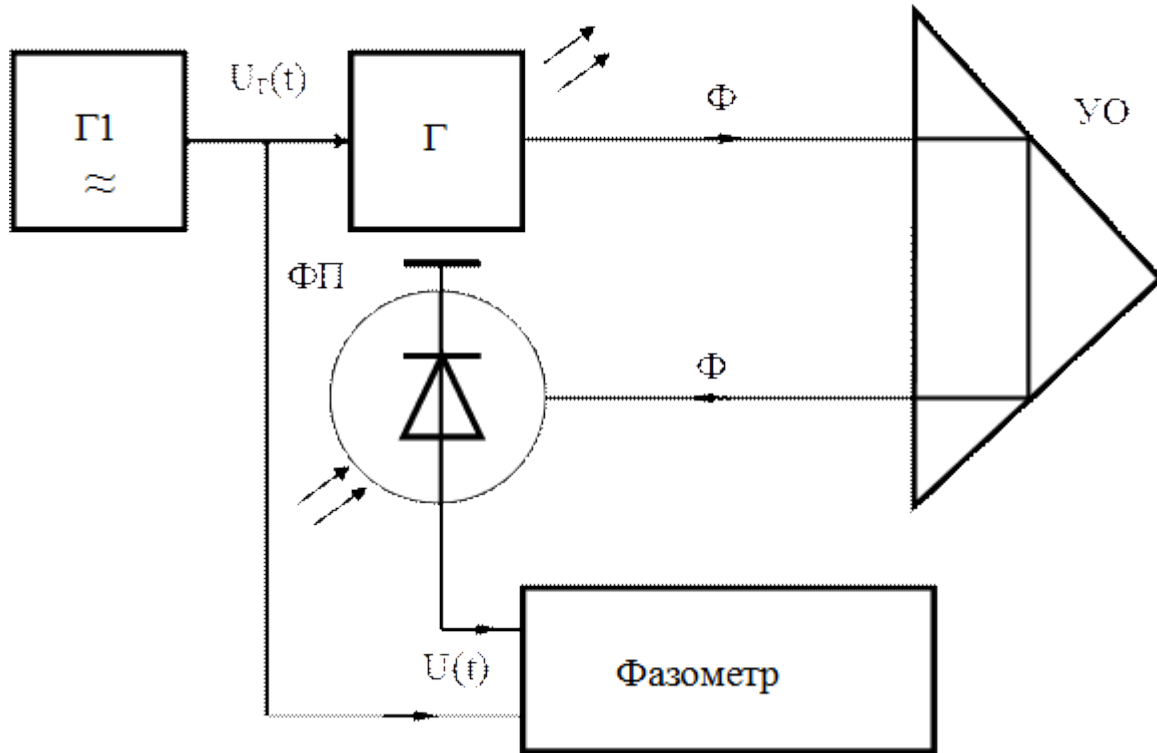


Рис. 1.6. Схема фазового далекоміра

Відбите випромінювання повертається до фотоприймача ФП. Час поширення хвилі до відбивача і назад становить

$$t = 2Dxn / c,$$

де n - показник заломлення середовища;

c - швидкість світла.

За цей час фаза напруги, що живить лазер, зміниться на величину

$$\varphi_x = \omega_0 \cdot t = \omega_0 \cdot 2Dx \cdot n / c,$$

де ω_0 - частота модуляції;

n - показник заломлення середовища.

Зрушення фаз φ_x вимірюється за допомогою фазометра.

Поріг чутливості сучасних промислових високо-частотних фазометрів становить близько $0,1^\circ$, що при частоті модуляції $f_0 = 10$ МГц і

$n \approx 1$ відповідає $Dx_{\min} = 4$ мм. Стабільність результатів вимірювання визначається стабільністю частоти модуляції і постійністю умов на шляху світлового потоку.

Інтерферометричної методи вимірювання відстані

Основні переваги застосування лазерів для вимірювання відстаней інтерферометричними методами пов'язані з такими властивостями лазерного випромінювання, як велика інтенсивність і висока ступінь когерентності. Ці властивості дозволяють проводити вимірювання на відстанях, значно перевищують ті, які доступні системам зі звичайними джерелами світла.

У більшості інтерферометричних систем використовуються гелій-неонові лазери, що працюють на переході з довжиною хвилі 0,6328 мкм, що відповідає частоті 5-10¹⁴ Гц. Випромінювання лазера має володіти такими особливостями: випромінювання має бути одночастотним і когерентним, поляризація випромінювання повинна бути лінійною, склад випромінювання повинен бути одномодовим щодо як поперечних мод, так і коаксіальних поздовжніх мод.

У нестабілізованих лазерах можливі зміни частоти генерації в межах ширини лінії флюоресценції неону, що становить 109 Гц. Це обмежує відносну точність вимірювань (чи не краще $2 \cdot 10^{-6}$), оскільки генерація лазера може здійснюватися на кількох модах, що лежать в межах ширини лінії флюоресценції. Тому, щоб використовувати лазер для інтерферометричних цілей, його необхідно стабілізувати таким чином, щоб частота генерації перебувала в центрі лінії флюоресценції неону. У типовій конструкції, що забезпечує стабільність частоти, в лазері застосовуються дзеркала, жорстко закріплені на моноблочі з інвара, який володіє низьким коефіцієнтом теплового розширення. Для забезпечення додаткової теплової стабільності лазер поміщається в термостат з регульованою температурою. За допомогою сервоприводу довжина резонатора утримується на рівні, відповідному невеликому провалу в потужності генерації, який виникає в тих випадках, коли частота генерації знаходиться в центрі лінії флюоресценції неону. Потужність вихідного випромінювання лазера, що працює на одній поздовжньої моді, змінюється при невеликій зміні довжини його резонатора. При точній настройці частоти генерації на центр лінії флюоресценції спостерігається невелике зниження потужності випромінювання, яке отримало назву лембовського провалу. Система сервоконтролю довжини резонатора на основі

п'єзоелектричних перетворювачів дозволяє стабілізувати частоту генерації в центрі лінії випромінювання. Ступінь досягається при цьому стабільності частоти становить 10^{-9} . Величина, яка вимірюється інтерферометричними приладами, є довжиною оптичного шляху, яка відрізняється від геометричної довжини множителем, рівним показнику заломлення повітря. Для того щоб забезпечити високу точність вимірювання, слід вводити відповідну поправку на величину показника заломлення. Зміни показника заломлення часто є чинником, що обмежує точність вимірювання довжини. Показник заломлення сухого повітря, що містить 0,03% CO₂, при температурі 15 ° C і тиску 760 мм рт. ст. на довжині хвилі гелій-неонового лазера (0,63299138 мкм в вакуумі) становить $n_{dry} = 1,0002765$. Поправки, пов'язані зі зміною вологості, температури

$$(n - 1) = (n_{dry} - 1) \cdot \frac{P}{720,775} \cdot \left[1 + \frac{P(0.817 - 0.0133 \cdot T) \cdot 10^{-6}}{1 + 0.003662 \cdot T} \right] - 5.6079 \cdot 10^{-8} \cdot f$$

де f - парціальний тиск водяної пари при температурі T , ° C і повному атмосферному тиску P , мм рт. ст.

У більшості випадків ефекти, пов'язані зі зміною концентрації CO₂, малі, але в ряді випадків при високому вмісті CO₂ вони можуть приводити до помітної похибки вимірювання.

Відзначимо, що при підвищенні тиску на 1 мм рт. ст. показник заломлення збільшується на $0,36 \cdot 10^{-6}$ стандартного значення. Збільшення температури на 1 ° C викликає зменшення показника заломлення на $0,96 \cdot 10^{-6}$, а підвищення парціального тиску водяної пари на 1 мм рт. ст. знижує показник заломлення на $0,06 \cdot 10^{-6}$ стандартного значення. При відповідному наближенні зазначені поправки можуть враховуватися незалежно.

При перерахунку вимірної довжини оптичного шляху в геометричну довжину необхідно врахувати перераховані поправки. У системах, в яких передбачено автоматичне вимірювання змін тиску, температури і вологості навколишнього повітря, визначаються величини відповідних поправок і

відтворюється відкоригований результат вимірювання. Крім того, слід контролювати температуру рухається деталі і приводити результати до нормальної температури. Практично всі схеми лазерних інтерферометрів будуються по оптичній схемі інтерферометра Майкельсона, який зображений на Рис.1.7.

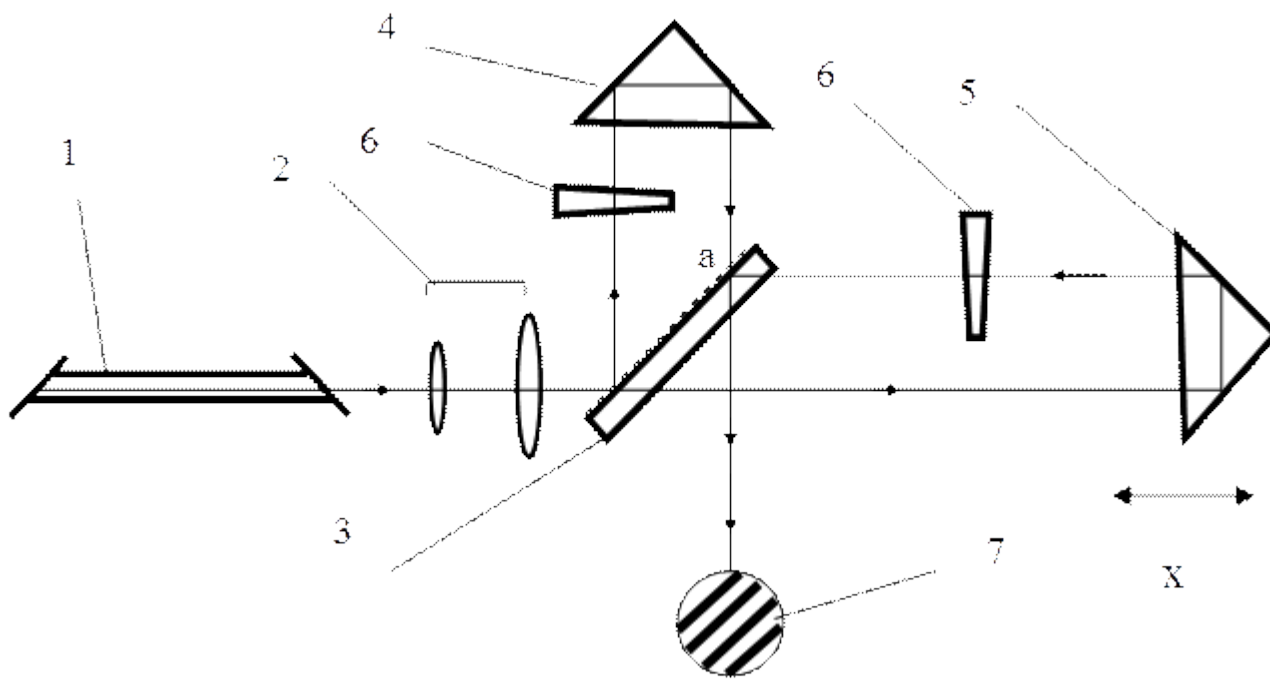


Рис.1.7 . Оптична схема лазерного інтерферометра 1 - лазер; 2 коліimator; 3 – світлоділильний елемент; 4 - опорний кутовий відбивач; 5 - вимірювальний відбивач; 6 - оптичні клини; 7 - інтерференційні смуги

Випромінюванні лазера 1 через коліimator 2 проходить до світлоділильному елементу 3, де ділиться на дві рівні частини. Одна частина відбивається від світло ділильного елементу і направляється до опорного відбивача 4, знову проходить до світлоділильному елементу в точку рекомбенації «а». Друга частина пучка проходить світлоділильний елемент і направляється до вимірювального відбивача 5, відбивається від нього і повертається до світло ділильного елементу в точку «а». У точці «а» пучки інтернують між собою, утворюючи хвильовий фронт у вигляді інтерференційної картини 7. Ширину і напрям інтерференційних смуг регулюють оптичними клинами 6.

Амплітуда світлового випромінювання залежить від відносної фази опорного і вимірювальних пучків, яка, в свою чергу, визначається різницею оптичних

шляхів, пройдених цими пучками. Різниця фаз визначається виразом $\Delta = 2k \cdot s \cdot \cos \Theta$,

де k - коефіцієнт рівний $2\pi / \lambda$;

λ - довжина хвилі;

s - різниця оптичних шляхів;

Θ - кут між напрямком спостереження і загальною віссю обох пучків.

Переміщення вимірювального перетворювача призводить до зміщення інтерференційних смуг. При зміщенні на $\lambda / 2$ повна різниця оптичних шляхів змінюється на λ . Цим пояснюється наявність множника 2 у формулі. Відповідно зміна фази світлової хвилі становить 2π , т. Е. Вся система інтерференційних смуг зміщується на один період. Якщо поставити фотоперетворювач перед інтерференційними смугами, то отримаємо періодичні сигнали, підрахувавши кількість періодів яких, можна і обчислити переміщення вимірювального перетворювача.

Але для визначення напрямку переміщення інтерференційних смуг необхідно отримати як мінімум два сигнали зрушені по фазі на 90 о. Для цього необхідно використовувати як мінімум два фотоприймача.

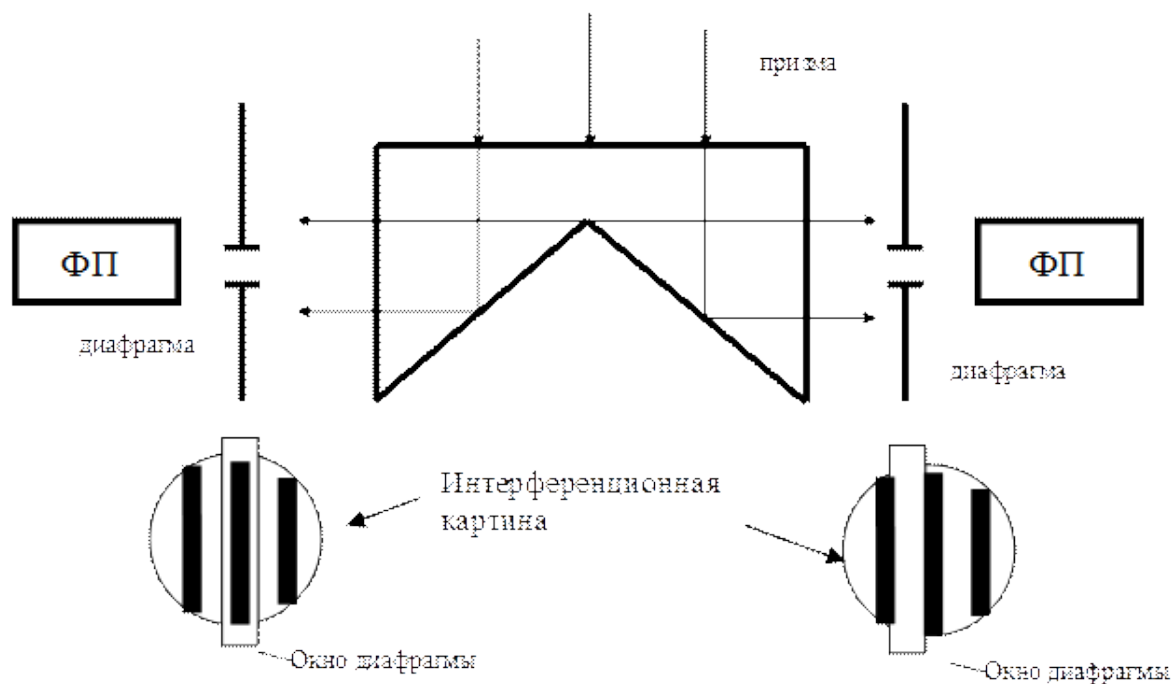


Рис.1.8. Схема отримання сигналів із зсувом фаз за допомогою призми і діафрагм

Інтерференційна картина за допомогою призми ділиться на дві частини. Діафрагмами вирізаються відповідні частини однієї і тієї ж картини, але з умовою, щоб отримався сигнали, зсунуті по фазі на 90° .

Для отримання подібних сигналів можна використовувати волоконно-оптичний перетворювач (Рис.1.9). При такій схемі перетворення і поділу сигналів чутливість лазерного перетворювача становить $0,087 \text{ мкм}$.

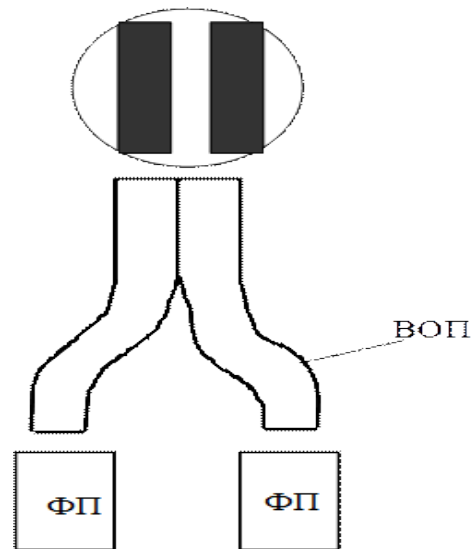


Рис. 1.10. Схема отримання сигналів із зсувом фаз за допомогою волоконно-оптичного перетворювача.

Структурна схема лазерного інтерферометра представлена на малюнку 1.11.

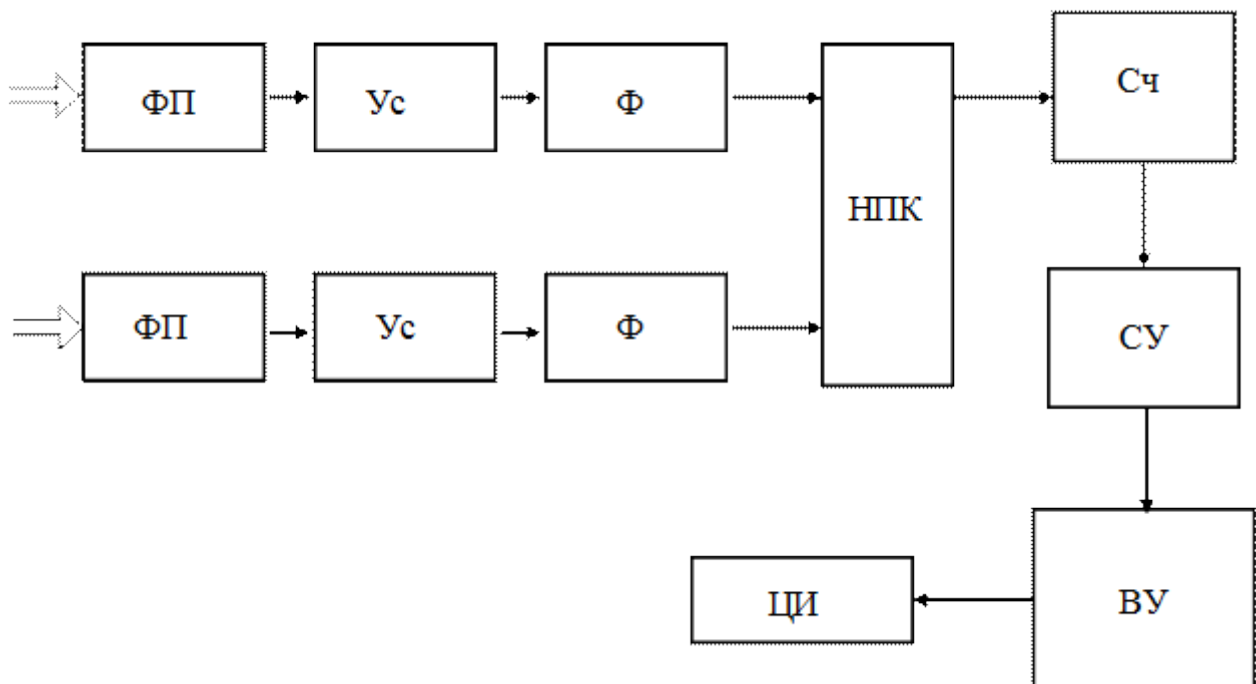


Рис 1.11. Структурна схема лазерного інтерферометра

Фп- фотоперетворювач; Ус - підсилювач; Ф -форміровач; НПК-пристрій
напрямок-переміщення-код; СЧ - реверсивний лічильник; СУ -Згоден пристрій;
ВУ - обчислювальний пристрій; ЦІ - цифрова індикація

З волоконно-оптичних перетворювачів світловий потік потрапляє на
фотоперетворювачів, де перетворюється в періодичні електричні сигнали з
формою, близькою до синусоїдальної. Далі сигнали за допомогою формувачів
перетворюються в прямокутні імпульси з тією ж частотою. Дві серії імпульсних
сигналів зі зрушенням фаз в 90о надходять на пристрій, що визначає напрямок
переміщення інтерференційних смуг, яке крім рахункових імпульсів формують
сигнали, що управляють реверсивним лічильником. Лічильник імпульсів
працює в режимі підсумовування, коли інтерференційні смуги переміщуються в
одну сторону (вимірювальний перетворювач переміщується від
світлорозділяючого елемента), і в режимі віднімання, коли смуги
переміщуються в зворотну сторону (вимірювальний перетворювач
переміщується до світлорозділяючого елемента).

Підраховані імпульси через пристрій узгодження надходять в обчислювальний
пристрій, де кількість імпульсів перетворюється в переміщення вимірювального
перетворювача, виражене в міліметрах. Результат переміщення відображається
на цифровій індикації.

Інтерферометри можуть бути використані для вимірювання кутів з високою точністю. Схема такого інтерферометра представлена на малюнку 1.12.

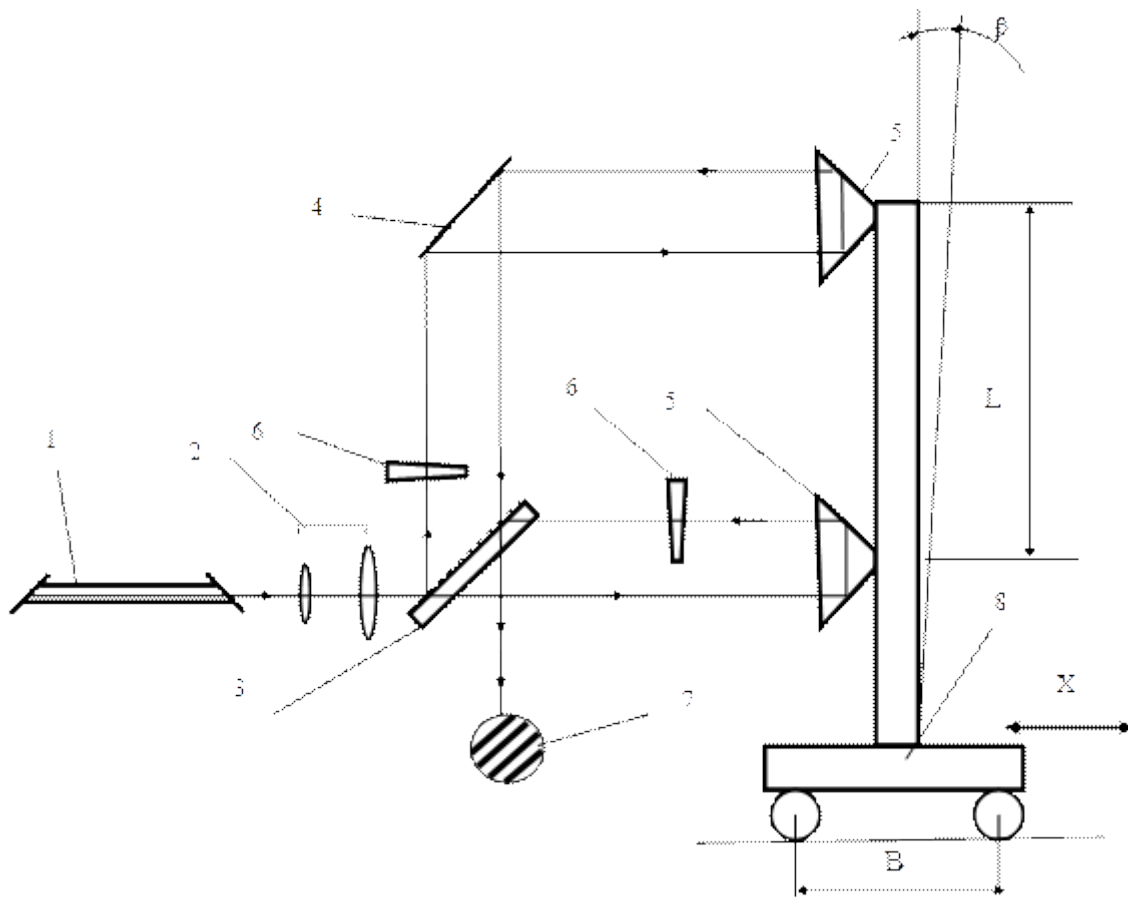


Рис.1.12. Схема використання лазерного інтерферометра для вимірювання кутів
 1 - лазер; 2 - коліматор; 3 - оптичні клини; 4 - поворотний дзеркало; 5 - вимірювальні відбивачі; 6 - оптичні клини; 7 - інтерференційна картина; 8 - вимірювальна каретка

Принцип дії і пристрій аналогічні наведеним на Рис.1.7. з тією різницею, що вимірювальний і опорний відбивач розташований на одній каретці. Нахил каретки призводить до зміни різниці ходу променів в гілках інтерферометра, яке вимірюється системою. Знаючи базове відстань L і відстань між опорами B , можна визначити кут нахилу і таким чином виміряти непаралельність направляючої, по якій котиться каретка.

Інтерферометр може бути використаний і для вимірювання неплщинності. Схема такої установки приведена на Рис.1.13.

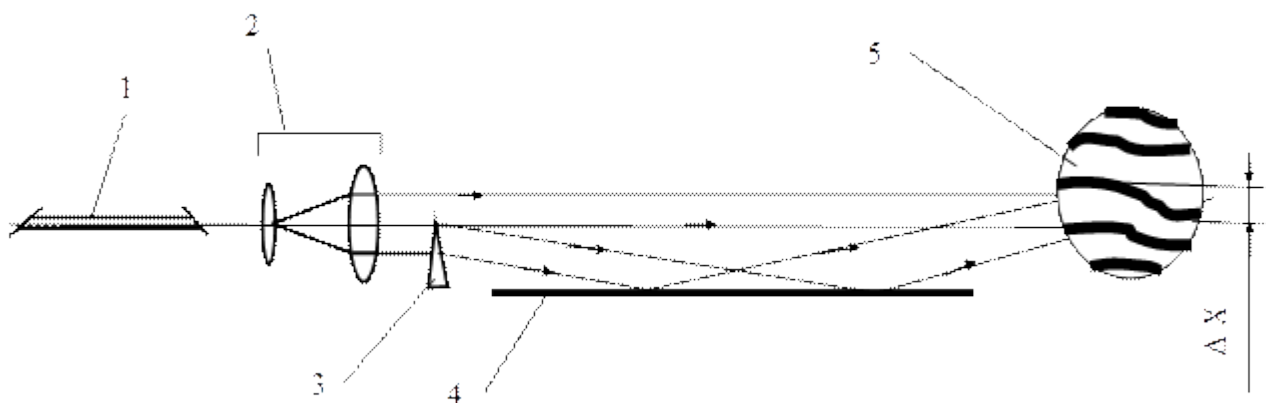


Рис.1.13. - Схема інтерферометричної установки для вимірювання неплщинності

1 - лазер; 2 - коліматор; 3 - оптичний клин; 4 - об'єкт контролю; 5 - інтерференційна картина; ΔX - величина неплщинності

Похибки лазерних інтерферометрів

Розглянемо тепер деякі джерела похибки при вимірюванні відстаней методом лазерної інтерферометрії.

Розглянемо спочатку похибки, обумовлені точністю контрольно-вимірювальної апаратури. Інтерферометричні системи вимірювання відстаней випускаються серійно і в принципі дозволяють здійснити вимірювання з точністю до частки довжини світлової хвилі. Зазначена в паспорті точність деяких приладів складає 10^{-6} вимірюваного відстані плюс або мінус одна інтерференційна смуга. Відносна точність, рівна 10^{-6} , обумовлена перетворювачами і поправками, введеними для корекції впливу навколишнього середовища, а похибка, складова одну інтерференційну смугу, характеризує власне дозвіл системи рахунку інтерференційних смуг. Для більшості систем відлік однієї смуги відповідає $1/4$ довжини хвилі (т. Е. Приблизно $1,6 \cdot 10^{-5}$ см). Інтерферометрична система вимірює зміщення в напрямку поширення лазерного пучка. Якщо ж напрямок руху не збігається з віссю пучка, то в результаті з'являється похибка, яка називається «косінусовою». Так, якщо вісь

пучка становить з напрямком руху кут α , то виміряна величина відстані D_m пов'язана з фактично пройденою відстанню D наступним співвідношенням:

$$D_{ab} = D_m \cdot \cos \alpha \approx d^2 / 2D_m,$$

де d - величина бічного зсуву на відстані D_m .

Так, наприклад, якщо при вимірюванні відстані, рівного 3 м, кут між віссю пучка і напрямком руху верстата становить $0,1^\circ$, то косінусова похибка буде ≈ 5 мкм.

У тих випадках, коли переміщення деталі верстата перевищує 1 м, величину косінусової похибки можна знизити шляхом настройки лазера на максимальний рівень сигналу, що відповідає заданому переміщенню. Також можна використовувати центруючий приймач для того, щоб виставити вісь пучка в напрямку руху верстата.

Похибка зміщення виникає в тих випадках, коли пучок теж не знаходиться на одній лінії з напрямком переміщення різця досліджуваного верстата (Рис.1.14).

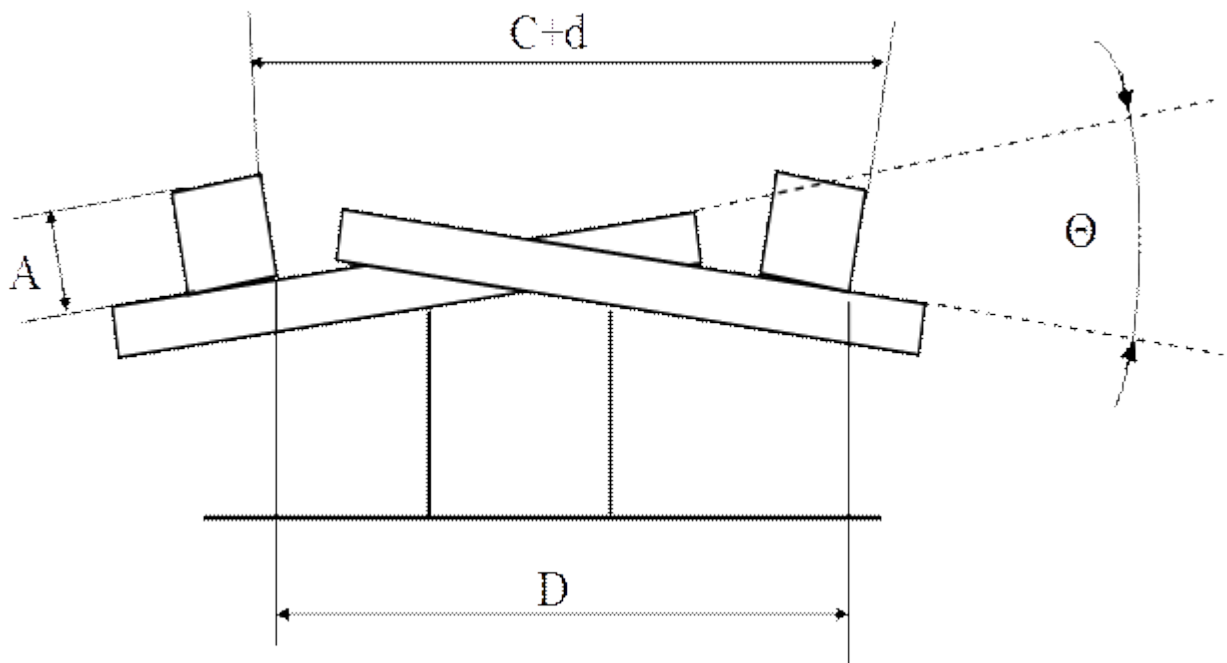


Рис.1.14 Схема виникнення похибки зміщення

A - Відстань між різцем і вимірником; Θ - кут нахилу супорта; D - величина зміщення;

d - похибка зміщення

Ця похибка виникає при будь-якому повороті щодо осі, нормальної до площини зсуву. Повороти обумовлені викривленням напрямних верстата, виникненням температурних градієнтів, забрудненням і зносом верстата і т. П. Величина похибки зсуву визначається наступною формулою:

$$d = A \cdot \sin \Theta,$$

де A - відстань між вимірником і різцем;

Θ - кут нахилу супорта.

Слід зазначити, що величина похибки зсуву не залежить від вимірюваного відстані. При куті нахилу $\Theta = 0,1^\circ$ і зміщення, що дорівнює 254 мм, похибка зсуву становить ~ 43 мкм. Останню можна зменшити шляхом усунення зміщення досліджуваного об'єкта щодо лазерного пучка (якщо це можливо) і вимірювання переміщення об'єкта в напрямку осі вимірювальної системи. У

цьому випадку також може виявитися корисним застосування центру приймача, за допомогою якого безпосередньо визначається величина відхилення.

Установча похибка (або мертвий хід системи) виникає внаслідок того, що в лазерному інтерферометрі відлік вимірюваного відстані проводиться від довільно встановленого положення. Припустимо, що нульовий відлік інтерферометра встановлений для випадку, коли мета знаходилася на відстані D_1 від інтерферометра, а потім перемістив мішень на відстань D_2 . При цьому враховується поправка на показник заломлення атмосфери на трасі довжиною D_2 . Фактично ж пучок проходить відстань, рівну $D_1 + D_2$, і протягом всієї траси на нього впливають зміни показника заломлення середовища. Величина настановної похибки пропорційна заданому відстані і амплітуді зміни показника заломлення. Аналогічні міркування можна висловити щодо компенсації змін температури матеріалу.

Установчу похибка визначають за допомогою наступного виразу:

$$\epsilon_p = D_1 [0,96 \cdot 10^{-6} \cdot \Delta T - 0,36 \cdot 10^{-6} \cdot \Delta P + K_m \cdot \Delta T_m],$$

де D_1 - задану відстань (між інтерферометром і вихідним положенням мішені, обраним за початок відліку);

ΔT - зміна температури повітря за час вимірювання;

ΔP - зміна тиску повітря за цей же час;

K_m - коефіцієнт теплового розширення робочого матеріалу;

ΔT_m зміна температури цього матеріалу за час вимірювання.

З наведеного виразу випливає, що установча похибка виникає і в інтерферометрах, у яких повністю компенсовані зміни показника заломлення атмосфери і частково зміни температури. Компенсації настановної похибки можна домогтися шляхом умовного прийняття заданого початку відліку з подальшим коректуванням. Величина зазначеної похибки може бути зведена до мінімуму також за рахунок наближення (в межі до можливого) оптичних елементів інтерферометра до вихідного положення досліджуваного об'єкта, що рухається. Як приклад можна навести такі дані: при початковому відстані 30 см до оброблюваної деталі з вуглецевої сталі з коефіцієнтом теплового

розширення $K_T \approx 10 \cdot 10^{-6} \text{ см / (см} \cdot \text{ }^\circ\text{C)}$; при зміні температури деталі на $1 \text{ }^\circ\text{C}$ і при сталості тиску і температури атмосфери установча похибка становить $3 \cdot 10^{-4} \text{ см}$.

Методи лазерної інтерферометрії знайшли застосування в різних галузях промисловості.

Точна установка затискних пристосувань при виготовленні деталей авіаційних двигунів. Застосування лазерів забезпечує значне скорочення необхідного часу.

Контроль руху деталей верстатів, що забезпечує автоматичну компенсацію погрешностей, пов'язаних із зносом. Прискорення настановних операцій. На одній з ділянок лазерний інтерферометр використовується при ручному налаштуванні процесу обробки, що проводиться під контролем ЕОМ. Завдання полягає в тому, щоб просвердлити в алюмінієвій плиті довжиною 1,2 м, що має температуру навколишнього середовища $20 \text{ }^\circ\text{C}$, з високим ступенем точності отвору на відстані 101,6 см одне від іншого. Автоматичний облік температури оброблюваної деталі і коефіцієнтів розширення цієї деталі і конструкцій верстата забезпечує на відстані 101,6 см точність, рівну 13 мкм. Програма керуючої ЕОМ допускає проведення зазначених операцій вручну. Оператор планує ріжучим інструментом положення одного з отворів, встановлює інтерферометр на нуль, потім відводить ріжучий інструмент і вручну переміщає верстатний стіл в положення, відповідне наступного отвору. Необхідна ступінь точності може бути забезпечена шляхом визначення положення отворів за допомогою інтерферометра.

Вимірювання рівня вібрації будівель. В одному з випадків будівельники отримали тимчасову діаграму коливань висотної будівлі в м Сан-Франциско в напрямку з півночі на південь за допомогою розташованого на землі лазерного інтерферометра і уголкового відбивача, розміщеного на 42-му поверсі.

Результати таких вимірів дозволяють визначити енергетичний спектр вібрацій будівлі. Вимірювання деформацій земної кори. Так, наприклад: 25-метрові інтерферометри, встановлені поблизу від розлому земної кори в околицях

Бейкерсфілда (шт. Каліфорнія), дозволяють виміряти відносне переміщення кори, що становить 10^{-7} / сут і виникає в результаті руху розлому.

Високоточні вимірювання. Використання лазерних інтерферометрів як відлікових пристроїв вимірювальних система значно підвищує точність даних систем і дозволять проводити вимірювання з відносною похибкою 10^{-6} .

1.2.2. Лазерний вимірювач швидкості

Такі пристрої дуже зручні для вимірювання швидкості твердих тіл, що мають шорстку поверхню. У пристроях використовується так звана плямиста картина (спекл-структура), що виникає при дифузному відображенні лазерного пучка від шорсткою поверхні. При спостереженні такого відображення освітлена майданчик здається вкрита дрібними світловими плямами. Це явище обумовлене дифракцією і інтерференцією в пучку когерентного випромінювання. Відбите від невеликих неоднорідностей, що є на поверхні тіла, випромінювання інтерферує і може привести до виникнення областей з високою локальною інтенсивністю. Ці області представляються спостерігачеві у вигляді яскравих плям. Подібні ефекти адитивної інтерференції виникають нестационарні і при освітленні поверхні звичайними некогерентними джерелами світла, але виникає картина хаотично змінюється за час, мале в порівнянні з тимчасовим дозволом людського зору. Тому поверхню, освітлену звичайним джерелом світла, здається рівномірно освітленою, тоді як поверхня, освітлена когерентним лазерним випромінюванням, має гранульовану, плямисту структуру.

Якщо поверхня, що відбиває рухається відносно спостерігача, то в рух приходить і зазначена плямиста картина. При цьому вся картина переміщується як єдине ціле. Видима швидкість переміщення плям дорівнює подвоєною швидкості відносного руху, що відбиває. Якщо замінити очей людини фотоприймачем з малою апертурою, то при переміщенні одного світлового плями через апертуру на виході приймача буде виникати імпульсний сигнал. Цей факт лежить в основі методу вимірювання швидкості рухомої поверхні. Кількісні вимірювання можна проводити за допомогою апаратури, схема якої приведена на малюнку 3.9. На цьому малюнку світлові плями схематично зображені у вигляді іррегулярного розподілу відбитого світла з яскравими бічними пелюстками. Перед фотоприймачем поміщається дифракційна решітка. Проходження світлої плями дифракційної картини з цієї решітці призводить до виникнення серії імпульсів на виході приймача. Частота проходження

зазначених імпульсів дорівнює $f = 2V / d$, де V -швидкість руху поверхні; d - період решітки.

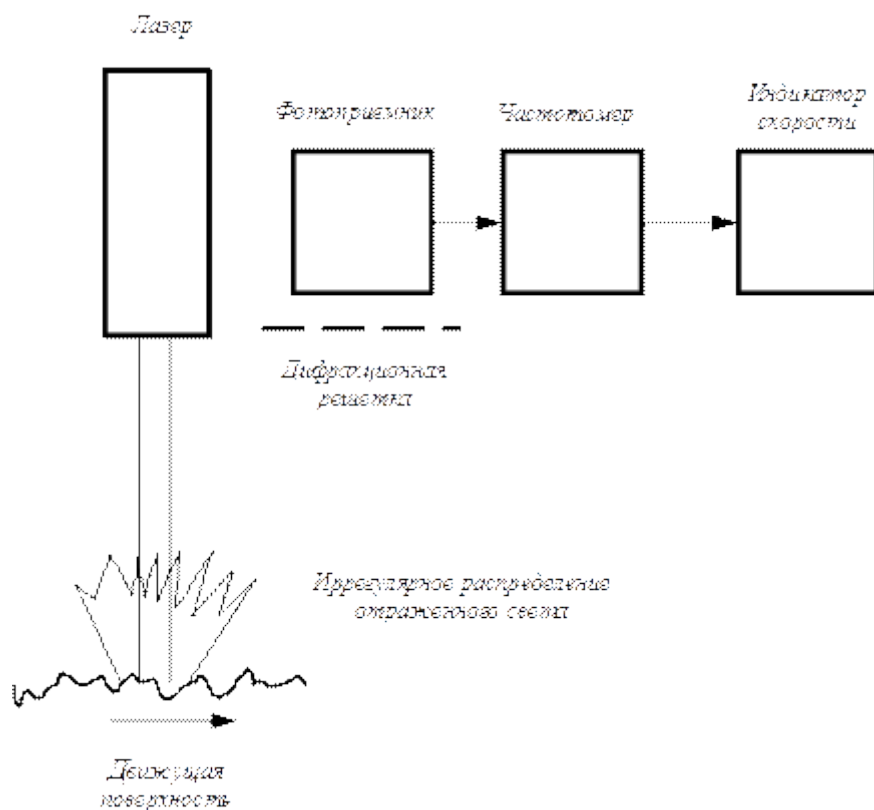


Рис.1.15 - Схема вимірювання швидкості переміщення об'єкта

В процесі вимірювання через решітку проходить велика кількість плям, кожне з яких ініціює серію імпульсів. Фази імпульсів кожної серії розподілені хаотично, але частота проходження імпульсів однакова для всіх серій. Тому для визначення швидкості руху поверхні достатньо лише виміряти центральну частоту вихідного сигналу фотоприймача.

Прилади, що використовують описаний принцип вимірювання швидкості за допомогою оптичної дифракції, можуть служити неконтактними датчиками, які придатні для застосування на поверхнях довільного кольору і будь-якої структури. Згідно з оцінками, точність вимірювання швидкості в інтервалі 15-300 м / хв становить 0,1%. Вимірювачі швидкості даного типу успішно випробувані з різними матеріалами, в числі яких були алюміній, чорніння і полірована сталь, мідний дріт, газетний папір, прозорі і непрозорі пластики, листя, пісок і ґрунт. Їх можна використовувати для вимірювання швидкості транспортних засобів з точністю, вищою, ніж при використанні спеціального

вимірювального колеса. Особливо зручні такі вимірювачі для обслуговування автоматичних оброблювальних ліній, на яких потрібно забезпечити безперервне вимірювання швидкості переміщення або ж довжини виробів. Вони знаходять застосування також для контролю швидкості смуги металу на станах для прокату сталі та алюмінію. В останньому випадку до повітря в прокатному цеху пред'являються додаткові вимоги. Повітря на всій довжині оптичної траси повинен бути досить чистим, а поверхня металу вільною від надлишків рідини. Остання вимога можна задовольнити шляхом здування рідини з опромінюється ділянки поверхні повітряним струменем. Необхідно також врахувати, що точність вимірювання може знизитися в тому випадку, коли прискорення поверхні настільки великі, що швидкість її руху істотно змінюється за час проходження повз дифракційної решітки.

1.2.3 Вимірювання розмірів виробів

Існує багато способів застосування лазерів для вимірювання розмірів оброблюваних деталей і готових виробів. Ряд можливих способів вимірювання розглянуто в попередніх розділах. В даному розділі розглянуто кілька способів вимірювання розмірів готових виробів і проведено порівняння лежать в їх основі принципів. Способи застосування лазерного випромінювання для вимірювання габаритів виробів досить різноманітні. В силу величезного розмаїття видів продукції, що виготовляється і відмінності вимог, що пред'являються при їх контролі, неможливо дати опис якоїсь узагальненої системи. Лазери передбачається використовувати для обстеження самих різних видів продукції. Сюди відносяться вимірювання товщини пластику, гуми і металу; контроль розмірів поршневих кілець, головок циліндрів двигунів, свічок запалювання, компонент системи інжекції палива і пружин дросельної системи в автомобільній промисловості; вимірювання діаметра скляних трубопроводів, паливних елементів і боєприпасів; контроль форми роликів підшипників і штовхачів клапанів двигунів внутрішнього згоряння, а також обстеження харчових продуктів (наприклад, печива і мармеладу). Наведений перелік не вичерпує всіх областей застосування, а лише ілюструє широкі можливості лазерних вимірювальних систем. Природно, що конкретний спосіб застосування лазерної системи у виробництві будь-якого продукту залежить від характеру виробничого процесу і від вимог, що пред'являються до цього продукту. В принципі існують три основні методи вимірювання розмірів:

- метод вимірювання, заснований на перериванні лазерного пучка перетинають його предметом;
- метод вимірювання, заснований на порівнянні розмірів (положення поверхні виробу визначають щодо вимірювальної головки);
- метод вимірювання, заснований на використанні явища дифракції (розглянуто в попередніх розділах в зв'язку з методами вимірювання діаметра волокон і дроту).

Перший з перерахованих методів полягає в тому, що обстежуваний об'єкт поміщається на шляху пучка, яким цей об'єкт сканується. Реєстрація пучка здійснюється фотоприймачем. Вихідний сигнал приймача відсутній протягом проміжку часу, протягом якого пучок переривається об'єктом. В одному з варіантів системи переривання світлового сигналу призводить до формування хроніруючого сигналу. Цифровий відлік, відповідний інтервалу часу між хронірующою сигналами в моменти перетину пучка краями об'єкта, безпосередньо пов'язаний з розмірами об'єкта. Пристрої такого типу дозволяють визначати розміри об'єктів, що швидко деталей або безперервно виготовленої продукції, не вимагаючи при цьому суворої фіксації вимірюваного об'єкта. Результати вимірювання можуть використовуватися для контролю виробничого процесу за допомогою системи зворотного зв'язку. Невелика модифікація системи дозволяє застосовувати її для обстеження профілю об'єкта (шляхом сканування пучка вздовж об'єкта) або визначення ступеня його сферичності (шляхом обертання об'єкта в пучку).

Даний метод найбільш простий для застосування та інтерпретації результатів.

Оскільки просторовий профіль лазерного пучка нерівномірний, потрібно калібрування. Краї пучка не мають різко окресленої кордону, і тому сигнал приймача поступово спадає в часі, коли пучок перетинає край об'єкта.

Порівняльний вимір розмірів полягає у визначенні положення краю об'єкта щодо вимірювальної головки. Використовуючи дві головки, кожна з яких визначає стан різних сторін плоского шару пресованого матеріалу, можна визначити товщину цього матеріалу. Якщо вимірювані вироби рухаються на стрічковому або роликовому транспортері, то в якості опорного рівня можна використовувати положення стрічки. Такий метод вимірювання застосовується в тих випадках, коли необхідний розмір можна визначити з результатів вимірювань положення поверхні.

Дифракційні методи вимірювання мають велику гнучкість і відрізняються високою точністю, проте вони не мають універсальної применимостью по відношенню до виробів різних типів. Зокрема, необхідно розробити систему,

яка дозволяла б вимірювати об'єкти з невеликими розмірами (наприклад, щілини). Великі об'єкти вимірювати важче, ніж об'єкти малих розмірів, тому повний діапазон вимірюваних розмірів виявляється обмеженим.

1.2.4 Вимірювання ступеня чистоти обробки поверхні

В даному розділі розглянуто метод обстеження поверхні, який зручний для виявлення наявних на цій поверхні дефектів. Метод заснований на тому, що дефекти поверхні розсіюють падаюче на них світло.

Різні дефекти поверхні (подряпини, раковини, невеликі горбки і т. П.)

Відбивають світло інакше, ніж ідеальні ділянки поверхні. Розсіяний дефектами світло можна реєструвати звичайним фотоприймачем. Застосування зазначеного методу ускладнюється наявністю відбитого фонового випромінювання і випромінювання, розсіяного від інших ділянок поверхні. На практиці дуже важко розрізнити світло, розсіяне від дефекту, і світло, рівномірно розсіяний у всіх напрямках в результаті спільної шорсткості поверхні.

Один з методів вирішення даної проблеми полягає у висвітленні поверхні похилим пучком світла і використанні просторової фільтрації для придушення дзеркально відбитої компоненти світла. Схема вимірювання наведена на малюнку 3.10. Просторовий фільтр являє собою діафрагму з непрозорою центральною частиною, яка пропускає лише розсіяне випромінювання і пригнічує центральний дифракційний максимум, обумовлений дзеркально відбитої компонентою. На малюнку 3.11 представлені експериментальні результати обстеження поверхні сталевий, пластини з чистотою обробки 0,2 мкм. На поверхні пластини алмазним різцем нанесені подряпини шириною ~ 10 мкм і довжиною 5 мм. Подряпини спрямовані перпендикулярно площині падіння світлового пучка; слід зазначити, що інтенсивність розсіяного світла не дуже сильно залежить від орієнтації подряпин. Наведені результати відносяться до кута падіння 88° , який відповідає в даних умовах максимальної інтенсивності розсіяного сигналу. За допомогою цієї системи можна чітко розрізняти сильно і слабо подряпані поверхні.

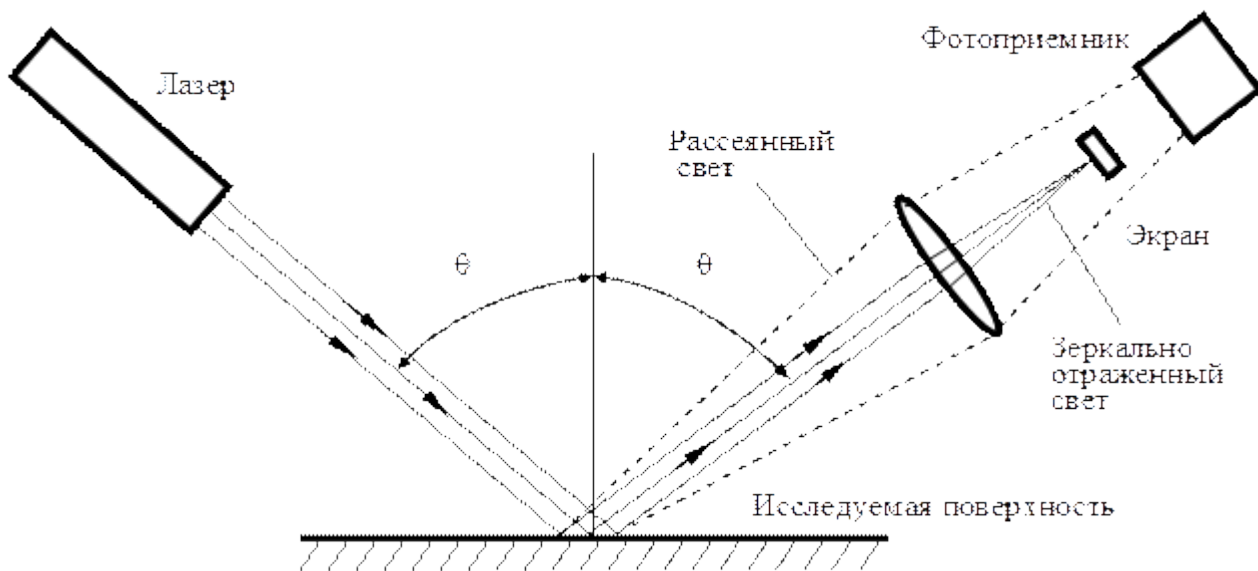


Рис.1.15- Схема вимірювання чистоти обробки поверхні

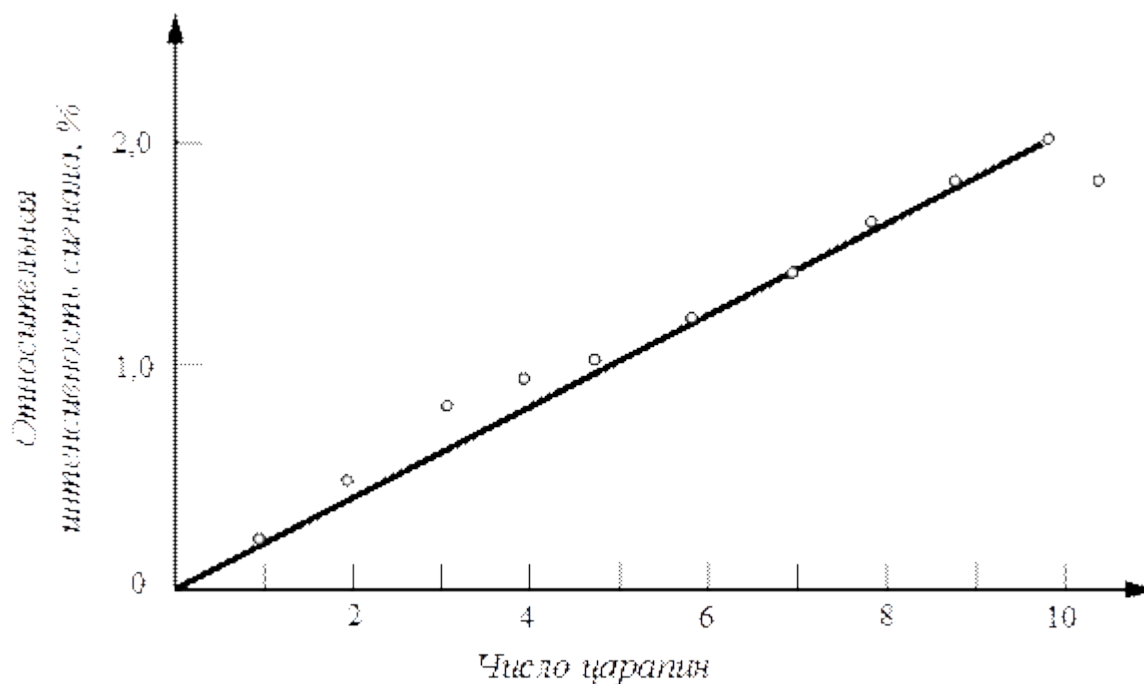


Рис.1.16 - Результати вимірювання за допомогою пристрою, схема якого наведена на Рис.1.15

Модифікована схема вимірювань дозволяє здійснювати сканування поверхні з метою визначення місця розташування дефекту. В даному випадку пучок гелій-

неонового лазера сканується за допомогою осцилюючої дзеркала вздовж прямої лінії, що проходить по рухомій щодо пучка поверхні. Таку систему можна, наприклад, використовувати для виявлення вкраплень золота на поверхні кераміки. Напилені золоті зерна розсіюють під великими кутами значно більше світла, ніж інші ділянки поверхні. За допомогою фотоприймача, що дозволяє реєструвати розсіяний під великими кутами світло, можна ефективно визначати концентрацію і місце положення золотих зерен. Наведені приклади показують, як можна застосовувати лазери при обстеженні поверхні з метою виявлення дефектів. Лазерні системи дозволяють істотно економити час і кошти в тих випадках, коли важлива висока ступінь досконалості поверхні, в порівнянні з візуальними методами контролю під мікроскопом.

1.2.5 Система виявлення дефектів поверхні

Як приклад розглянемо систему виявлення дефектів поверхні, розроблену для 100 процентного контролю боєприпасів малого калібру. Цей приклад ілюструє можливості методів лазерного контролю в тих випадках, коли важко забезпечити автоматичний контроль звичайними засобами, а також ті вимоги, з якими доводиться стикатися при виборі лазерної системи. Цей спосіб може бути застосований також для контролю якості поверхні деталей масового виробництва в тих випадках, коли необхідно забезпечити швидкий контроль, а також для контролю листового матеріалу і невеликих точних виробів (наприклад, деталей автомашин). У описуваної системі розсіювання світла і електрооптичні елементи використовуються для виявлення дефектів на всій поверхні патронних гільз при швидкості контролю, яка перевершує 1200 гільз / хв. Автоматизація контролю поверхні патронних гільз ускладнюється тим, що профіль зазначеної поверхні має кілька стрибків, допустима невисока ступінь чистоти обробки поверхні і зміни забарвлення її окремих ділянок. Пристрій повинен виявляти різні типи дефектів, в тому числі зубці, подряпини, окалину, тріщини в корпусі гільзи, складки металу, зморшки і викривлення форми гільзи, а також зміни форми дульця і капсульного гнізда.

Оскільки гільза має досить складну поверхню, а контроль необхідно провести швидко, бажано використовувати оптичні методи. Незважаючи на велику різноманітність поверхневих дефектів, всі вони можуть бути виявлені за відхиленням розподілу розсіяного світла від нормального. За допомогою циліндричної оптики пучок гелій-неонового лазера трансформується в лінію, яка автоматично стежить за обертається гільзою, укріпленої на периферії механічного маніпулятора револьверного типу. Світло, розсіяний від різних зон поверхні гільзи, збирається за допомогою волоконно-оптичних елементів і передається на використовувані в якості приймачів фотопомножувачі. Потім частотні спектри прийнятих сигналів порівнюються з спектрами сигналів, які надходять в результаті розсіювання на поверхневих дефектах заданого типу

(наприклад, зубцях або подряпинах), і надходять на міні-ЕОМ для прийняття рішення про прийнятність або ж неприпустимість результатів механічної обробки. На кожному ступені контролю власники захоплюють і обертають гільзу. Під час обертання висвітлюється вся поверхня гільзи. Розсіяне світло збирається сукупністю оптичних волокон, які розташовані поза осі дзеркально відбитого пучка. Частотний спектр відбитого світла порівнюється з еталонним спектром сигналу для аналізованого дефекту. Велика величина відносини сигнал / шум для розсіяного на дефектах випромінювання дозволяє використовувати в цифрових пристроях селекції сигналу прості порогові схеми для вироблення сигналу про прийняття або відбракування виробу. Сигнал відбракування пускає в хід виконавчий механізм, вилучати браковану гільзу. За допомогою цієї системи можна обстежити до 1200 гільз / хв.

РОЗДІЛ 2

ВИЗНАЧАННЯ РОЗПОДІЛУ ЧАСТОК ПО РОЗМІРАМ

2.1. Метод лазерної дифракції

Метод лазерної дифракції дозволяє на підставі застосовної моделі світлорозсіювання отримати інформацію про розподіл часток за розміром шляхом вимірювання інтенсивності світлорозсіювання і визначення її залежності від кута розсіювання, довжини хвилі і поляризації світла. Це абсолютний метод, який не потребує калібрування. Лазерна дифракція має низку переваг, включаючи простоту і швидкість вимірювань, високу відтворюваність і широкий динамічний діапазон розмірів, що охоплює майже п'ять порядків величини: від нанометрів до міліметрів.

За останні два десятиліття лазерна дифракція замінила традиційні методи визначення розміру часток: гель-фільтрацію і седиментацію в разі, якщо розмір часток менше декількох міліметрів, оптичну і електронну мікроскопію в разі, якщо розмір часток більше 50 мкм.

<i>Кафедра авіоніки</i>				<i>НАУ 19 11 69 000 ПЗ</i>			
<i>Виконав</i>	<i>Мілаєнко І.Г.</i>			РОЗДІЛ 2 Визначення розподілу часток за розмірами	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Акрюшів</i>
<i>Керівник</i>	<i>Землянський В.М.</i>					40	60
<i>Консульт.</i>					6.051103 Авіоніка		
<i>Н-контр.</i>	<i>Левківський В.В.</i>						
<i>Зав. каф.</i>	<i>Павлова С.В.</i>						

2.1.1. Переваги методу дифракції

Лазерна дифракція - широко застосовувана технологія аналізу розмірів частинок, що підходить для матеріалів, розмір часток яких становить від сотень нанометрів до декількох міліметрів. Головними причинами її успіху є:

- Широкий динамічний діапазон: починаючи від розміру менше мікрона і закінчуючи кількома міліметрами.
- Швидкі вимірювання: отримання результатів менш ніж за хвилину.
- Висока повторюваність - за рахунок аналізу великої кількості частинок в кожному вимірі. Безперервний контроль і управління процесом диспергування частинок.
- Висока продуктивність - сотні вимірювань в день.
- Відсутність необхідності калібрування - проста верифікація здійснюється з використанням еталонних матеріалів.

Принцип дії

Визначення розподілу часток за розмірами методом лазерної дифракції засноване на вимірі кутового розподілу інтенсивності розсіяного світла при проходженні лазерного променя через диспергований зразок. Великі частинки переважно розсіюють світло під малими кутами до лазерному пучку, тоді як дрібні частинки - під великими кутами (див. Нижче). З використанням теорії світлорозсіювання Мі визначають розміри частинок, які формують індикатриси розсіювання, збігається з вимірами даними про кутової залежності інтенсивності розсіяного світла. Розмір частинок виражається у вигляді діаметра сфери еквівалентного обсягу. Оптичні властивості

У лазерної дифракції розрахунок розподілу часток за розмірами виробляють з теорії світлорозсіюванні Мі з використанням моделі сфери еквівалентного обсягу. Теорія Мі вимагає знання оптичних властивостей (коефіцієнта заломлення і поглинання) вимірюваного зразка, так само як і коефіцієнта заломлення дисперсанта.

Оптичні властивості дисперсанта, щодо, легко знайти в публікаціях, до того ж багато сучасні прилади мають вбудовані бази даних поширених дисперсантів. Якщо оптичні властивості зразків невідомі, користувач може або виміряти їх, або скористатися ітеративним підходом, виходячи зі збігу між змодельованими і фактичними даними, отриманими для зразка.

Спрощений підхід - використання наближення Фраунгофера, яке не вимагає знання оптичних властивостей зразка. Воно дозволяє отримати точні результати для великих часток. Однак його слід використовувати з обережністю при роботі зі зразками, які можуть містити частинки розміром менше 50 мкм або відносно прозорі частинки.

Спочатку оцінка розмірів частинок методом лазерної дифракції мала обмеження через застосування теорії дифракції Фраунгофера. Сучасні лазерні дифракційні аналізатори виходять за рамки простих дифракційних ефектів. Основні принципи методу в даний час базуються на теорії Мі і вимірі інтенсивності світлорозсіювання в широкому кутовому діапазоні. Крім того, в разі частинок субмікронних розмірів для отримання додаткової інформації крім лазерів найчастіше використовують не лазерні джерела світла.

2.1.2. Проведення визначення розміру за допомогою дифракції.

Традиційно вимір розміру частки з використанням лазерної дифракції проводилося в діапазоні приблизно від 0,1 мкм до 3 мм. Сучасні прилади здатні розширити цей діапазон завдяки досягненням в розробці лінз і обладнання. У звіті по валідації вказують застосовність методу для здійснення наміченої мети.

Відбір проб. Спосіб проведення відбору проб повинен бути відповідним для отримання репрезентативного зразка відповідного обсягу для вимірювання розміру частки.

Вибір методу диспергування. Метод диспергування повинен відповідати меті вимірювання (окрема частка або група частинок-кластер). Тому використовують або деагломерацію кластерів на окремі частки в максимально можливій мірі, або збереження неушкоджених кластерів, наскільки це можливо.

Для проведення визначення доцільно переконатися, що не відбувається дроблення частинок і що частинки або кластери задовільно дисперговані. Зазвичай це робиться шляхом зміни диспергируючої сили і контролю за викликаним зміною розподілу часток за розмірами. Коли зразок добре диспергирован, а частки не тендітні і не розчинні, то розподіл за розмірами не має значно змінюватися. Крім того, що цікавлять частки можна контролювати візуально або за допомогою мікроскопа. Якщо змінюються умови виробничого процесу (наприклад, кристалізація, подрібнення) випробуваного об'єкта, то застосовність методу необхідно перевірити (наприклад, шляхом мікроскопічного порівняння).

Спреї, аерозолі та рідини з бульбашками газу повинні відмірюють точно, за умови придатності їх концентрації, так як відбір проби або розведення зазвичай змінюють розподіл часток за розмірами.

для диспергування порошків, повинні відповідати таким вимогам:

- бути прозорими при довжині хвилі лазерного випромінювання і практично не містити бульбашок повітря або сторонніх часток;
- мати показник заломлення, відмінний від випробуваного зразка;

не розчиняються випробуваний зразок (чиста рідина або попередньо профільтрована насичений розчин);

не зраджувати розмір випробуваного зразка (наприклад, через розчинення, підвищення розчинності або ефектів рекристалізації); сприяти формуванню і стабільності дисперсії;

не чинити вплив на матеріали, що використовуються в приладі (наприклад, прокладки, з'єднувальні трубки і т.д.);

-Володіє підходящою в'язкістю, що сприяє рециркуляції, перемішування і фільтрації.

Сурфактанти та / або диспергуючі агенти часто використовуються для змочування частки і стабілізації дисперсії. Для слабких кислот і слабких основ буферизування дисперсійних середовищ при низьких і високих значеннях рН відповідно може допомогти в ідентифікації відповідного диспергуючого агента.

Попередня перевірка якості дисперсії може бути виконана візуально або за допомогою мікроскопа. Можна користуватися фракційними зразками, які готують розведенням порції добре перемішаної базової дисперсії. Базові дисперсії отримують шляхом додавання рідини до зразка при постійному перемішуванні - наприклад, скляною паличкою, шпателем або на вихровий мешалке. Особлива увага приділяється репрезентативності порції, відібраної з базової дисперсії; також стежать за тим, щоб не сталося осідання великих частинок.

Оптимізація газової дисперсії. Для аерозолів і сухих порошкових дисперсій може використовуватися стиснений газ, який не містить масел, води та інших частинок. Щоб видалити ці матеріали зі стислого газу, можна використовувати сушарку з фільтром. Будь-яке вакуумне пристосування повинно бути розташоване на такій відстані від вимірювального приладу, щоб не чинити фізичного впливу на процес вимірювання.

Визначення діапазону концентрацій. Щоб встановити прийнятне ставлення сигнал / шум в детекторі, концентрація частинок в дисперсії повинна перевищувати мінімальний рівень. У той же час, щоб уникнути багаторазового

розсіювання, вона повинна бути нижче максимального рівня. На діапазон концентрацій впливає ширина лазерного променя, довжина вимірювальної ділянки, оптичні властивості частинок і чутливість елементів детектора.

Зважаючи на вищевикладене, для визначення відповідного діапазону концентрацій будь-якого типового зразка необхідно виконати вимірювання при різних концентраціях частинок.

РОЗДІЛ 3

РОЗРОБКА НОВОГО СПОСОБУ ЛАЗЕРНОГО ВИМІРЮВАННЯ РОЗПОДІЛУ МІКРОЧАСТИНОК ПО РОЗМІРАМ.

3.1. Сутність способу

Винахід відноситься до вимірювальної техніки. Спосіб може бути використаний для вимірювання і контролю розподілу за розмірами полідисперсних частинок, що рухаються з повітряним або рідким потоком. Відомий оптичний спосіб вимірювання та контролю розподілу мікрочастинок за розмірами [1], заснований на зондуванні потоку лазерним пучком і прийомі розсіяного на частці випромінювання в кінцевій кутовій апертурі з подальшим його фотодетектуванням, в результаті якого формуються відеоімпульс з амплітудою, яка залежить від розміру мікрочастинок. Спосіб має невисоку точність, т.я. зміни інтенсивності зонduючого і розсіяного пучків, а також зовнішнього випромінювання, який падає на фотодетектор, істотно впливають на його вихідний сигнал.

<i>Кафедра авіоники</i>				<i>НАУ 19 11 69 000 ПЗ</i>			
<i>Виконав</i>	<i>Мілаєнко. І.Г.</i>			РОЗДІЛ 3 Розробка нового способу лазерного вимірювання розподілу мікрочастинок по розмірам.	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Акрушіє</i>
<i>Керівник</i>	<i>Землянський В.М.</i>					48	60
<i>Консульт.</i>					7.10737 7.100107		
<i>Н-контр.</i>	<i>Левківський В.В.</i>						
<i>Зав. каф.</i>	<i>Павлова С.В.</i>						

Найбільш близьким за технічною суттю є оптичний фазовий спосіб вимірювання та контролю розподілу за розмірами полідисперсних мікро частинок в повітряному потоці [2], заснований на зондуванні рухомого потоку двома лазерними когерентними пучками на одній довжині хвилі, які формують зону вимірювання в області їх перетину, і прийомі розсіяного випромінювання від мікро частинки в зоні виміру в двох напрямках з подальшими фотодетектуванням цих двох пучків, в результаті якого формуються та виділяються два високочастотних сигнали на одній частоті, різниця фаз між якими залежить від розміру сферически частинок, якщо їх комплексний показник заломлення \hat{m}_c є величина постійна і відома з високою точністю .

3.2. Недоліки

Однак цьому способу [2] притаманні наступні методичні похибки:

- похибка, що виникає при неконтрольованому зміні комплексного показника заломлення як частинки m_c так і середовища m_s в режимі експлуатації пристрою на основі цього способу, а також при технологічному змінінню цих параметрів як для частинок, так і рідкої середовища потоку;
- похибка, що виникає при входженні в зону вимірювання одночасно двох і більше мікрочастинок, що так звана похибка від фактора збігу ;
- похибка, виникаюча при частковому входженні частинки в зону вимірювання, це так звана похибка крайового ефекту.

Крім того, при реалізації способу [2] в пристрої і при його експлуатації, виникають додаткові інструментальні похибки, які мають або адитивний, або мультиплікативний характер, які як відомо призводять до зміщення статичної характеристики пристрою а також змінюють її крутизну.

Зазначені недоліки способу [2] в цих випадках призводять до того, що нормовані точність способу і відповідних пристроїв метрологічно не забезпечуються.

Пропонуемий спосіб усуває вище зазначені недоліки, має більш високу точність і забезпечує виконання умов метрологічної атестації кожного з результатів вимірювання в реальному часі, а також може бути використаний не тільки для повітряних потоків, але і рідких і газоподібних сумішей, включаючи вимір розподілу по розмірам повітряних мікропухирців в рідкому середовищі.

3.3. Рішення поставленої задачі

Поставлена задача вирішується за рахунок того, що в пропонованому способі вимірювання розподілу мікрочастинок за розмірами на відміну від відомого всі частинки, що проходять через зону вимірювання, опромінюються n -числом пар когерентних лазерних пучків на довжинах хвиль $\lambda_1 \lambda_2 \dots \lambda_n$, причому в кожній парі один з пучків зміщується по частоті на фіксовану величину ω_m , крім того всі ці пучки поширюються в одній площині, наприклад в ОУХ, і перетинаються в одній просторової області - зоні вимірювання під відповідними кутами $\gamma_1 \gamma_2 \dots \gamma_n$, які узгоджені між собою, та узгодженні також с довжинами хвиль, бісектриси цих кутів збігаються, потім здійснюють симетричний прийом розсіяного випромінювання селективно на кожній з довжин хвиль $\lambda_1 \lambda_2 \dots \lambda_n$, а також здійснюють протифазну узгоджену з розмірами частинок на $d_1, d_2 \dots d_{n-1} < d_{2\max}$ просторову його фільтрацію і двоканальний прийом з відповідним фотодетектуванням, який забезпечує формування двох протифазних сигналів на частоті $\omega_{m1} = \omega_m + \omega_g$, де ω_g - доплерівській зсув частоти, з подальшим підсумовуванням цих сигналів і виділенням шляхом фільтрації з результуючого сигналу двох його складових, а саме видеоімпульса і радіоімпульса, потім здійснюють логічну обробку цих двох складових, сигналів і формування імпульсів рахунку кількості частинок відповідних фіксованим розміром $d_1, d_2 \dots d_{n-1}$. Якщо спостерігається повна протифазна компенсація радіоімпульсів, то по кожному з каналів прийому на довжинах хвиль $\lambda_1 \lambda_2 \dots \lambda_n$ йде підрахунок числа імпульсів за період вимірювання T , що дозволяє визначити другу дискретну гистограму розподілу для заданих фіксованих розмірів $d_1, d_2 \dots d_{n-1}$ і шляхом її подальшого порівняння з першою гистограммой для цих фіксованих розмірів $d_1, d_2 \dots d_n$ і виконання умов їхньої рівності забезпечити метрологічну атестацію в реальному часі результатів вимірювання відповідній першій гистограмми розподілу часток по розмірами.

Крім того, в пособі використовується лазерний зондуючий пучок на довжинах хвиль λ_1, λ_2 і λ_3 сформований активними іоними центрами аргонного середовища, розміщеного в узгодженому оптичному резонаторі.

Крім того, в способі шляхом вимірювання відмінності частот $\omega_{мл}$ сигналів, сформованих на довжинах хвиль $\lambda_2, \lambda_3 \dots$ визначають швидкісне ковзання частинок різного розміру відносно один одного, а також постійну швидкість руху самого потоку, відповідну швидкості руху частинок з мінімальними розмірами, що знаходяться в області близькою до мінімального розміру d_{1min} . Крім того в способі вектор швидкості потоку s частками рухається через зону вимірювання в напрямку перпендикулярній площині OXY ($\omega_{m1} = \omega_m$).

Суть способу пояснюється блок-схемою, представленої на фіг.1 і фіг.2, де наведен один з варіантів його виконання при використанні лазерного зондуючого пучка на трьох довжинах хвиль λ_1, λ_2 і λ_3 . Фіг. 1 - Блок схема пристрою, що реалізує спосіб вимірювання на довжинах хвиль λ_1, λ_2 і λ_3 . Фиг.2. Блок схема пристрою в системі координат $OXYZ$.

На фіг.1 і фіг.2 прийняті наступні позначення:

1 - лазер, наприклад, аргонний; 2 лазерний пучок, що складається з трьох пучків на довжинах хвиль λ_1, λ_2 і λ_3 ; 3 оптичний блок формування трьох пар лазерних пучків, а саме 4 і 5 на довжині хвилі λ_1 , 6 і 7 - на довжині хвилі λ_2 ; 8 і 9 на довжині хвилі λ_3 ; причому ці пучки перетинаються в зоні вимірювання 10 відповідно під кутами γ_1, γ_2 і γ_3 ; 11 і 13 - розсіяні пучки, що збираються в двох напрямках в кінцевій кутовій апертурі; 12 і 14 - оптоелектронні блоки селективного прийому розсіяного випромінювання на довжині хвилі λ_1 ; 15 - цифровий фазометр; 16 – спеціалізований процесор; 17 - розсіяне випромінювання на трьох довжинах хвиль λ_1, λ_2 і λ_3 ; 18- збираючий об'єктив; 19 - апертурна діафрагма; 20 - оптичний блок селективного поділу прийнятого випромінювання 17 на три пучка 21, 22 і 23 відповідно на довжинах хвиль λ_1, λ_2 і λ_3 ; 24. 25 і 26 –оптоелектронні блоки перетворення відповідно на довжинах хвиль λ_1, λ_2 і λ_3 , . кожен з яких складається з блоків 27, 28 ... 35; 27 - оптичні блоки протифазної просторової фільтрації; 28 і 29 фотоприймачі; 30-блок підсумовування; 31 і 32 відповідно фільтри нижніх і верхніх частот; 33- ключ; 34 блок формування керуючого імпульсу; 35і цифровий лічильник імпульсів; 36

дисплей; 37- блок зондування, в якому знаходяться відповідно: блоки 1 і 3; 38- блок формування першої гістограми, в якому знаходяться відповідно – 12, 14 і 15; 39 - блок формування другої гістограми, в якому знаходяться відповідно - 27,28. 29, 30, 31, 32, 33, 34 і 35; 40 - блок обробки, зберігання і відображення вимірювальної інформації, в якому знаходяться відповідно - 16 і 36; 41 - форсунка зразкового генератора монодисперсного потоку частинок

Сутність запропонованого способу, реалізація якого представлена в варіанті фіг.1 і фіг.2 пояснюється наступним чином. Лазер 1, наприклад аргонівий, випромінює когерентний лазерний пучок 2 на трьох довжинах хвиль λ_1 , λ_2 і λ_3 , який прямує в блок формування шести зондируючих пучків 4 і 5; 6 і 7; 8 і 9. Ці пучки розташовані в площині ОХУ попарно симетрично щодо оптичної осі ОХ і перетинаються в зоні вимірювання 10 відповідно під кутами γ_1 . - пучки 4 і 5; γ_2 - пучки 6 і 7. γ_3 - пучки 8 і 9 .Бісектриси цих кутів γ_1 , γ_2 і γ_3 збігаються з віссю ОХ. Пучки 4,6 і 8 мають фіксований зсув частоти ω_m , тобто в зоні вимірювання, через яку рухається потік газу або рідини з мікрочастинками, створюються три рухаючи з одною швидкістю інтерференційні картини відповідно на довжинах хвиль λ_1 , λ_2 і λ_3 . При русі мікрочастинок через зону вимірювання 10 відбувається розсіювання випромінювання на трьох довжинах хвиль λ_1 , λ_2 і λ_3 в результаті опромінення мікрочастинки трьома парами зондируючих пучків. При використанні n-числа пар лазерних пучків на довжинах хвиль $\lambda_1, \lambda_2 \dots \lambda_n$, розсіювання випромінювання відбувається на n - парах зондируючих пучків, що перетинаються в зоні вимірювання 10 відповідно під кутами $\gamma_1, \gamma_2 \dots \gamma_n$. Розсіяне випромінювання, яке приймається в двох напрямках 11 і 13 і збирани в кінцевих апертурах, направляється на входи блоків селективного прийому 12 і 14 на довжині хвилі λ_1 . на вході яких встановлені інтерференційні світлофільтри на довжині хвилі λ_1 перед кожним фотоприймачем. В результаті оптичного гетероденування на виході цих блоків 12 і 14 формуються, і виділяються радіоімпульси на одній частоті $\omega_{m1} = \omega_m + \omega_g$, де ω_g ; де ω_g доплерівський зсув частоти, який лінійно залежить від величини проекції швидкості руху мікрочастинки V_y з потоком. Різниця фаз

цих двох сигналів залежить від розміру d_i мікрочастинки, а також її комплексного показника заломлення $\dot{m}_ч$ та показника заломлення $\dot{m}_с$ рухомого середовища, а також від прояви як фактора збігу, так і крайового ефекту. Якщо в процесі вимірювання забезпечуються умови при яких $\dot{m}_ч = \text{const}$ і $\dot{m}_с = \text{const}$, то розрахунковим шляхом на основі теорії розсіювання [3] для одночастинного режиму можна вибрати напрямки прийому 11 і 13, а також форму і розмір апертур прийому, при яких різниця фаз двох вихідних сигналів блоків 12 і 14 буде з хорошою для практики точністю лінійно залежати від розміру частки $\Delta\phi = Kd_4$, якщо одна частинка буде проходити в межах зони виміру (крайовий ефекта та фактор збігу в цьому випадку не проявиться). Ця різниця фаз вимірюється цифровим фазометром 15 і далі її цифровий код передається в спеціалізований процесор 16, в якому за час вимірювання T в базі даних формується і зберігається перша гістограма розподілу по розмірами мікрочастинок.

При збереженні за час вимірювання вище зазначених умов вимірювання ця гістограма з високою точністю відповідає реальному розподілу. Якщо спостерігається зміна як $\dot{m}_ч$ і $\dot{m}_с$ (наприклад, під впливом зовнішніх умов), так і суттєвий прояв фактора збігу і крайового ефекту, то перша гістограма вже не відповідає реальному розподілу.

Розсіяне випромінювання 17 збирається об'єктивів 18 в межах апертурної діафрагми 19. Оптична вісь об'єктива 18 збігається з віссю ОХ, тобто реалізується симметричний прийом розсіяного випромінювання на довжинах хвиль λ_1 , λ_2 і λ_3 , при яких спостерігається формування фазово-сполучених високочастотних сигналів [4].

Далі розсіяне випромінювання 17 за допомогою оптичного блоку селективного поділу 20 ділиться на три пучки, формуючи на його виході: пучок 21 на довжині хвилі λ_1 , пучок 22- λ_2 , пучок 23- λ_3 , які направляються на входи відповідних блоків перетворення 24, 25 і 26, кожен з цих блоків включає аналогічні блоки 27, 28... 35і, налаштовані і виконані для роботи з

випромінюванням відповідно на довжинах хвиль λ_1 , λ_2 і λ_3 . Наприклад, блок 26 працює наступним чином.

Нехай через зону вимірювання проходить мікрочастинка розміром d_3 . Розсіяне випромінювання 23 на довжині хвилі λ_3 направляється на вхід оптичного блоку протифазної просторової фільтрації 27 [5], відбиваюча грань якого представляє фазовий просторовий фільтр (ФПФ), а цифровий синтез якого виконаний розрахунковим шляхом [4] для частинки розміром d_3 з відомим значенням $\dot{m}_{ч3}$ і \dot{m}_c . Якщо значення $\dot{m}_{ч3}$ і \dot{m}_c невідомі з високою точністю, то синтез ФПФ здійснюється для d_3 експериментально шляхом розміщення d_3 частинки в середовищі з \dot{m}_c в зоні виміру. Розсіяне випромінювання 23 ділиться блоком 27 на два пучка, а саме пучок 23₁ направляється на фотоприймач 28, а пучок 23₂, направляється на фотоприймач 29. В результаті оптичного гетероденування на виході фотоприймачів формуються сигнали, представляють аддитивну суміш відеоімпульса і радіоімпульсу з частотою $\omega_{m1} = \omega_m + \omega_g$, де ω_g доплеровській зсув частоти. Високочастотні складові цих сигналів знаходяться в протифазі [4], а їх амплітудні значення рівні за величиною (т.к, при налаштуванні блоку це умова досягається за рахунок регулювання коефіцієнта посилення одного з блоків фотоприймача - ФЕУ). Вихідні сигнали блоків фотоприймачів 28 і 29 далі подаються на входи блоку підсумовування 30, вихідний сигнал якого представляє відеоімпульс, тому що високочастотні складові сигналів компенсують один одного при проходженні через зону вимірювання частинки діаметром d_3 , а відеоімпульси підсумовуються тому мають однаковий знак. Якщо проходить інша за розміром частка $d_i \neq d_3$, або частка розміром d_3 але з іншим значенням $\dot{m}_ч$, або в зоні вимірювання одночасно знаходиться більше однієї частинки (фактор збігу), або частинка діаметром d_3 в повному обсязі не входить в зону вимірювання, а тільки її частиною (крайовий ефект), то вихідний сигнал блоку 30 являє аддитивну суміш відеоімпульса і радіоімпульсу, які далі фільтруються відповідно фільтром нижніх частот 31 і фільтром верхніх частот 32. Вихідний сигнал 32 надходить на вхід блоку

формування керуючого імпульсу 34, який спрацьовує і закриває ключ 33, не пропускаючи вихідний імпульс блоку 31 на цифровий лічильник імпульсів 35. Якщо через зону вимірювання проходить мікрочастинка розміром d_3 з розрахунковим параметром \dot{m}_c і при цьому не виявляється фактор збігу і крайовий ефект, то ключ 33 відкривається і імпульс рахунку числа частинок розміром d_3 надходить на вхід лічильника 35. Нехай за час вимірювання T через зону вимірювання проходить N_{03} - число частинок розміром d_3 , в цьому випадку цифровий лічильник зареєструє N_{03} , - число імпульсів. Аналогічно працює блок 24 і цифровий лічильник 352, який видає інформацію про кількість N_{01} частинок діаметром d_1 , що пройшли за час T через зону вимірювання 10. Цей блок 24, який працює на довжині хвилі λ_1 включає оптичний блок протифазної фільтрації, синтезований для частинок d_1 і \dot{m}_c , також по аналогії працюють блоки 25 і 352, які налаштовані і забезпечують отримання інформації про кількість N_{02} ; частинок розміром d_2 . Якщо використовується схема зондування на довжинах хвиль більше ніж три, наприклад, $\lambda_1, \lambda_2 \dots \lambda_5$, то використовуються п'ять відповідних блоків 24_i і 352, які видають інформацію про кількість зареєстрованих мікрочастинок $N_{01} N_{02} N_{03} N_{04} N_{05}$ відповідаючих розмірам $d_1 d_2 d_3 d_4 d_5$. Інформація з виходів 351, 352 355 надходить в процесор 16, де формується друга гістограма дискретного розподілу частинок по розмірах: d_1, d_2, d_3 (в загальному випадку для розмірів $d_1, d_2 \dots d_n$, причому, чим більше число "n" тим точніше спосіб вимірювання), яка є зразковою для поточного моменту циклу вимірювання T , тому що на цю гістограму не робить вплив як фактор збігу, так і крайовий ефект. Далі в 16 відбувається логічне порівняння двох гістограм для обраних розмірів d_1, d_2, d_3 (в загальному випадку для $d_1, d_2 \dots d_n$) і якщо їх значення N_i збігаються в межах нормованої точності, то на дисплеї 36 ви можете бачити першу гістограма розподілу, як пройшла в поточному моменті реального часу метрологічну атестацію (МА). Таким чином в базі даних 16 запам'ятовується тільки ті результати вимірювання, яким проходять МА.

У способі (фіг. 1) можливо також визначати швидкість руху частинок шляхом вимірювання доплерівського зсуву частоти ω_g . Відомо [6], що при високих швидкостях повітряного потоку тільки мікрочастинки дуже малого розміру мають швидкість практично рівну швидкості повітряного потоку, а більші частки рухаються з відставанням від швидкості самого потоку [6], тобто спостерігається швидкісне ковзання щодо потоку і один одного більш великих частинок. Тому якщо в експерименті частоти ω_{di} , які вимірюються в блоках 25 і 26 і відповідають руху більших частинок $d_3 > d_2 > d_1$, відрізняються від частоти ω_{gi} в блоці 24 - налаштованому на мінімальний розмір мікрочастинки d_i , яка рухається з високою точністю за повітряним потоком, то можна вимірювати швидкісне ковзання більш великих частинок відносно один одного при виконанні умов багато хвильового узгодженого зондування [7].

Якщо інформація про швидкість руху мікрочастинок не представляє особливої важливості, то слід направляти потік з частинками в напрямку (фіг.1, фіг. 2) осі OZ, в цьому випадку ω_{gi} для всіх блоків 24, 25 і 26 дорівнює нулю, а радіоімпульси в цих блоках формуються на фіксованій частоті ω_m .

3.4. Переваги

Пропонований спосіб на відміну від [1,2] має більш високу точність вимірювання, може бути використаний не тільки для повітряних потоків, а й газоподібних сумішей, а також рідких середовищ, наприклад, для визначення забруднення мікрочастинками авіаційних палив, в тому числі при дослідженні режимів кавітації в рідких середовищах. При цьому достовірність результатів вимірювання розподілу за розмірами полідисперсних частинок підтверджується метрологічною атестацією кожного результату вимірювання в реальному часі за рахунок того, що в способі використовується протифазні ФПФ селективно узгоджені з розміром d_{4i} і її параметрами \dot{m}_n і \dot{m}_c . Крім того, спосіб дозволяє вимірювати з високою точністю, при виконанні умов узгодженого багатохвильового зондування [7], як швидкість повітряного потоку, так швидкісне ковзання щодо більших частинок.

Для здійснення калібрування пристрою на основі запропонованого способу використовують генератор монодисперсних частинок (фіг. 2), що створює зразкові частки відомого розміру d_{01} властивостей \dot{m}_n , які рухаються зі швидкістю $V = \text{const}$ з повітряним потоком через центр зони вимірювання 10. При цьому розмір зони вимірювання 10 повинен бути узгоджений із середнім відстанню між двома частинками, щоб виключити виникнення похибки від фактора збіги. Якщо для частинок з параметрами d_{4i} і \dot{m}_{ni} генератори зразкових частинок відсутні (що часто зустрічається на практиці), то канал вимірювання 39 (фіг.1.2) на довжинах хвиль $\lambda_1, \lambda_2 \dots \lambda_n$ селективно налаштованих на діаметри частинок $d_1, d_2 \dots d_n$ з високою точністю з допомогою протифазної фазової фільтрації 27, є зразковим для каналу вимірювання 38 і по ньому здійснюють його калібрування, а в режимі експлуатації пристрою (фіг. 1, 2) забезпечує його МА в реальному часу.

3.5. Формула винаходу

Спосіб вимірювання розподілу частинок за розмірами з метрологічної його атестацією в реальному часі, заснований на зондуванні рухомих з газовим або рідким потоком частинок лазерними пучками на довжині хвилі λ_1 з подальшим прийомом розсіяного на частинках випромінювання в двох напрямках і його фотодетектуванням, в результаті якого формуються і виділяються два високочастотних сигналу на одній частоті ω_{m1} , різниця фаз між якими залежить від розміру частинок при фіксованому значенні показників заломлення частинки n_c і рухомого середовища n_s потоку, шляхом вимірювання якої визначають як розмір мікрочастинок, а при подальшій цифровій обробці цієї інформації за час вимірювання T знаходять першу гистограму розподілу частинок за розміром в діапазоні розмірів від d_{1min} до d_{2max} , відрізняються тим, що частинки опромінюються n -числом пар когерентних лазерних пучків па довжинах хвиль $\lambda_1, \lambda_2 \dots \lambda_n$ причому в кожній парі один з пучків зміщується по частоті на фіксовану величину ω_m , всі ці пучки поширюються в одній площині, наприклад ОУХ і перетинаються в одній просторової області - зоні вимірювання під відповідним узгодженням з довжинами хвиль кутами γ_1, γ_2 і γ_n , бісектриси яких збігаються, потім здійснюють симетричний прийом розсіяного випромінювання селективно на кожній з довжин хвиль $\lambda_1, \lambda_2 \dots \lambda_n$ а також протифазну узгоджену за розмірами частинок $d_1, d_2 \dots d_{n-1} < d_{2max}$ просторову його фільтрацію і двоканальний прийом з відповідним фотодетектуванням, що забезпечує формування двох протифазних сигналів на частоті $\omega_{m1} = \omega_m + \omega_g$, де ω_g доплеровській зсув частоти з подальшим підсумовуванням цих сигналів і виділення шляхом фільтрації з результуючого сигналу двох його складових: виділення радіоімпульсу і радіоімпульсу, потім здійснюють логічну обробку цих двох складових сигналів і формування імпульсів рахунку кількості частинок відповідних фіксованим розмірам $d_1, d_2 \dots d_{n-1}$, якщо спостерігається повна протифазна компенсація радіоімпульсів, то по кожному з каналів прийому на довжинах хвиль $\lambda_1, \lambda_2 \dots \lambda_n$. іде підрахунок числа імпульсів за період вимірювання T , що дозволяє визначити другу дискретну гистограму

розподілу для заданих фіксованих розмірів $d_1, d_2 \dots d_{n-1}$ і шляхом її подальшого порівняння з першою гистограммою для цих фіксованих розмірів $d_1, d_2 \dots d_n$ і виконання їх рівності забезпечити метрологічну атестацію в реальному часі результатів вимірювання відповідної першої гистограм розподілу часток по розмірами.

Спосіб за п.1., що відрізняється тим, що використовується лазерний зондуючий пучок на довжинах хвиль $\lambda_1, \lambda_2 \dots \lambda_3$, сформований активними центрами іонів аргонного середовища, розміщеного в узгодженому оптичному резонаторі.

Спосіб за п.1., що відрізняється тим, що шляхом вимірювання відмінності частот ω_{ml} сигналів, сформованих на довжинах хвиль $\lambda_1, \lambda_2 \dots \lambda_n$, визначають швидкісне ковзання частинок різного розміру відносно один одного, а також постійну швидкість руху самого потоку, відповідну швидкості руху частинок з мінімальними розмірами, що знаходяться в області близькою до розміру d_{1min}

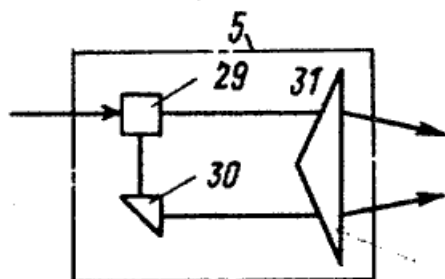
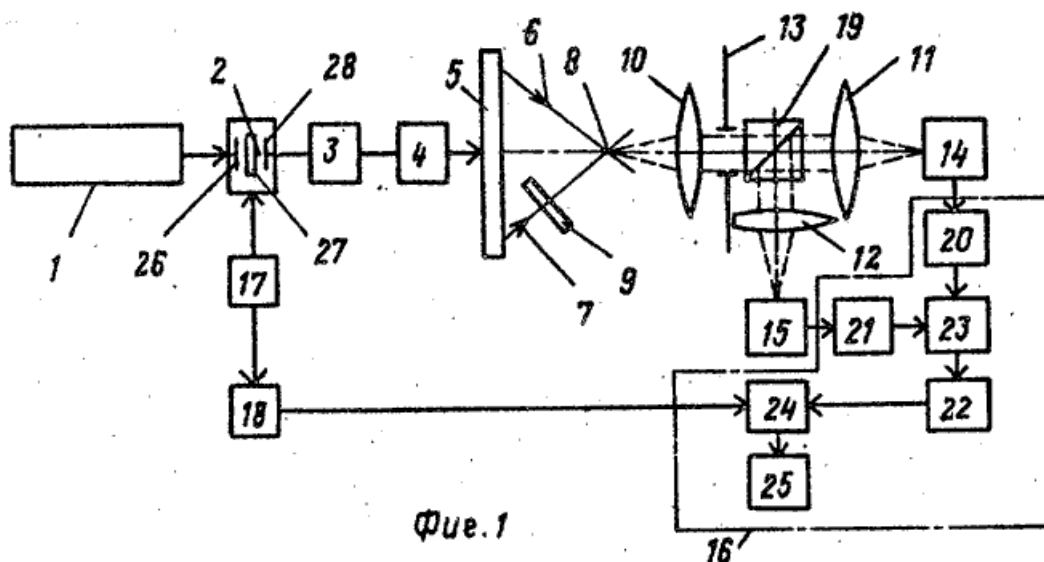
Спосіб за п.1., що відрізняється тим що, вектор швидкості потоку з частинками рухається через зону вимірювання в напрямку перпендикулярному площині ОХУ ($\omega_{m1} = \omega_m$).

РОЗДІЛ 4

ПРОТОТИП ВІНАХОДУ

4.1. Лазерний вимірювач розмірів і дисперсного складу частинок

Винахід відноситься до вимірювальної техніки і може бути використано для вимірювання розміру і дисперсного складу твердих частинок, присутніх в рідкому або газоподібному середовищі, оптичними засобами. Мета, винаходу - підвищення завадостійкості, чутливості і точності вимірювання розмірів і дисперсного складу частинок. На Фіг.1 зображена блок-схема лазерного вимірювача розмірів і дисперсного складу частинок; на Фіг.2 блок-схема розщеплювача.



Кафедра авіоніки

НАУ 19 14 47 000 ПЗ

Виконав	Овенко А.В.			РОЗРОБКА БАГАТОХВИЛЬОВОГО ЛАЗЕРНОГО ВИМІРЮВАЧА КУТА АТАКИ ТА КОВЗАННЯ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ	Літ.	Арк.	Акрушіє
Керівник	Землянський В.М					71	
Консульт.					6.051103 «Авіоніка»		
Н-контр.	Леєківський В.В						
Зав. каф.	Павлова С.В.						

Лазерний вимірювач розмірів і дисперсного складу частинок містить лазер 1, що випромінює на частоті f_0 , частото-сдвигаючий блок 2, блок 3 оптичної корекції, коліматор 4, розщеплювач 5, яка формує два світлових пучка 6 і 7 рівної інтенсивності, що перетинаються в зоні 8 вимірювань, напівхвильової пластину 9, першу 10, другу 11 і третю 12 збирають лінзи, апертурну діафрагму 13, перший 14 і другий 15 фотоприймач, блок 16 реєстрації, генератор 17, удвоитель 18 частоти і поляризаційний розщеплювач 19.

Блок 16 реєстрації містить перший 20, другий 21 і третій 22 фільтри верхніх частот, змішувач 23, синхронний детектор 24 і амплітудний аналізатор 25, Частото-сдвигаючий блок 2 містить першу чвертьхвильову пластину 26, електро-оптичний кристал 27 і другу чверть-хвильову пластину 28 розщеплювача 5 містить розщеплювальну призму 29, поворотну призму 30 та призму 31. Лазерний вимірювач розмірів і дисперсного складу частинок працює наступним чином.

Лазер 1 випромінює лінійно поляризований пучок з азимутом $\alpha = 45^\circ$, яке направляєється на вхід частоти-зсувного блоку 2, що складається із послідовально встановлених першої чверть-хвильової пластини 26, електрооптичних кристала 27 і другої чверть-хвильової пластини 28 при тому що перша 26 і друга 28 чверть-хвильові пластинки встановлені з азимутом осі, рівним $\rho = 0$, а поворотна вісь третього порядку електрооптичного кристалу 27 збігається з напрямком поширення лазерного пучка в двох взаємно перпендикулярних напрямках, що лежать в площині, перпендикулярній оптичній осі кристалу 27. Від генератора 17 на частоті 1 подається дві чверть-хвильових напруги, зсунутих по Фазі на 90° . Таким чином, на виході частото-сдвигаючому блоку утворюється суперпозиція двох просторово-суміщених пучків випромінювання з лінійними взаємо-ортогональними станами поляризації (наприклад, один горизонтально, а інший вертикально поляризований), що мають різні частоти f_0 та $f_0 + 4$, де f_0 - частота випромінювання лазера 1. Потім пучок випромінювання проходить оптичну коригувальну систему 3 і коліматор 8 і надходить на розщеплювач 5,

па виході якого формуються пучки 6 і 7, що представляють собою суперпозицію двох просторово совміщених пучків випромінювання з різними частотами f_0 та f_1 , причому випромінювання з узгодженим станом поляризації пучків 6 і 7 також мають різні частоти f_0 та f_1 що дозволяє отримати в зоні 8 вимірювання два інтерференційних поля з однаковими періодами і взаємно ортогональними станами поляризації, з рухомими з однаковою швидкістю в протилежних напрямках картинами інтерференційних полів, при русі потоку з частинками через зону вимірювання необхідно забезпечити одно частотний режим роботи схеми, що обмежує концентрацію частинок, Розмір частинок повинен бути менше періоду інтерференційного поля.

Розсіяне на рухомій в зоні 8 вимірювання частці випромінювання збирається лінзою 10, оптична вісь якої збігається з віссю схеми в межах апертурними діафрагми 13, і після просторового розщеплення поляризаційної призмою 19 горизонтально поляризоване випромінювання направляється лінзою 11 на фотоприймач 14, а вертикально поляризоване випромінювання направляється лінзою 12 на фотоприймач 15, В результаті оптичного гетеродінування на виході фотоприймача 14 утворюється змінна складова сигналу на частоті $f_2 = f_1 - 4fg$

$$i_1(t) = A(t) \cos [(\omega_1 - \omega_g)t - \varphi_n],$$

де $\omega_1 = 2\pi f_1$;
 $\omega_g = 2\pi \Delta f = 2\pi (\vec{k}_1 - \vec{k}_2) \vec{v}_n$;
 $\varphi_n = \vec{v}(\vec{k}_1 - \vec{k}_2) t_n$;

На виході фотоприймача 15 появляється змінна складова сигналу частоти $f_3 = f_1 + \Delta fg$

$$i_2(t) = A(t) \cos [(\omega_1 + \omega_g)t + \varphi_n].$$

Таким чином, на виході фотоприймачів 14 і 15 утворюються високочастотні сигнали однакової амплітуди, що представляють собою радіоімпульси з обвідної, близькою до прямокутної форми, що мають різні частоти, величина яких визначається швидкістю руху частинки, щодо інтерференційних полів зони 8 вимірювання. Слід зазначити, що розсіюють частинки розташовані в

потоці випадковим чином, тому фази розсіяних на них хвиль також випадкові, що призводить до випадкової фазової модуляції високочастотного сигналу на виході фотоприймача, причому випадкові фази на виходах фотоприймачів 14 і 15 рівні за величиною, але мають протилежні знаки, що забезпечується створенням в зоні 8 вимірювання двох інтерференційних полів з взаємно ортогональними лінійними станами поляризації і рухом інтерференційних картин в протилежні сторони.

Сигнали з частотами f_2 та f_3 виходів фотоприймачів 14 і 15 виділяються фільтрами 20 і 21 верхніх частот і надходять на перший і другий входи змішувача 23, на виході якого за допомогою фільтра 22 верхніх частот виділяється сигнал сумарної частоти $f_3+f_2=2f_1$, величина якої не залежить від швидкості V_n частинки і, крім того, цей сигнал не схильний до випадково фазової модуляції, що істотно спрощує подальшу обробку корисного сигналу. Далі сигнал з виходу змішувача 23 через фільтр 22 верхніх частот надходить на перший вхід синхронного детектора 24, на другий вхід якого надходить сигнал через подвоювач 18 частоти з виходу генератора 17 високої частоти. Виділений з допомогою синхронного детектора 24 сигнал з амплітудою, пропорційної розміру часток, надходить на вхід амплітудного аналізатора 25 імпульсів.

Розщеплювач 5 працює наступним чином.

Пучок світла надходить на вхід розщеплювальної призми 29, яка розділяє є 1 про на два пучка рівної інтенсивності, один з яких не змінює свого напрямку, а другий направляється на поворотну призму 30, виконану з можливістю створення на виході паралельного пучка, які направляються на призму 31, на виході якої формуються два пучка 6 і 7 випромінювання з однаковою інтенсивністю, симетричних оптичної осі схеми і перетинаються з нею в зоні 8 вимірювання, на виході розщеплювача 5 на шляху одного з пучків випромінювання встановлена напів-хвильова пластинка 9 з можливістю зміни стану поляризації пучка випромінювання на взаємно ортогональне. Таким чином, пучки 6 і 7 випромінювання являють собою суперпозицію двох просторово суміщених пучків випромінювання, причому коливання

електричного вектора одного з них перпендикулярно площині опромінюючих пучків, а іншого вектора - паралельно цій площині, крім того, паралельні коливання електричних векторів пучків 6 і 7 випромінювання, а також взаємно ортогональні коливання електричних векторів просторово суміщених пучків випромінювання мають різні частоти f_0 і f_1

4.2. Формула винаходу

Лазерний вимірювач розмірів і дисперсного складу частинок, що містить лазер і послідовно розміщені на його оптичній вісі, оптично пов'язані з ним частото-сдвігаючий блок, вхід якого з'єднаний з першим виходом генератора, розщеплювач, перша і друга збирають лінзи з апертурною діафрагмою між ними, перший фотоприймач, вихід якого з'єднаний з першим входом блоку реєстрації, відрізняється тим, що, з метою підвищення завадостійкості, чутливості і точності, в нього введені блок оптичної корекції, коліматор, напів-хвильової платівка, поляризаційний розщеплювач, третя збирає лінза, другий фотоприймач, подвоювач частоти, причому блок оптичної корекції і коліматор розміщені послідовно на оптичній осі лазера між частото-сдвігаючим блоком і розщеплювачем, поляризаційний розщеплювач встановлений між апертурною діафрагмою і другим збирає лінзою, другий фотоприймач пов'язаний оптично через третю збираючу лінзу з розщеплювачем, розщеплювач виконаний з можливістю формування двох пучків світла, симетрично нахилених щодо оптичної осі лазера і пересічних на оптичній осі лазера в зоні прокачування з досліджуваними частками, напів-хвильова пластина встановлена між розщеплювач і зоною перетину його вихідних пучків на шляху одного з них, а другий вихід генератора через блок подвоєння частоти з'єднаний з другим входом блоку реєстрації, третій вхід якого з'єднаний з виходом другого фотоприймача

Вимірювач по п. 1, відрізняється тим, що блок реєстрації містить перший, другий і третій фільтри верхніх частот, змішувач, синхронний детектор і амплітудний аналізатор, причому перший і третій входи блоку реєстрації через відповідно перший і другий фільтри верхніх частот з'єднані відповідно з першим і другим входами змішувача, вихід якого через третій фільтр верхніх частот з'єднаний з другим входом синхронного детектора, перший вхід якого з'єднаний з другим входом блоку реєстрації, а вихід - з входом амплітудного аналізатора.

Вимірювач по пп.1 і 2, відрізняються тим, що частота-зсувний блок виконаний у вигляді послідовно встановлених першої чверть хвильової пластинки, електро-оптичного кристала і другий чверть хвильової пластинки, причому електричний вхід електрооптичних кристала з'єднаний з входом частоти-зсувного блоку,

Вимірювач по пп. 1-3 відрізняється тим, що розщеплювач виконаний у вигляді розщеплювальної призми, поворотною призми і призми, встановлених так, що вхідні грань розщеплювальної призми є входом розщеплювач, перша вхідна грань призми пов'язана оптично з першої вихідній межею розщеплювальної призми, друга вхідна грань призми пов'язана оптично через поворотну призму з другої вихідній межею расщепітельного призми, а вихідна грань призми є виходом розщеплювача

РОЗДІЛ 5 ОХОРОНА ПРАЦІ

5.1. Положення про охорону праці

Охорона праці - це система правових, нормативних, соціально-економічних, організаційно-технічних, санітарно-гігієнічних і лікувально-профілактичних заходів і засобів, спрямованих на збереження здоров'я і працездатності людини в процесі праці.

Охорона праці спирається на комплекс державних законодавчих актів. Загальними законами України, що визначають основні положення щодо охорони праці і спираються на Конституцію України, Кодекс законів про працю, Закон України "Про охорону праці", Закон України "Про забезпечення санітарного та епідемічного благополуччя населення", Закон України "Про пожежну безпеку", Закон України "Про загальнообов'язкове державне соціальне страхування від нещасного випадку на виробництві та професійного захворювання, які спричинили втрату працездатності" та підзаконні акти щодо охорони праці.

<i>Кафедра авіоніки</i>				НАУ 19 14 47 000 ПЗ			
<i>Виконав</i>	<i>Мілаєнко І.Г.</i>			ОХОРОНА ПРАЦІ	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркуші</i>
<i>Керівник</i>	<i>Землянський В.М.</i>					88	
<i>Консульт.</i>					6.051103 «Авіоніка»		
<i>Н-контр.</i>	<i>Левкієвський В.В.</i>						
<i>Зав. каф.</i>	<i>Павлова С.В.</i>						

5.2. Лазерне випромінювання

Лазерне випромінювання – вимушене за допомогою лазерів випускання атомами речовини порцій-квантів електромагнітного випромінювання. Випромінювання, що генерується лазером, має унікал. властивості, які відрізняють його від звичай. світла, що емітують наше універсал. світило – Сонце, а також відомі традиц. джерела. Світлу характерна подвійна природа: з одного боку це електромагнітна хвиля з певною довжиною, з другого – це потік світл. часток, фотонів з певною частотою коливання. Ці параметри у спектрі електромагніт. випромінювання визначають і колір світла. У Л. в. – високий рівень монохроматичності (світло генерується з однією довж. хвилі, одного кольору та з постій. частотою; до появи лазерів монохромат. випромінювання можна було отримати тільки за допомогою високоякіс. фільтрів), когерентності (хвилі випромінювання знаходяться в одній фазі, або мають постійну різницю фаз, що призводить до складання амплітуд і таким чином до отримання дуже інтенсив. випромінювання), а також практично незначна розбіжність, або майже повна його паралельність (дає можливість передавати енергію променя на відстань без знач. втрат). Завдяки цим якостям його сфокусовують за законами геом. оптики спец. оптич. системами до дуже малих розмірів (співмірних із довж. хвилі випромінювання). В результаті концентрація енергії може досягати значення 10^{12} – 10^{22} Вт/см². Різні типи лазерів генерують випромінювання різної довжини хвилі (або частоти). Генерація в ультрафіолет. діапазоні дає можливість сконцентрувати значну густину потужності на невеликій ділянці поверхні. Збільшення довжини хвилі (зменшення частоти) у видимому та інфрачервоному діапазонах зменшує густину потужності. Вона концентрується на більшій площині під час фокусування променя. Параметри Л. в. впливають на характер його взаємодії з речовиною, що опромінюється. Так, напр., коефіцієнти відбиття і поглинання випромінювання матеріалом залежать від довжини хвилі випромінювання, а також від властивостей самого матеріалу, що опромінюється. А це, в свою чергу, впливає на результати опромінення – нагрівання, розплавлення, випаровування, вибухове руйнування,

абляція тощо. У сучас. лазерній технології переважно використовують лазери, що генерують випромінювання в ультрафіолет., видимому та інфрачервоному діапазонах електромагніт. спектра. Це лазери на азоті (N_2), аргоні (Ar), ексимерні, діодні, на арсеніді галію (GaAs), неодимовому склі (Nd), алюмо-ітрієвому гранаті (YAG), двоокисі вуглецю (CO_2) та ін. Перспективи ще більшого поширення мають лазери з генерацією випромінювання в рентгенів. та гама-діапазонах.

Під лазерною безпекою розуміється сукупність організаційних, технічних і санітарно-гігієнічних заходів, які забезпечують безпеку умов праці персоналу при використанні лазерів.

Прийняття тих або інших заходів лазерної безпеки залежить, перш за все, від класу лазера. Клас небезпеки лазера встановлюється підприємством, яке його виготовляє.

Небезпека випромінювань лазерів в залежності від їх класу

Клас лазера Небезпека вихідного випромінювання лазера

5.3 Біологічна дія лазерного випромінювання.

На протязі більш ніж сорока років спостерігався великий прогрес у розвитку лазерних технологій. Але з цим розвитком також з'явилося і багато проблем у лазерній безпеці. Класифікація лазерів по ступеню небезпеки лазерного випромінювання. Дія лазерного випромінювання на біологічні об'єкти залежить від густини потужності (енергії) випромінювання, часу опромінення, довжини хвилі, протяжності та періодичності імпульсів. З позиції лазерної безпеки (ЛБ) лазери класифікують по спроможності первинного або вторинного (відбитого) випромінювання викликати біологічно значні пошкодження очей та шкіри. По ступеню небезпеки лазерного випромінювання лазери розділяють на наступні класи: 0- безпечні, I - малонебезпечні, II - середньої небезпеки, III - небезпечні, IV - високої небезпеки. До безпечних відносяться такі лазери, вихідне випромінювання яких не представляє небезпеки (безпечне) для біологічних тканин при гострій та хронічній дії. До цього класу відносяться також любі інші лазери, які сконструйовані так, що в процесі їх нормальної експлуатації виключається опромінення персоналу лазерним випромінюванням з рівнем, що перевищує встановлені значення для лазерів нульового класу. До мало небезпечних відносяться такі лазери, експлуатація яких пов'язана з небезпекою дії прямого та дзеркально відбитого випромінювання тільки на очі. До лазерів середньої небезпеки відносяться такі лазери, експлуатація яких обумовлює небезпеку дії на очі прямого, дзеркально або дифузно відбитого випромінювання, а також прямого та дзеркально відбитого випромінювання на шкіру. До небезпечних відносяться такі лазери, експлуатація яких пов'язана з небезпекою дії на очі та шкіру прямого, дзеркального або дифузно відбитого випромінювання і робота яких супроводжується виникненням інших небезпечних та шкідливих виробничних факторів. До лазерів високої небезпеки відносяться такі, в процесі експлуатації яких мають місце небезпечні та шкідливі фактори, що характерні для лазерів I – III класів, а також іонізуюче випромінювання з рівнем, що перевищує максимально допустимі границі. Класифікація лазерів по ступеням небезпеки базується на знанні часових,

енергетичних та геометричних (точкове або протяжне джерело) характеристик джерела випромінювання та гранично допустимих рівнів лазерного випромінювання. При $\lambda < 0.4$ мкм та $\lambda > 1.4$ мкм лазерне випромінювання представляє небезпеку для роговиці ока та шкіри; при значеннях λ 0.4 до 1.4 мкм лазерне випромінювання представляє основну небезпеку для сітчатки ока. Небезпека прямого лазерного випромінювання незалежно від довжини хвилі випромінювання визначається поверхневою густиною потоку випромінювання W_p . Пряме лазерне випромінювання буде безпечним при умові, що густина потужності (енергії) не перевищує гранично допустимі рівні E_e , тобто $W_p < E_e$. При оцінці дифузно відбитого випромінювання слід враховувати геометричні розміри відбиваючої поверхні (точкове або протяжне джерело) та спектральний діапазон випромінювання. Якщо джерело точкове, то незалежно від спектрального діапазону небезпека випромінювання визначається густиною потужності (енергії) на роговиці ока або шкірі. Співвідношення, які дають оцінку потенціальної небезпеки випромінювання, в цьому випадку мають вигляд

для безпечного джерела :

$$W_p \leq \frac{4E_e R^2}{d^2 \rho \cos \theta};$$

для небезпечного джерела :

$$W_p \leq \frac{4E_e R^2}{d^2 \rho \cos \theta}$$

де R - відстань від відбиваючої поверхні до заданої точки, d - діаметр світлової плями на відбиваючій поверхні; ρ - альbedo, θ - кут між напрямом, яким розглядається та нормаллю до відбиваючої поверхні. Для випромінювання з довжиною хвилі 0.4-1.4 мкм потенціальна небезпека від протяжного джерела може бути оцінена по формулам.

для безпечного джерела :

$$- W_p \leq \pi L_e'$$

для небезпечного джерела:

$$- W_p > \pi L_e'$$

де $\pi L_e'$ - ГДР (гранично допустимий рівень) енергетичної яскравості протяжного джерела.

Енергетична яскравість дифузно випромінюючої поверхні може бути або виміряна яскраво вимірювачем, що має кут поля зору більше граничного кута α min, без обмеження діаметра вхідної зіниці приладу, або обчислена по одній з наступних формул

$$L_e = \frac{E_e \rho_{кр}}{\pi}$$
$$L_e = \frac{E_n R^2}{S_u};$$
$$L_e = \frac{4E_n}{\pi \alpha^2}$$

де E_e енергетична освітленість поверхні; $\rho_{кр}$ - коефіцієнт пропускання середовища від поверхні до спостерігача; E_n - енергетична освітленість на вхідній зіниці приладу (у точці вимірювання); R - відстань від поверхні до приладу; S_u - площа проекції джерела на площину, яка перпендикулярна лінії візування; α - видимий кутовий розмір поверхні, що випромінює. При оцінці безпеки опромінення ока дифузно відбитим випромінюванням з довжиною хвилі менше 0.4 мкм або більше 1.4 мкм, а також випромінюванням видимого

або ближнього інфрачервоного спектру від точкових джерел замість поверхневої густини потоку випромінювання зручно розглядати безпосередньо потужність (енергію) лазерного випромінювання. В цьому випадку вираз (1) прийме вигляд :

$$P > \frac{\pi E_e' R^2}{\rho \cos \theta}$$

$$P \leq \frac{\pi E_e' R^2}{\rho \cos \theta}$$

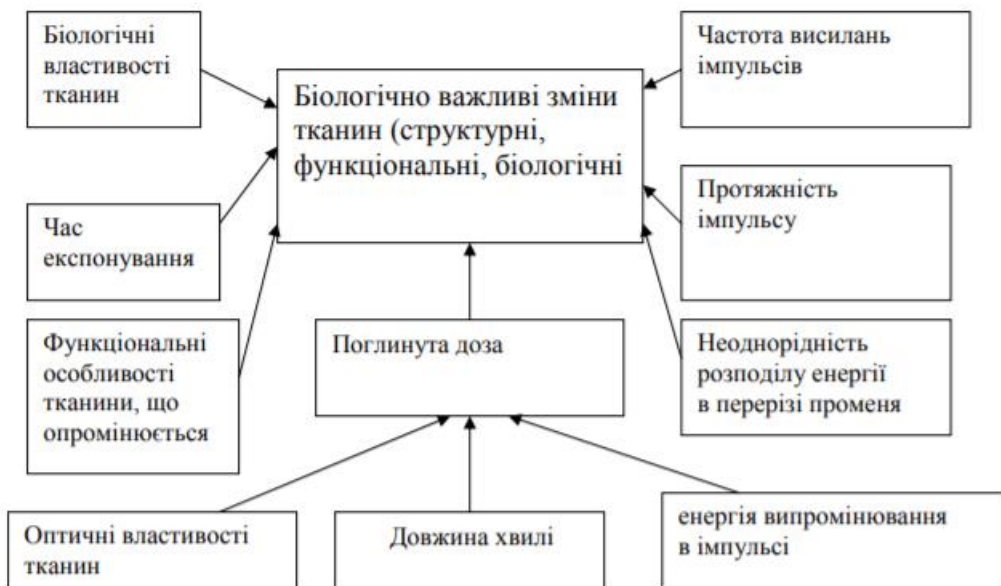
Потенціальна небезпека опромінення шкіри лазерним випромінюванням незалежно від геометричних розмірів джерела та довжини хвилі випромінювання оцінюється по формулах (1) та (2), в яких E_e замінюється на ГДР опромінення шкіри E_k . Розглянута методика кількісної оцінки потенціальної небезпеки опромінення очей та шкіри лазерним випромінюванням дозволяє обґрунтувати розділ лазерів на чотири класи по степеням небезпеки випромінювання, що ними генерується. В таблиці I наведена схема класифікації лазерів по ступеням небезпеки випромінювання, що ними генерується та вирази для обчислення граничних значень енергетичних характеристик випромінювання, які визначають кожний клас небезпеки.

В цих виразах значення коефіцієнта відбивання ρ та $\cos \theta$ прийняті рівними одиниці, що відповідає найбільш небезпечними з позиції лазерної безпеки ситуаціям.

Клас лазеру	Довжина хвилі, мкм	Енергетична характеристика випромінювання		Джерело випромінювання
		в пучці	на поверхні мішені	
0	0.2 – 10 ³	$W_p \leq E$	-	-
I	0.2-0.4	$P \leq \pi E'R^2$	$W_p \leq \frac{4E'R^2}{d^2}$	-
	1.4 – 10 ³			
	0.4-1.4	$P \leq \pi E'R^2$	$W_p \leq \frac{4E'R^2}{d}$	Точкове
		-	$W_p \leq \pi L'_e$	Протяжне
II	0.4-1.4	$\pi E'R^2 < P \leq \pi E'_k R^2$	$\frac{4E'R^2}{d^2} < W_p \leq \frac{4E'_k R^2}{d^2}$	Точкове
		$P \leq \pi E'_k R^2$	$\pi L'_e < W_p \leq \frac{4E'_k R^2}{d^2}$	Протяжне
III	0.2 – 10 ³	$P > \pi E'_k R^2$	$W_p > \frac{4E'_k R^2}{d^2}$	-

Класифікація лазерів по фізико-технічним параметрам та по ступеням небезпеки лазерного випромінювання дозволяє регламентувати заходи по забезпеченню їх безпеки, які закладаються у проекти приладів, що створюються та враховуються при організації робіт по експлуатації таких приладів.

Основні фактори, які визначають біологічні зміни у тканинах, що викликані лазерним випромінюванням показані на схемі .



Фактори, які визначають біологічні зміни у тканинах, що викликані лазерним випромінюванням.

5.3.1 Вплив лазерного випромінювання на очі.

Людське око є прекрасним сенсором. Воно може детектувати фотони від приблизно 400 нм до 700 нм. Багато людей можуть спостерігати довжини хвиль поза 700 нм, деякі аж до 850 нм (див. рис. 1). Чутливість ока до світла різної довжини хвилі характеризується кривою видності. При цьому під абсолютною видністю розуміється відношення світлового потоку, яке оцінюється оком, до відповідної істинної, повній потужності променистої енергії. Видність представляє специфічну величину, яка дозволяє переходити від енергетичних величин до світлових. Крива видності має максимум при $\lambda = 0.555$ мкм, який умовно приймається за одиницю. Відношення видності світла даної довжини хвилі до максимальної називають відносною видністю. Максимальна видність складає 683 лк/Вт. Поза 700 нм наше Біологічні властивості тканин Час експонування Функціональні особливості тканини, що опромінюється

Біологічно важливі зміни тканин (структурні, функціональні, біологічні Частота висилань імпульсів Протяжність імпульсу Неоднорідність розподілу енергії в перерізі променя Поглинута доза Оптичні властивості тканин Довжина хвилі енергія випромінювання в імпульсі око детектує менше ніж 1% наявних фотонів на таких довжинах хвиль і таким чином воно може лише дати слабе зображення. Психологічно ми оцінюємо цю слабку візуалізацію як слабе джерело або з малою потужністю, що може привести до небезпечної недооцінки безпеки. Оптична система ока (рис. 2) складається з очного яблука, окозсуваючих м'язів, вік, сльозового апарату. Очне яблуко – прозора студневидна речовина, яка покрита трьома оболонками. Зовнішня оболонка, яка складається з непрозорої для світлових променів з'єднувальної тканини, називається склерою.

Передня її частина – роговиця – прозора для світлових променів. З зовнішньої сторони склера покрита прозорою слизистою плівкою - кон'юктивою що переходить і на задню поверхню віка, що повернена до ока. Передня частина судинної оболонки, що знаходиться під склерою, утворює райдужну оболонку. У центрі райдужної оболонки є отвір змінної величини

(зіниця ока), що грає роль апертурної діафрагми. Зміна діаметру зіниці регулює постачання світлового потоку у очне яблуко та змінює глибину фокусування. Поблизу до внутрішньої сторони райдужної оболонки розташований кришталік, який має форму двоопуклої лінзи. Між кришталіком та внутрішньою оболонкою очного яблука розташовано так зване скловидне тіло. Внутрішня оболонка очного яблука складається з переплетення великої кількості дуже тонких нервових клітин, що грають роль приймача випромінювання. У світлочутливих елементах (палички та колбочки) відбувається фотохімічна реакція, в результаті якої світлова енергія викликає нервові збудження. Палиці використовуються для сприйняття зображень з малою яскравістю. Вони реагують на слабке світлове подразнення (максимум чутливості для випромінювання з $\lambda = 0.51$ мкм) і не сприймають світла. Колбочки, навпаки використовуються для сприйняття зображень з великою яскравістю і мають максимум чутливості до випромінювання з довжиною хвилі 0.44; 0.54 та 0.59 мкм. Фотохімічна реакція відбувається за рахунок розкладу у палицях родоспінна або зорового пурпуру, а у колбочках – родопсину. Уся сітчатка є спроможною сприймати форму предметів, але це сприйняття не однаково на різних її ділянках. Сприйняття форми характерно головним чином для тієї частини сітківки, яка розташована дещо зміщеною від оптичної осі ока і зветься жовтою плямою. Для отримання точного та ясного зображення око фіксує його зображення переважно на жовту пляму. Центральний зір забезпечує можливість розглядати тонкі деталі предметів, периферичний – можливість орієнтуватися у просторі. Патологічні ефекти дії лазерного випромінювання на очі. Порівняно легка уразливість роговиці та кришталіка ока при дії електромагнітних випромінювань самих різних довжин хвиль, а також спроможність оптичної системи ока збільшувати густину енергії (потужності) випромінювання видимого та ближнього інфрачервоного діапазону на очному дні на декілька порядків по відношенню до роговиці виділяє його у найбільш уразливий орган. Взаємодіючи з елементами оптичної системи лазерне випромінювання може викликати їх пошкодження. Ступінь

пошкодження ока головним чином залежить від таких фізичних параметрів, як час опромінення, густина потоку енергії, довжина хвилі та вид випромінювання (імпульсне або неперервне) а також індивідуальних особливостей ока. При розгляді дії лазерного випромінювання на орган зору необхідно окремо розбирати дію випромінювання з довжинами хвиль у інтервалі 0.4-1.4 мкм та довжинами хвиль поза цим інтервалом. Для електромагнітного випромінювання з довжинами хвиль коротше 0.4 мкм та довше 1.4 мкм оптичні середовища ока є непрозорими, і тому фокусуюча дія не має місця. Дія ультрафіолетового випромінювання на орган зору в основному призводить до поразки роговиці (кератит). Найбільшу фотокератичну дію має випромінювання з довжиною хвилі 0.288 мкм. Випромінювання з довжиною хвилі коротше 0.32 мкм майже повністю поглинається у роговиці та водянистій волозі передньої камери ока, а з довжинами хвиль 0.32-0.39 мкм – у кришталіку. За рахунок високого коефіцієнта поглинання у роговиці та водянистій волозі передньої камери навіть на довжині хвилі 0.32 мкм мінімальна величина енергії, що необхідна для виникнення небажаних хімічних реакцій у кришталіку, у 2-3 рази більше, ніж відповідна енергія для роговиці.

Тому помутніння кришталіка (катаракта) під дією ультрафіолетового випромінювання практично ніколи не спостерігається. Поверхневі опіки роговиці лазерним випромінюванням лазерним випромінюванням з довжиною хвилі в межах ультрафіолетової області спектра усуваються в процесі самозагоєння. Для лазерного випромінювання з довжиною хвилі 0.4-1.4 мкм критичним елементом органу зору є сітківка. Вона представляє собою функціонально найбільш значимий елемент ока, має високу чутливість до електромагнітних хвиль видимої області спектру та характеризується великим коефіцієнтом поглинання електромагнітних хвиль видимої, інфрачервоної та ближньої ультрафіолетової областей. Пошкодження ока може змінюватися від слабких опіків сітківки, які супроводжуються незначними або повністю відсутніми змінами зорової функції, до серйозних пошкоджень, що призводять до погіршення зору і навіть до повної його втрати. Тривале опромінення

сітківки у видимому діапазоні на рівнях не на багато більших порогу опіку, може викликати незворотні зміни у ній. Тривале опромінення ока в діапазоні близького інфрачервоного випромінювання може призвести до помутніння кристалика. Пошкодження сітківки обов'язково супроводжується порушенням функції зору. Клітини сітківки, як і клітини центральної нервової системи, після пошкодження не відновлюються. Пошкодження сітківки під дією лазерного випромінювання можна розділити на дві групи. До першої відносяться тимчасові порушення зорової функції ока без помітних змін очного дна. Прикладом такого пошкодження є осліплення від яскравості світлового спалаху. До другої відносяться пошкодження, які супроводжуються руйнуванням сітківки, що проявляється у вигляді термічного пошкодження опікового або „вибухового” характеру. Осліплення від яскравості світлового спалаху є самим слабким проявом пошкоджуючої дії лазерного випромінювання. Вона носить незворотній характер і виражається у виникненні „сліпої плями” у полі зору. Результатом такого осліплення є повний розпад зорового пігменту в фоторецепторах сітківки під дією видимого світла великої яскравості. Осліплення настає при спостереженні джерела яскравого світла, яке утворює на роговиці густину випромінювання порядку 150 Вт/см^2 .

Відновлення зорового пігменту у фоторецепторах сітківки іноді затягується на декілька хвилин. Дія на ока надпорогових інтенсивностей випромінювання викликає тепловий опік очного дна з незворотнім пошкодженням сітківки. Мінімальне пошкодження проявляється дуже дрібною, видимою у офтальмоскопі зміною сітківки, що являє собою невелику білу пляму із згорнувшихся білків з областю крововиливу у центрі. Пошкоджена ділянка оточена зоною набряку. Після декілька днів на місці пошкодження з'являється рубець із з'єднувальної тканини, що не здібний нести функцію зорового сприйняття. Імпульсне лазерне випромінювання представляє більшу небезпеку, ніж неперервне, оскільки в цьому випадку пошкодження очного дна викликається комбінованою дією – термічною та механічною. Механічна дія

випромінювання проявляється у вигляді „вибуху” зерен меланіну, причому сила „вибуху” така, що зерна пігменту викидаються у скловидне тіло.

Опромінення менш інтенсивними рівнями може викликати початкові зміни, при яких відновлення зорової функції можливо, але вважається, що повторне опромінення при таких же, достатньо низьких енергетичних рівнях може привести до пошкоджень, які не відновлюються. При дії лазерного випромінювання на сітківку особливо небезпечні пошкодження центральної ямки та жовтої плями – найбільш важливих функціональних областей ока. Пошкодження цих областей супроводжується майже повною втратою зору. Чим більше вісь між зоровою віссю і напрямком падіння лазерного променя, тим менше ступінь пошкодження функції зору. Довільний рух очного яблука призводить до того, що окремі ділянки сітківки змінюють своє положення відносно падаючого випромінювання багато разів у секунду. Тому неперервне та імпульсноперіодичне випромінювання викликають пошкодження сітківки у області що більша ніж пляма сфокусованого на ній зображення, навіть в тому випадку, якщо під час опромінення пучок не відхиляється від прямої лінії бачення. У скло видному тілі та водянистій волозі передньої камери затримується біля 5% енергії електромагнітного випромінювання видимої області спектра, що проходить крізь них. Поглинання енергії випромінювання різними структурами ока зростає із збільшенням довжини хвилі випромінювання у ближній інфрачервоній області. Випромінювання з довжинами хвиль більше 1.4 мкм практично повністю поглинаються у скло видному тілі та водянистій волозі передньої камери. При помірних пошкодженнях ці середовища ока здібні відновлюватися. Невеликі опіки райдужної оболонки можуть закінчитися само загоєнням і не викликають постійних порушень зору. Важкі опіки призводять до утворення рубцевої тканини, деформації райдужної оболонки з втратою гостроти зору. Ступінь пошкодження райдужної оболонки лазерним випромінюванням в значній мірі залежить від її кольору. Наприклад зелені та голубі очі характеризуються більшим пошкодженням, а карі – невеликим. Лазерне випромінювання

середньої інфрачервоної області спектру може спричинити сильне пошкодження роговиці, яке супроводжується денатурацією білків і повною втратою прозорості (утворенням більма). Головний механізм впливу інфрачервоного випромінювання – тепловий. Ступінь теплового пошкодження роговиці залежить від поглинутої дози випромінювання, причому травмується не судинна оболонка, що розташована глибше, а тонкий епітеліальний шар. Якщо доза випромінювання велика, то може відбутися повне руйнування захисного епітелію з одночасним помутнінням райдужної оболонки із за коагуляції білка та кристалика, розвивається катаракта. Кристалик пошкоджується біля обпечених ділянок райдужної оболонки. Таким чином, лазерне випромінювання викликає пошкоджуючу дію на всі структури органу зору. Основний механізм дії – тепла дія. Дія лазерного випромінювання на шкіру, внутрішні органи та організм в цілому.

5.3.2. Біологічні ефекти дії лазерного випромінювання на шкіру.

Шкіра є першою лінією захисту організму від пошкодження лазерним випромінюванням. Шкіра представляє собою не просто механічний бар'єр, а важливий фізіологічно активний орган, великі пошкодження якого можуть призвести до загибелі організму. Ступінь пошкодження шкіри залежить від первинно поглинутої енергії. Пошкодження шкіри, які викликані лазерним випромінюванням, можуть бути різними: від легкої еритеми (почервоніння) до поверхневого обвуглювання і, в кінцевому рахунку до утворення глибоких дефектів шкіри. Особливо значні пошкодження спостерігаються на пігментованих ділянках, наприклад на родимках, на місцях з сильним загаром, або шкірі, що має природний темний колір. При дії на світлу шкіру випромінювання проникає у підшкірні тканини і пошкоджує розташовані в них судини та нерви. Пошкодження шкіри, що викликані дією лазерного випромінювання, близькі по характеру до термічних опіків і відрізняються від них тим, що пошкоджена ділянка має чітку границю, за якою знаходиться невелика область почервоніння. Пухирі, що утворюються під дією лазерного випромінювання, розташовуються у епідермісі, а не під ним. Поблизу пошкоджених ділянок спостерігаються вільні радикали та інші ознаки іонізації, що дозволяє припускати наявність окрім теплового інших механізмів пошкодження шкіри. З підвищенням енергії випромінювання відбувається збільшення розмірів області пошкодження (ураження). Опромінення шкіри не сфокусованим випромінюванням з енергією біля 100 Дж призводить до втрати чутливості опроміненої ділянки на декілька днів (без видимих пошкоджень).

Під впливом опромінення змінюється активність деяких ферментів, спостерігається утворення у шкірі вільних радикалів. Гістохімічні та люмінесцентно-мікроскопічні дослідження шкірі після дії лазерного випромінювання дозволяють виявити певні порушення в вуглецевому та ліпідному (жировому) обміні шкіри. Тривала дія на шкіру ультрафіолетового випромінювання прискорюють її старіння і може бути передумовою для злякисного переродження клітин. Опромінення великих ділянок шкіри

викликає певні зсуви у обміні речовин, системі кровотворення, внутрішніх органів. Порогові рівні енергії лазерного випромінювання, що діють на шкіру, значно вищі, ніж діючих на очі. Мінімальне пошкодження шкіри утворюється при дії випромінювання з густиною енергії 0.1-1 Дж/см² (в залежності від ступеня забарвлення шкіри та тривалості дії). Найбільшу біологічну дію дає лазерне випромінювання з довжинами хвиль 0.28-0.32 мкм. Воно найбільш глибоко проникає у шкіру і має виражену канцерогенну дію. Дія лазерного випромінювання на внутрішні органи. Лазерне випромінювання (особливо далекої інфрачервоної області спектра) спроможньо проникати через тканини тіла і взаємодіяти з біологічними структурами на значній глибині, поражаючи внутрішні органи. Механізм утворення пошкоджень пояснюється тепловою дією сфокусованого випромінювання або впливом ударної хвилі. Важливою особливістю лазерного випромінювання на внутрішні органи є чергування пошкоджених та непошкоджених шарів тканин. Згідно однієї з гіпотез це явище пов'язано з ефектом стоячих хвиль, які утворюються в результаті відбивання падаючого випромінювання від кісткових поверхонь або границь між різними тканинами. Пошкоджені ділянки шкіри співпадають з пучностями, де густина потоку енергії зростає у порівнянні з густиною потоку енергії падаючого випромінювання. Подібні пошкодження можуть не викликати болі безпосередньо після опромінення і не виявлятися при зовнішньому огляді.

Найбільшу небезпеку для внутрішніх органів представляє сфокусоване лазерне випромінювання. Але необхідно враховувати, що і не сфокусоване випромінювання може фокусуватися в глибині тканин тіла людини. Ступінь пошкодження внутрішніх органів у значній мірі визначається інтенсивністю потоку випромінювання та кольором забарвлення органів. Ступінь пошкодження внутрішніх органів також залежить від довжини хвилі падаючого випромінювання. Найбільшу небезпеку представляють випромінювання з довжинами хвиль, що близькі до спектру поглинання хімічних зв'язків органічних молекул, що входять у склад біологічних тканин. Дія лазерного випромінювання на організм в цілому. В дослідях на тваринах та при в

клінічних дослідженнях осіб, що працюють з лазерами і знаходяться під дією малих доз випромінювання показано, що має місце можливість несприятливої дії лазерного випромінювання і на організм в цілому. У частини працюючих спостерігаються патологічні зміни, які проявляються у вигляді функціональних розладів у діяльності центральної нервової системи, що виражається у підвищеній збуджуваності нервових процесів, наявності зсувів у ствольових структурах мозку і т.п. Мають місце також явища вегетативно-судинної дисфункції, порушення серцево-судинної регуляції. Це проявляється в нестійкості артеріального тиску крові, підвищеній пітливості, схильності пульсу до сповільнення. В операторів лазерних установок іноді спостерігають підвищену подразнювальність, стомлюємість очей та всього організму. Велике значення в зменшенні несприятливої дії лазерного випромінювання на організм має строге виконання відповідних інструкцій, правил та рекомендацій по техніці безпеки при роботі з лазерами.

5.4. Правила безпеки при роботі з лазерами.

Забороняється:

1. При роботі з лазерним випромінюванням:

- Дивитися назустріч первинному і дзеркально відбитому променю;
- Залишати безконтрольним простір, в якому виробляються маніпуляції;
- Працювати без захисних окулярів в зоні випромінювання;
- Проводити ремонтні та налагоджувальні роботи за підключеної

установки до мережі;

2. При експлуатації установки:

- Робити заміну мережевих запобіжників, з'єднання і роз'єднання кабелів при включеній в мережу установці;

- Спостерігати пряме або дзеркальне відображення лазерного випромінювання;

- Працювати на свідомо несправної установки;

- Залишати установку без нагляду у включеному стані;

- Застосовувати саморобні і нестандартні запобіжники;

- Роз'єднувати роз'єм живлення раніше, ніж через 2 хвилини після відключення джерела живлення лазера від мережі;

- Виконувати включення лазера при роз'єдненому роз'ємі випромінювача джерела живлення.

При демонтажі лазера з установки:

1. Розстикування роз'єму живлення дозволяється проводити не раніше, ніж через 2 хвилини після відключення джерела живлення від мережі.

2. Перед початком роботи приєднати заземлення до випромінювача, а при демонтажі лазера з установки від'єднати його.

Не допускається:

1. Застосовувати шнур з пошкодженою ізоляцією.

2. Кидати шнур, щоб уникнути поломки вилок.

3. Включати установку в мережу, якщо розетка не відповідає вимогам класу захисту установки.

4. Встановлювати запобіжники, що не відповідають номінальному значенню.

5.4.1 Засоби індивідуального захисту

Потрібно застосовувати засоби індивідуального захисту від лазерного випромінювання: спеціальні проти лазерні окуляри, щитки, маски, технологічні халати та рукавички. Окрім цього потрібно проводити комплекс колективних методів захисту від лазерного випромінювання. Багато дослідників отримали пошкодження, коли вони працювали з 751 нм або з 810 нм променем, який вони сприймали як слабкий. В більшості всіх цих випадків дослідник знав, що дійсна потужність променя була достатньо велика, щоб викликати травму (пошкодження), але цей факт маскувався тим, що промінь сприймався як слабкий (так званий „ефект айсберга” – на поверхні (вище води) лише від 12 до 20% всього айсбергу). Кращий шлях уникнути цієї пастки – залишатися насторожі, ми всі знаємо, що не можна дивитися у лазерний промінь, але ми стаємо безпечними і забуваємо, що багатьма шляхами розсіяне світло може досягти наше око (сітчатку).

Потрібно обов’язково носити захисні окуляри – без ніяких якщо, і та але. Обладнання лабораторій альтернативними сенсорами випромінювання, таким як ПЗЗ (CCD) камерами та ІЧ сенсорами може зменшити спокусу до закінчення роботи. Треба мати на увазі, що не потрібно багато часу, щоби осліпнути. Як можна проводити юстування системи, коли ви не бачите променя? Цей приспів було чути від користувачів лазерів ще на самому початку лазерної технології. Мета застосування захисних окулярів – це дозволити користувачу отримати візуалізацію променя із зниженням інтенсивності лазерного променя, що попадає у людське око, до дозволеного рівня. Європейська норма EN208 рекомендує наступні оптичні густини для захисних окулярів для відповідних

потужностей лазерів (див. таблицю).

Рекомендована оптична густина для захисних окулярів			
Шкала	Оптична густина	Максимум миттєвої потужності (Вт)*	Максимальна енергія (Дж)**
R1	1-2	0.01	2×10^{-6}
R2	2-3	0.1	2×10^{-5}
R3	3-4	1.0	2×10^{-4}
R4	4-5	10	2×10^{-3}
R5	5-6	100	2×10^{-2}

* - лазери неперервної дії, ** імпульсні лазери

Один із шляхів забезпечення лазерної безпеки – це зниження вихідної потужності лазера при юстуванні за допомогою нейтральносірих фільтрів або зниженням току. Для перевірки юстування системи можна використовувати ірисову діафрагму або декілька та сенсор випромінювання (приймач). Якщо промінь зміститься з потрібного оптичного шляху, то зміна сигналу сенсора зразу просигналізує про це. Однією з проблем, пов'язаних з лазерною безпекою, є проблема простору в лабораторії. Дуже часто лабораторії (в тому числі де використовуються лазери) нагадують склади з різноманітними речами. Їх розташування не обмежується простором біля оптичних столів, а часто вони розташовуються і безпосередньо і на самих оптичних столах. Запасні оптичні тримачі, інструменти, лінзи, дзеркала, різноманітні коробки та ін. – все це може знаходитися на оптичних столах і може забезпечувати відбиваючу поверхню при попаданні лазерного променя на них (наприклад, при їх переміщенні, коли лазерна установка працює). Вирішення цієї проблеми – в утриманні чистоти робочого місця. Потрібно зробити зону зберігання на оптичному столі поза зони роботи, або створити другий поверх на оптичному столі. Треба забрати речі, якими рідко користуються, на полки для зберігання. Оптичне волокно в цьому плані достатньо безпечне, оскільки воно містить оптичний промінь і може бути огорнуто покриттям для забезпечення додаткового захисту. Але пастка полягає в тому, що промінь у кінці волокна може попадати, наприклад,

на мікро лінзу, котра дає колімований промінь, так, що небезпечна для ока зона може бути довжиною декілька метрів. На додаток, кількість енергії, що передається через оптичний фільтр постійно зростає, що підтверджується розвитком високо потужних діодних лазерів та зборок діод них лазерів. Більшість довжин хвиль, які використовують оптичні волокна є невидимі і кінець оптичного волокна є далеко від джерела, що робить важким визначити чи є волокно активним або неактивним коли воно роз'єднано. Можна бачити, що волоконні лазери, які зараз з'являються все більше на ринку, є в цьому плані потенційною небезпекою. Тому треба постійно виконувати елементарні правила безпеки, щоби уникнути пошкодження шкіри або очей.

РОЗДІЛ 6

ОХОРОНА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

6.1. Загальні відомості про охорону навколишнього середовища

Закон України «Про охорону навколишнього природного середовища» — це закон України, що визначає правові, економічні та соціальні основи організації охорони природи навколишнього природного середовища в інтересах нинішнього і майбутніх поколінь.

Вивчення різноманітного впливу науково-технічного прогресу на навколишню біосферу - одна з найбільш важливих проблем сучасності. Кінцева мета такого вивчення - захист і поліпшення навколишнього середовища для благополучного існування нашого і майбутніх поколінь.

Такими заходами можуть бути:

Обмеження викидів в атмосферу і гідросферу з метою поліпшення загальної екологічної обстановки, створення заповідників, національних парків з метою збереження природних комплексів, обмеження вилову риби, полювання з метою збереження певних видів і насамперед обмеження викиду сміття.

<i>Кафедра авіоники</i>				<i>НАУ 19 14 47 000 ПЗ</i>			
<i>Виконав</i>	<i>Мілаєнко І.Г.</i>			ОХОРОНА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Акрушіє</i>
<i>Керівник</i>	<i>Землянський В.М</i>					112	
<i>Консульт.</i>					6.051103 «Авіоніка»		
<i>Н-контр.</i>	<i>Левківський В.В</i>						
<i>Зав. каф.</i>	<i>Павлова С.В.</i>						

6.2. Раціональне природокористування

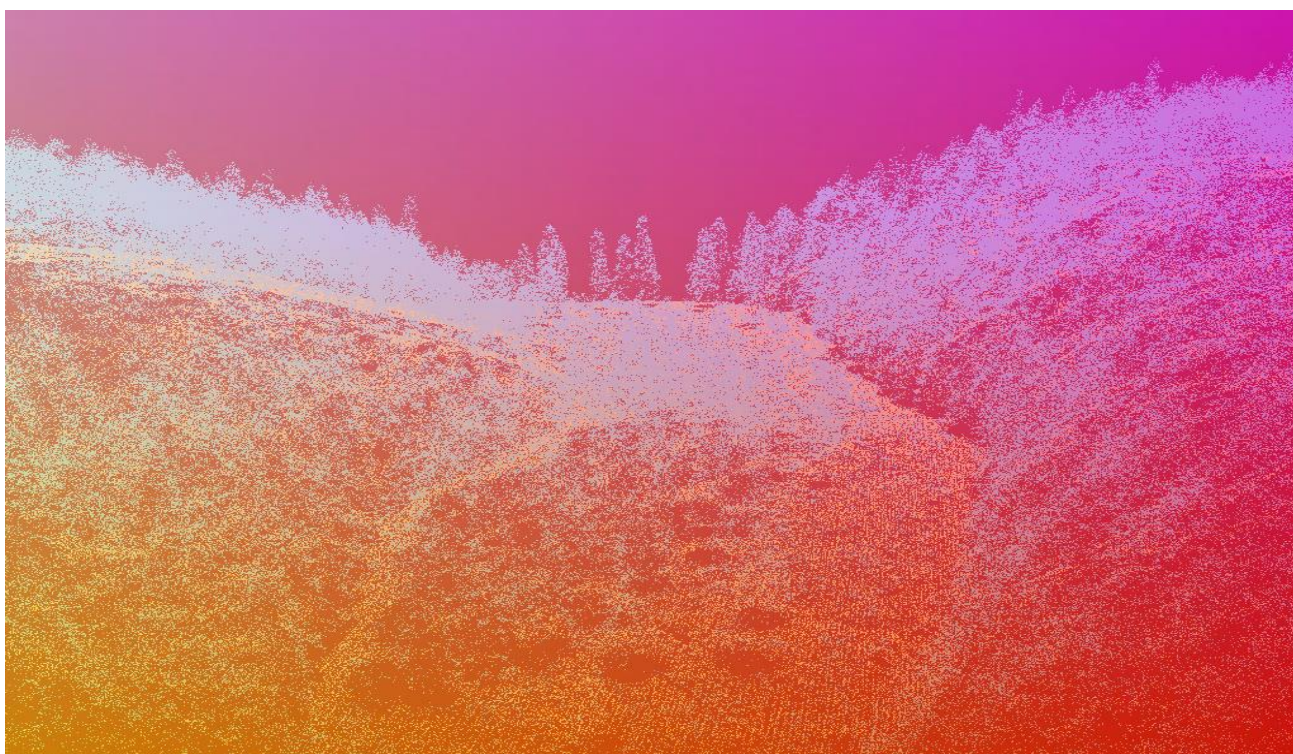
В останні десятиріччя у зв'язку з інтенсивним використанням природно-ресурсного потенціалу України, антропогенного забруднення природного середовища, що загрожує існуванню людини як біологічної істоти, виникла гостра потреба у формуванні загальнодержавного, регіональних та локальних міжгалузевих еколого-економічних комплексів (ЕЕК). ЕЕК - це сукупність видів діяльності, спрямованих на раціональне природокористування, охорону природи і створення оптимальних умов для нормального життя людини.

Екологічну кризу зумовлює в першу чергу нераціональна економічна діяльність людини, яка все ще мало дбає про вдосконалення технології і створення спеціальної системи устаткування, що забезпечило б задовільний стан навколишнього середовища.

Зараз немає жодної держави, яка б під тиском свого народу чи світової громадськості (адже екологічні проблеми не знають державних кордонів) не розвивала екологічної інфраструктури. В окремих, найбільш розвинених країнах, де діють чітко природоохоронне законодавство, впливові екологічні громадські організації і партії, а також є достатні економічні та фінансові можливості, екологічна інфраструктура набула високого рівня розвитку. При такому його ступені еколого-економічний комплекс, крім опосередкованого економічного ефекту через поліпшення стану навколишнього середовища і здоров'я населення, збагачення природно-ресурсного потенціалу, дає змогу отримувати і безпосередні прибутки шляхом повторного використання величезної маси відходів, зменшення витрат сировини та енергії.

Під час виготовлення оптичного тракту головки запису-зчитування інформації викидів у навколишнє середовище майже немає, оскільки досить повну очистку від шкідливих викидів забезпечують спеціальні фільтри, встановлені в очистних спорудах. В майбутньому передбачається вдосконалення очистних споруд та перехід на маловідходні технології.

6.3 Використання лазерного сканування з метою охорони навколишнього середовища у сучасному світі



Системи лазерного сканування вже давно та успішно використовуються за кордоном для картування і моніторингу навколишнього середовища.

Спектр застосування системи дуже широкий – від побудови 3D моделей, картування берегової лінії, прогнозування зсувів і повеней, вивчення місць існування тварин до оцінок наслідків різних впливів на навколишнє середовище. Лідар (від англ. Аббревіатури «LiDAR» – Light Detection And Ranging) – оптичний прилад для дистанційного зондування водних і повітряних середовищ, а також твердих об'єктів. Назва створена за аналогією зі словом RADAR (Radio Detection And Ranging).

Також іноді використовується і аббревіатура «LaDAR» (Laser Detection And Ranging). Робота системи полягає у виявленні і визначенні відстані до об'єкту за допомогою лазера. Лідар, крім лазера, має телескоп з приймачем світла, систему реєстрації та обробки результатів зондування, різні пристрої управління і відображення інформації.

Принцип дії системи досить простий. На поверхню об'єкта надсилається короткий світловий імпульс і вимірюється час, через який сигнал повертається до джерела. Перші моделі лідарів могли бути використані тільки на літаках або на великих БПЛА, але за минуле десятиріччя їх еволюція зробила крок далеко вперед, і тепер існують лідари, які можна використовувати на портативних дронах або носити у себе на спині у вигляді рюкзака, при цьому проводити сканування місцевості для створення цифрової моделі рельєфу та інших дослідницьких потреб. Використання лідарів в Україні набирає обертів у будівельній справі та гірничодобувній промисловості. Однак, у природоохоронних цілях вони не використовуються як через високу вартість, так і через необізнаність представників природоохоронних організацій про існування і можливості даної системи.

ВИСНОВКИ

Даний спосіб вирішує проблему точності яка була встановлена, у завданні дипломної роботи

Поставлена задача вирішується за рахунок того, що в пропонованому способі вимірювання розподілу мікрочастинок за розмірами на відміну від відомого всі частинки, що проходять через зону вимірювання, опромінюються n -числом пар когерентних лазерних пучків на довжинах хвиль $\lambda_1 \lambda_2 \dots \lambda_n$, причому в кожній парі один з пучків зміщується по частоті на фіксовану величину ω_m , крім того всі ці пучки поширюються в одній площині, наприклад в ОУХ, і перетинаються в одній просторової області - зоні вимірювання під відповідними кутами $\gamma_1 \gamma_2 \dots \gamma_n$, які узгоджені між собою, та узгодженні також с довжинами хвиль.

Також розробили перший прототип пристрою, який зможе впоратись з поставленим завданням.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Р.А. Гильмияров: «История создания лазера»
2. В.М.Землянский и А.П.Чудесов: «Лазерный измеритель размеров и дисперсного состава частиц»
3. В.П. Грибковский: Полупроводниковые лазеры: Учебное пособие по специальности «Радиофизика и электроника»
4. Ю.Ф. Застрогин: «Контроль параметров движения с использованием лазеров. »
5. Конспект лекцій з дисципліни: «Інформаційно-вимірювальні пристрої та системи авіоніки»
6. Конспект лекцій з дисципліни: «Оптичні пристрої та лазерна електроніка» (ОЛЛА)