

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: «Багатохвильовий лазерний вимірювач кутів атаки та ковзання на літаку»**

**Виконавець:** Овенко Артем Вадимович  
(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)

Київ 2020

НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет аеронавігації електроніки та телекомунікацій

Кафедра авіоніки

Напря́м (спеціальність) 173 «Авіоніка»  
(шифр, найменування)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ Павлова

С.В.

«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2020р.

**ЗАВДАННЯ**  
**на виконання дипломної роботи**

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

1. Тема дипломної роботи: «Багатохвильовий лазерний вимірювач кутів атаки та ковзання на літаку»

затверджена наказом ректора від «\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 202\_\_ р.

№ \_\_\_\_\_

2. Термін виконання роботи : з \_\_\_\_\_ по \_\_\_\_\_

3. Вихідні дані до роботи : Створення сучасного прототипу лазерного вимірювача кута атаки та ковзання, шляхом усунення недоліків існуючого пристрою та його модернізації в цілому.

4. Зміст пояснювальної записки:

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_



### 7. Консультанти з окремих розділів

Розділ	Консультант (посада, П.І.Б.)	Дата, підпис	
		Завдання видав	Завдання прийняв

8. Дата видачі завдання: “ \_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 202\_\_ р.

Керівник дипломної роботи (проекту) \_\_\_\_\_  
(підпис керівника) (П.І.Б.)

Завдання прийняв до виконання \_\_\_\_\_  
(підпис випускника) (П.І.Б.)

## РЕФЕРАТ

Загальний обсяг пояснювальної записки до дипломної роботи на тему «Багатохвильовий лазерний вимірювач кутів атаки та ковзання на літаку» складає 131 сторінку та містить 30 рисунків, 4 таблиці і 20 використаних джерел інформації.

### ВИМІРЮВАННЯ КУТІВ АТАКИ ТА КОВЗАННЯ, ЛАЗЕРНИЙ ВИМІРЮВАЧ КУТІВ АТАКИ ТА КОВЗАННЯ, ЛАЗЕР, ЦИВІЛЬНА АВІАЦІЯ, ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНІ ПРИСТРОЇ

У дипломній роботі розглянуто основні методи вимірювання повітряно-швидкісних параметрів, проаналізовано існуючі типи вимірювачів кутів атаки та ковзання, їх переваги та недоліки, представлено покращений прототип лазерного вимірювача кута атаки та ковзання а також розроблена його модифікація у вигляді багатохвильового лазерного вимірювача.

Дипломна робота складається з трьох розділів.

У розділі 1 дипломної роботи були розглянуті загальні відомості про методи вимірювання кутів атаки та ковзання, описані існуючі пристрої, проаналізовані напрямки застосування.

У розділі 2 дипломної роботи були розглянуті відомі доплерівські вимірювачі, проаналізований відомий лазерний вимірювач кутів атаки та ковзання, оцінені переваги та недоліки відомих прототипів.

У розділі 3 дипломної роботи був розглянутий новий прототип лазерного вимірювача повітряно-швидкісних параметрів за державним патентом «UA 122005 C2», що дозволяє вимірювати величину трьох ортогональних проекцій вектора швидкості, більша з яких направлена вздовж повздовжньої вісі ОХ ЛА, а також може визначати знак, тобто напрямок трьох проекцій літального апарату а також має інший ряд переваг.

У розділі 4 була розроблена модифікація лазерного вимірювача кута атаки та ковзання у вигляді багатохвильового рішення, який має шість

напівпровідникових лазерів, три з яких формують випромінювання у вертикальній площині поляризації на довжинах хвиль  $\lambda_1$ ,  $\lambda_2$  і  $\lambda_3$ , а інші три лазера формують випромінювання із горизонтальною поляризацією відповідно на довжинах хвиль  $\lambda_1$ ,  $\lambda_2$  і  $\lambda_3$ , що забезпечує вимірювання з підвищеною точністю.

У розділі 5 були розглянуті основні елементи охорони праці а також зазначена техніка безпеки при експлуатації пристроїв з лазерним випроміненням.

У розділі 6 розглянута тема охорони навколишнього середовища, проведений аналіз утилізації відходів під час виробництва напівпровідникових матеріалів а також методи зменшення викидів токсичних відходів.

Матеріали дипломної роботи рекомендуються використовувати під час проведення наукових досліджень, у навчальному процесі та в практичній діяльності фахівців логістичних підрозділів.

## ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ.....

ВСТУП.....

### РОЗДІЛ 1 ОСНОВНІ ВІДОМОСТІ ПРО СПОСОБИ ВИМІРЮВАННЯ ШВИДКОСТІ, КУТА АТАКИ ТА ЗНОСУ А ТАКОЖ ЇХ РЕАЛІАЦІЯ НА ПЕВНИХ ПРИКЛАДАХ

1.1. Положення літака в просторі та визначення його швидкості а також його кута атаки  $\alpha$ .....

1.2. Методи та відомі прилади вимірювання кута атаки та зносу...

1.2.1. Флюгерний вимірювач для визначення аеродинамічних кутів....

1.2.2. Пневматичний вимірювач для визначення аеродинамічних кутів....

1.2.3. Гібридний прилад для визначення аеродинамічних кутів....

1.2.4. Сферичний вимірювач для визначення аеродинамічних кутів.....

1.2.5. Міточний вимірювач для визначення аеродинамічних кутів....

1.6. Висновки до розділу....

### РОЗДІЛ 2 ДОПЛЕРІВСЬКИЙ ТА ЛАЗЕРНИЙ ВИМІРЮВАЧІ КУТА АТАКИ, КОВЗАННЯ ТА ШВИДКОСТІ ПОЛЬОТУ

2.1. Загальні відомості про доплерівські та лазерні вимірювачі кута атаки, ковзання та швидкості польоту...

2.1.1. Доплерівський вимірювач швидкості, кута атаки та зносу...

2.1.2. Недоліки доплерівського вимірювача швидкості та кута зносу...

2.1.3. Класифікація доплерівських вимірювачів повітряно-швидкісних параметрів літальних апаратів...

2.1.4. Принцип дії доплерівського вимірювача швидкості...

2.2. Прототип лазерного вимірювача повітряно-швидкісних параметрів...

2.2.1. Сутність лазера як винаходу приладу...

2.2.2. Сутність лазерного вимірювача повітряно-швидкісних параметрів літальних апаратів...

2.2.3. Основна складова існуючого прототипу лазерного вимірювача повітряно-швидкісних параметрів та його принцип дії...

2.3.Висновки до розділу...

## РОЗДІЛ 3 ПРОТОТИП ЛАЗЕРНОГО ПРИСТРОЮ ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ ПОВІТРЯНО-ШВИДКІСНИХ ПАРАМЕТРІВ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ ЗА ДЕРЖАВНИМ ПАТЕНТОМ «UA 122005 C2»

3.1.Загальні відомості...

3.2.Сутність прототипу як винаходу...

3.3.Принцип побудови пристрою...

3.4.Принцип дії...

3.5.Висновки до розділу...

## РОЗДІЛ 4 РОЗРОБКА БАГАТОХВИЛЬОВОГО ЛАЗЕРНОГО ВИМІРЮВАЧА КУТА АТАКИ ТА КОВЗАННЯ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ

4.1.Вдосконалення лазерного вимірювача кута атаки та ковзання літального апарату...

4.2.Метод вдосконалення прототипу...

4.3.Сутність пропонованого прототипу...

4.4.Принцип побудови багатохвильового вимірювача кута атаки та ковзання...

4.5.Принцип дії...

4.6.Висновки до розділу...

## РОЗДІЛ 5 ОХОРОНА ПРАЦІ

5.1.Положення про охорону праці...

5.2.Елементи охорони праці...

5.3.Небезпечні фактори на виробництві...

5.3.Класифікація небезпечних та шкідливих виробничих факторів...

5.4.Визначення максимально допустимого рівня лазерного опромінення при взаємодії зі шкірою та очима людини...

5.4.1.Приклад визначення гранично допустимого рівня лазерного опромінення...

5.4.2.Засоби захисту від лазерного випромінювання...



5.5.Інструкція з охорони праці для проектованого об'єкту під час його монтажу та обслуговування...

5.5.1.Загальні положення про безпеку при роботі з лазерними пристроями...

5.5.2.Заходи безпеки...

5.5.3.Обмежувальні заходи персоналу при експлуатації лазерного устаткування...

5.6.Розрахунок природного освітлення робочого місця персоналу...

5.7.Пожежна безпека та аварійні ситуації...

5.8.Висновки до розділу...

## РОЗДІЛ 6 ОХОРОНА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

6.1.Загальні відомості про охорону навколишнього середовища...

6.2.Аналіз факторів техногенних чинників які впливають на клімат...

6.2.1.Визначення сумарного потоку забруднюючих речовин...

6.3.Аналіз впливу матеріалів, що застосовуються при виготовленні лазерного вимірювача...

6.3.1.Технологічний процес та засоби контролю відходів...

6.3.2.Вплив виробництва на біосферу...

6.4.Аналіз заходів для зниження рівня негативного впливу заводів на екологічний стан планети...

6.4.1.Захист ґрунтових вод...

6.4.2.Захист від небезпечних викидів до атмосфери...

6.4.3.Раціональне регулювання енергоспоживання...

6.4.5.Утилізація та відновлення відходів...

6.5.Висновки до розділу...

## ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

ДВШП	-Доплерівський вимірювач швидкісних параметрів
ЛВПШПЛА	-Лазерний вимірювач повітряно-швидкісних параметрів літальних апаратів
ІК ВШП	-Інформаційний комплекс висотно-швидкісних параметрів
ПС	-Повітряне судно
ЛА	-Літальний апарат
БЛВПШПЛА	- Багатохвильовий лазерний вимірювач повітряно-швидкісних параметрів літальних апаратів

## ВСТУП

Польоти літаків виконуються в межах атмосфери, де виконання основних польотних завдань пов'язано з пілотуванням по вектору повітряної швидкості, положення якого в швидкісній системі координат визначається аеродинамічними кутами атаки і ковзання.

Кут атаки є основним аеродинамічним параметром, що визначає поведінку літального апарату (ЛА) в повітрі і його пілотажні характеристики.

Об'єктом дослідження - є способи а також методи вимірювання кутів атаки та ковзання.

Предметом дослідження – є розробка нового прототипу лазерного вимірювача кутів атаки та ковзання у вигляді багатохвильового рішення

Методи дослідження – загальнонаукові фізичні методи а також методи системного і порівняльного характеру.

Сигнали по куту атаки використовують як основні при попередженні і запобіганні критичних режимів польоту, для поліпшення стійкості і керованості ЛА, при реалізації адаптивної аеродинаміки крила і управлінні тягою двигунів. Наявність достовірної інформації по аеродинамічним кутам дозволяє найбільш точно використовувати льотно-технічні можливості ЛА, забезпечити безпеку і ефективність польотів.

Наукова новизна дослідження: Проблема підвищення безпеки та ефективності польотів в даний час обумовлює актуальність завдання вимірювання кутів атаки з похибкою  $\sigma_{\Delta\alpha} = -0,1 \dots 0,3^\circ$  практично з початку розбігу і до посадки, особливо при здійсненні ЛА просторових маневрів. Кут атаки  $\alpha$  - кут між поздовжньою віссю літака  $OX$  і проекцією вектора повітряної швидкості  $V$  на площину симетрії  $YOX$  пов'язаної системи координат. Кут ковзання  $\beta$  вимірюють між вектором повітряної швидкості  $V$  і площиною симетрії літака  $YOX$ .

Далі у роботі буде розглянуто декілька методів вимірювання кутів атаки та ковзання, а також представлено новий варіант лазерного вимірювача кутів

атаки та ковзання, з усунутими недоліками які має існуючий прототип по патенту «Патент Российской Федерации RU№2314541 «Способ и устройство определения воздушно-скоростных параметров полета ЛА» (Июл.№1,2008.)».

Новий прототип лазерного вимірювача кутів атаки та ковзання за патентом «UA 122005 C2» «Пристрій для вимірювання повітряно-швидкісних параметрів літальних апаратів» включає в себе лазер, фокусуючий об'єктив, а також три вимірювальних канали, оптична схема яких включає послідовно встановлені інтерференційний світлофільтр, лінзу, діафрагму з коловим отвором, три фотоприймача, виходи яких з'єднані з смуговим фільтром, а також три вимірювачі доплерівських частот, виходи яких під'єднані зі виходами мікропроцесора, який відрізняється тим, що в ньому додатково встановлений оптичний прийомний блок, який складається з оптично – погоджених об'єктивів та апертурної діафрагми з шістьма отворами, при цьому чотири з яких знаходяться в площині симетрії X, Z ЛА, та розміщені попарно симетрично відносно оптичної вісі об'єктива, яка співпадає з повздовжньою віссю ЛА, два інших отвори діафрагми розміщені в площині YXZ ЛА, симетрично відносно повздовжньої вісі OX ЛА, а також трьох двохчастотних інтерферометрів, які забезпечують просторове поєднання хвильових векторів пучків попарно, які проходять через отвори діафрагми, а також близьку до нуля різницю оптичного руху пучків при їх виході з інтерферометра, виходи трьох інтерферометрів оптично погоджені зі входами оптичних схем трьох вимірювальних каналів;

Крім того, оптична вісь фокусуючого об'єктива складає кут  $\gamma$  повздовжньою віссю OX ЛА, а оптична вісь приймального блоку співпадає з повздовжньою віссю OX, що забезпечує прийом випромінювання із зони вимірювання, розміщеної на повздовжній вісі OX ЛА в фокусі фокусуючого об'єктива, куди спрямовується зондуєчий пучок лазера, потужність якого змінюється в залежності від висоти польоту.

Пристрій, відрізняється тим, що двохчастотний інтерферометр, на вхід якого подається два паралельних пучки, складається з оптично погоджених селективного дзеркала на шляху одного з пучків, а також пристрою зсуву частот, підключеного до генератора високих частот, на шляху другого пучка, а також складової призми змішувача, яка просторово – поєднує хвильові вектори цих двох пучків та компенсує оптичну різницю ходу двох пучків в інтерферометрі.

Пристрій також може відрізняється тим, що вихід лазера, розміщеного на борту ЛА, через волокно-оптичний провід узгоджений з фокусуючим об'єктивом, а виходи трьох інтерферометрів через відповідні волокно – оптичні проводи оптично узгоджені з оптичними схемами трьох вимірювальних каналів.

Також пристрій буде мати перевагу від існуючого в тому, що кут  $\gamma$  може бути в діапазоні  $\gamma = 0 \dots 60$  градусів а також тим, що потужність лазерного пучка автоматично регулюється в залежності від висоти польоту ЛА.

Далі у роботі буде представлена модернізація лазерного вимірювача кутів атаки та ковзання у вигляді багатохвильового рішення для збільшення точності вимірювання і відповідно зменшення інструментальної та методичної похибок на базі патенту на винахід «UA 122005 C2 МПК G01P 3/36 (2006.1) G01 5/50» «Пристрій для вимірювання повітряно-швидкісних параметрів літальних апаратів».

Модифікований «Багатохвильовий лазерний вимірювач кутів атаки та ковзання» відрізняється тим, що складається із шести напівпровідникових лазерів, три з яких формують випромінювання у вертикальній площині поляризації на довжинах хвиль  $\lambda_1$ ,  $\lambda_2$  і  $\lambda_3$ , а інші три лазера формують випромінювання із горизонтальною поляризацією відповідно на довжинах хвиль  $\lambda_1$ ,  $\lambda_2$  і  $\lambda_3$ , чотирьох об'єктивів, семи пристроїв зсуву частот, чотирьох фазорегуляторів, чотирьох селективних розщеплювачів та змішувачів випромінювання, чотирьох фотоприймачів поєднаних із відповідними

доплерівськими вимірювачами, а також цифрового обчислювача, який надає із високою точністю інформацію про три параметри вимірювання а саме швидкості  $V$ , кута атаки  $\alpha$  та кута ковзання  $\beta$ .

Дипломна робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел із ... найменувань.

# РОЗДІЛ 1

## ОСНОВНІ ВІДОМОСТІ ПРО СПОСОБИ ВИМІРЮВАННЯ ШВИДКОСТІ, КУТА АТАКИ ТА ЗНОСУ А ТАКОЖ ЇХ РЕАЛІАЦІЯ НА ПЕВНИХ ПРИКЛАДАХ

### 1.1. Положення літака в просторі та визначення його швидкості а також його кута атаки $\alpha$

Політ літака характеризується багатьма параметрами, основним з яких є швидкість.

Швидкість польоту літака можна визначити по відношенню до повітряного середовища або відносно Земної поверхні, причому можна розглядати як горизонтальну, так і вертикальну складові швидкості.

Розрізняють такі швидкості польоту:

Істинну повітряну, приладову, шляхову і вертикальну.

Істинною повітряною швидкістю називається швидкість руху літака щодо повітряних мас.

Приладова швидкість - справжня повітряна швидкість, приведена до нормальної щільності повітря. Якщо політ відбувається при нормальній щільності повітря ( $\rho = 1,225 \text{ кг/м}^3$ ), то приладова швидкість буде збігатися з істинною.

Шляховою швидкість - це горизонтальна складова швидкості руху літака відносно Землі а також шляхова швидкість дорівнює геометричній сумі горизонтальних складових істинної повітряної швидкості і швидкості повітря.

Вертикальна швидкість - це вертикальна складова швидкості руху літака відносно Земної поверхні.

<b>Кафедра авіоніки</b>				<i>НАУ 19 14 47 000 ПЗ</i>			
<i>Виконав</i>	<i>Овенко А.В.</i>			ОСНОВНІ ВІДОМОСТІ ПРО СПОСОБИ ВИМІРЮВАННЯ ШВИДКОСТІ, КУТА АТАКИ ТА ЗНОСУ А ТАКОЖ ЇХ РЕАЛІАЦІЯ НА ПЕВНИХ ПРИКЛАДАХ	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Акрушів</i>
<i>Керівник</i>	<i>Землянський В.М</i>					11	
<i>Консульт.</i>					<b>6.051103 «Авіоніка»</b>		
<i>Н-контр.</i>	<i>Лееківський В.В</i>						
<i>Зав. каф.</i>	<i>Паєлова С.В.</i>						

Приладова швидкість, вона також відома як індикаторна - дозволяє з певною точністю вимірювати величину швидкісного напору в польоті, від величини якого залежать аеродинамічні сили, що діють на літак, характеристики стійкості а також керованості, дозволяють визначити мінімальну безпечну швидкість польоту для конкретного типу літальних апаратів. Тобто, інформація про величину приладової швидкості необхідна льотчику для літаководіння.

Отже, можна зробити висновок, що інформація про істинну повітряну і шляхову швидкості необхідні для вирішення задач літаководіння а також для визначення кута атаки та ковзання.

Прилади, найчастіше складаються з датчика і індикатора, розміщених або в одному корпусі, або з'єднаних між собою дистанційною передачею, через дроти, бездротовий радіозв'язок тощо.

Датчик вимірює і перетворює інформацію в електричний сигнал, а індикатор в свою чергу виводить інформацію на лицьовій панелі індикатора який знаходиться на панелі приладної дошки.

На сучасних літальних апаратах, де відображення польотної інформації здійснюється на екранах багатофункціональних дисплеїв, традиційне розуміння приладів, як вимірювальних пристроїв з відображенням інформації, відходить у минуле. На їх місце приходять інформаційні комплекси висотно-швидкісних параметрів (ІК ВШП). ІК ВШП приймає і вимірює необхідний параметр, перетворює його в сигнал який сприймається обчислювальною системою літаководіння (ОСЛ).

ОСЛ, в свою чергу, вирішує завдання з обробки і передачі інформації про той чи інший параметр (швидкість, висоту і т.д.) на індикацію і в системи які очікують цю інформацію.

Існують такі методи вимірювання:



-аерометричний метод, заснований на вимірюванні швидкісного (динамічного) напору повітря, функціонально пов'язаного зі швидкістю польоту;

-доплерівський метод вимірювання швидкості польоту, який зводиться до вимірювання доплерівського зсуву частот відбитого від Землі радіосигналу;

-інерціальний метод, заснований на вимірюванні прискорень і одноразовому інтегруванні отриманих сигналів. При цьому відповідні складові прискорення руху літака визначаються за допомогою акселерометрів (датчиків вимірювання прискорень).

Цей метод дозволяє визначати, крім шляховий швидкості, координати місцезнаходження літака, істинний курс, шляховий кут і ряд інших параметрів.

Діапазон робочих кутів атаки літака знаходиться в межах  $-20...40^\circ$ , кутів ковзання -  $\pm 15...20^\circ$ . На режимах надманевреності верхня межа діапазону вимірювання кута атаки літака зростає до  $+90... 120^\circ$ .

Для літаків з вертикальним зльотом і посадкою кут може змінюватися в діапазоні  $\pm 70... \pm 90^\circ$ .

Для визначення аеродинамічних характеристик на літаках застосовуються вимірювачі аеродинамічних кутів. Розрізняють місцевий і істинний аеродинамічні кути. Під місцевим (локальним) розуміють такий кут, який характеризує відхилення потоку повітря щодо осі ЛА в тому місці, де встановлено його вимірювач. Під істинним кутом розуміють теоретичний аеродинамічний кут за основним визначенням кута атаки і ковзання, які визначають в цілому орієнтацію осі ЛА щодо вектора повітряної швидкості.

Наближене значення істинного аерометричного кута атаки можна визначити по аналітичній залежності:

$$a_{и} = K_a \cdot a_m + a_y \sim a_m \cdot K_a (M, P) + K_0 (M, P),$$

де:  $K_a$  - аеродинамічний коефіцієнт,  $a_y$  - значення початкового установчого кута атаки,  $K_0$  - аеродинамічний коефіцієнт,  $M$  - число Маха,  $\beta$  - кут ковзання,  $a_m$  - значення місцевого кута.

Сталість коефіцієнтів  $K_a$  і  $K_0$  визначається правильним вибором місця установки датчика. Значення цих коефіцієнтів визначаються методом найменших квадратів на основі польотних вимірювань кута атаки і розрахунком істинного кута атаки для конкретного ЛА.

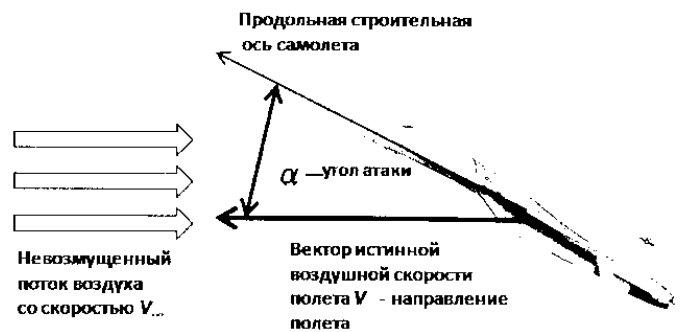


Рис.1.1 положення літака та кут атаки  $\alpha$

При польотах на високих швидкостях та критичних режимах польоту слід пам'ятати про критичний кут атаки.

Критичним кутом атаки називають кут атаки, який відповідає максимальному коефіцієнту підйому.

Під критичним кутом атаки, коли кут атаки зменшується, коефіцієнт підйому зменшується. І навпаки, вище критичного кута атаки, коли кут атаки збільшується, повітря починає плавно перетікати над верхньою поверхнею профілю і починає відокремлюватися від верхньої поверхні. На більшості форм аеродинамічного профілю при збільшенні кута атаки верхня точка поділу поверхні переміщується від задньої кромки до передньої кромки. При критичному куті атаки верхній поверхневий потік більш відокремлений, а аеродинамічний профіль або крило виробляють його максимальний коефіцієнт підйому. Оскільки кут атаки збільшується далі, верхній

поверхневий потік стає більш розділеним і коефіцієнт підйому ще більше зменшується.

При такому куті атаки, як кажуть, літак знаходиться у небезпечному положенні. Літальний апарат з фіксованим крилом за визначенням затримується на критичному куті атаки або вище критичного, нижче певної швидкості. Повітряна швидкість, при якій літак прагне випрямитись, залежить від ваги літака, на коефіцієнта навантаження, центру ваги літака та інших факторів. Однак літак завжди стоїть на одному і тому ж критичному куті атаки. Критичний або критичний кут атаки крила зазвичай становить близько  $15^{\circ}$  -  $20^{\circ}$  для багатьох аеродинамічних профілів.

Сучасні літаки обладнані вбудованою системою автоматичного керування, комп'ютером, який автоматично запобігає збільшенню кута атаки літака, коли досягається максимальний кут атаки, незалежно від дій пілота. Це називається "обмежувач кута атаки" або "обмежувач альфа". Сучасні авіалайнери, що мають технологію fly-by-wire, тобто передачу сигналів на відхиляючі поверхні за допомогою передачі сигналів від штурвалів пілотів (або «сайдстіків» на деяких літаках) мережевих дротів, уникають критичного кута атаки за допомогою програмного забезпечення в комп'ютерних системах, які керують відхиляючими поверхнями.

У операціях зльоту та посадки з коротких злітно-посадкових смуг, таких як операції морського авіаперевізника та літаки STOL, країна може оснащувати літаки індикаторами Lift Reserve. Ці індикатори вимірюють кут атаки або потенціал підйому крила (POWL, або Lift Reserve) безпосередньо допомагають пілоту літати ближче до точки зриву з більшою точністю. Операції STOL вимагають, щоб повітряні судна могли працювати близько до критичного кута атаки під час посадки і при кращому куті підйому під час

зльоту. Індикатори кута атаки використовуються пілотами для досягнення максимальної продуктивності під час цих маневрів.

Також можна зазначити, що вимірювачі аеродинамічних кутів можна розділити на три класи:

1.*Зондові вимірювачі* різних принципів дії і конструкцій, що визначають місцеві (локальні) напрямки набігаючого повітряного потоку в точці розміщення зонда з наступним перерахунком значень місцевого кута в істинний.

2.*Аналітичні вимірювачі*, що визначають істинні значення аеродинамічних кутів шляхом розв'язання рівнянь руху щодо цих кутів. Мається на увазі, що в алгоритмах обчислювача містяться змінні величини швидкості, прискорення, маси, числа Маха, виміряні бортовими датчиками і системами.

3.*Комплексні вимірювачі*, які об'єднують різні типи зондових і аналітичних вимірників.

Найбільше застосування знайшли зондові вимірювачі місцевого кута атаки, завдяки можливості створення нових і модернізації відомих конструкцій з метою підвищення їх точності і забезпечення безперервного контролю справності.

## **1.2. Методи та відомі прилади вимірювання кута атаки та зносу**

Як було зазначено раніше, в сучасній авіації використовуються такі методи вимірювання:

-аерометричний метод, заснований на вимірюванні швидкісного напору повітря;

-доплерівський метод вимірювання швидкості польоту, який заснований на явищі доплерівського зсуву частот відбитого від Землі радіосигналу;

-інерціальний метод, заснований на вимірюванні прискорень і одноразовому інтегруванні отриманих сигналів.

Далі будуть розглянуті прилади вимірювання кутів атаки та ковзання та їх сучасні аналоги.

### 1.2.1. Флюгерний вимірювач для визначення аеродинамічних кутів

Вимірювач аеродинамічних кутів флюгерний призначений для вимірювання місцевих аеродинамічних кутів - кута атаки  $\alpha$  й кута ковзання  $\beta$ .

Характерною його особливістю є те, що в якості первинного перетворювача (чутливого елемента) використовується зонд у вигляді флюгарки, яка найчастіше являє собою симетричний клин з малим кутом, винесений за межі прикордонного шару ЛА. Під дією аеродинамічних сил флюгер орієнтується у напрямку набігаючого на нього повітряного потоку і кутове положення флюгера щодо напрямлення поздовжньої осі ЛА визначає величину аеродинамічного кута в місці установки датчика. Корпус датчика закріплюється на обшивці поблизу носової частини ЛА, де є певні умови обтікання, отже, вимірюваний місцевий аеродинамічний кут слабо залежить від швидкості і висоти польоту, стану навколишнього середовища та інших зовнішніх факторів. При вимірюванні кута атаки для виключення впливу ковзання ЛА зазвичай використовують два датчика, встановлені по правому і лівому борту.

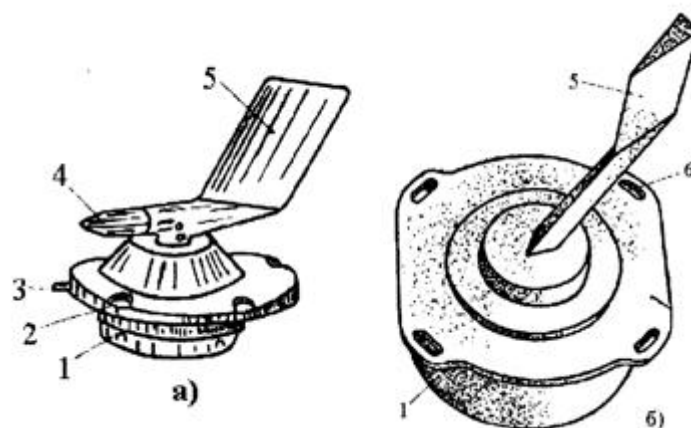


Рис.1.2 зовнішній вигляд флюгерного датчика;

а - ДАУ-12, б - ДАУ-85, 1 - корпус, 2 - отвори для кріплення, 3 - фіксатор, 4 - противага, 5 - флюгарка, 6 - паз кріпильний.

Плюси цього вимірювача в їхній відносній простоті, невисокій вартості і зручності обслуговування, завдяки чому, вони були найбільш поширені.

Істотними недоліками слід вважати низьку точність на малих швидкостях польоту ЛА і малу смугу пропускання частот.

### 1.2.2. Пневматичний вимірювач для визначення аеродинамічних кутів

Пневматичний (щілинний) вимірювач аеродинамічних кутів є другим за поширеністю вимірювачем кута атаки після флюгерного.

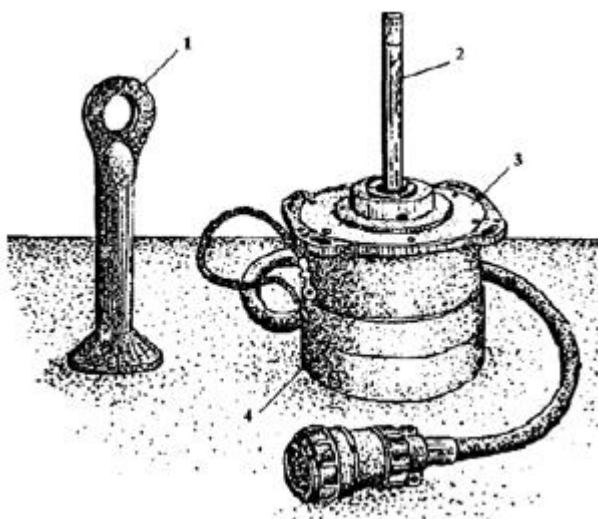


Рис.1.3 Зовнішній вигляд пневматичного датчика аеродинамічних кутів атаки  
1 - чохол; 2 - зонд; 3 - фланець кріплення; 4 – корпус;

Як і флюгерний вимірювач, пневматичний вимірює місцеві аеродинамічні кути.

Принциповими відмінностями між ними є підвищені динамічні характеристики, більш коректна форма чутливого елемента і підвищена чутливість до скосу потоку повітря на малих швидкостях польоту пневматичного вимірника.

До особливостей пневматичного вимірника відносяться принцип створення рушійного моменту. Якщо у флюгерному вимірнику створення рушійного моменту пов'язано з підйомною силою крила в повітряному потоці, то в пневматичному вимірювачу рушійний момент залежить від характеру обтікання чутливого елемента і перепаду тиску, що впливає на крильчатки, що призводить до підвищеної чутливості вимірювача відносно скосам потоку.

До недоліків слід віднести знижену надійність через можливість засмічення в процесі експлуатації пневматичних трактів і більш високу складність, в порівнянні з флюгерним вимірювачем.

Однак Американські фахівці фірми «Teledine» і англійські фахівці фірми Ferranti розробили механічні датчики аерометричних кутів з конічними зондами для швидкісних ЛА.

Перевагами такого конусного датчика є те, що спроектовано більш акуратне аеродинамічний тіло у вигляді конуса з меншим лобовим опором в потоці повітря за обшивкою ЛА;

До недоліків конусного датчика слід віднести:

- технологічні труднощі розміщення елементів обігріву в зонді;
- менша чутливість через зменшення коефіцієнта форми.

### **1.2.3. Гібридний прилад для визначення аеродинамічних кутів**

Спонукальними факторами для дослідження і розробки суміщених вимірювачів аеродинамічних кутів є спроба вдосконалення метрологічних і масогабаритних характеристик, підвищення безпеки польоту ЛА і скорочення матеріальних витрат при випробуванні ЛА.

Поєднаний вимірювач аеродинамічних кутів призначений для одночасного вимірювання місцевих кутів атаки, ковзання, повного і статичного тисків.

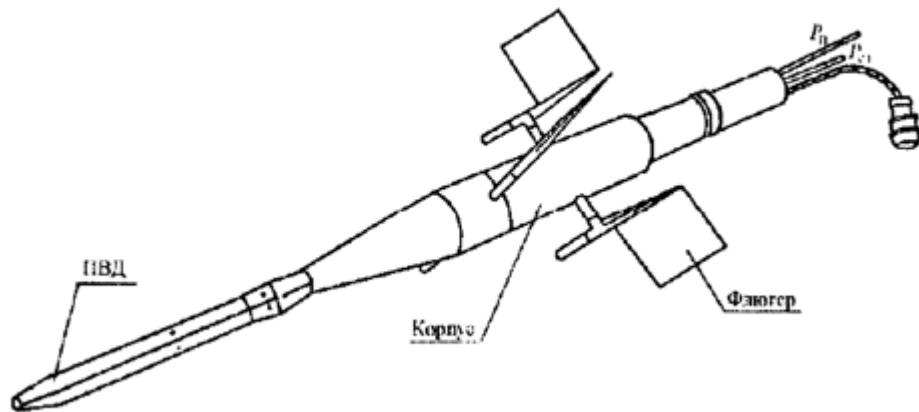


Рис.1.4 Зовнішній вигляд поєднаного датчика вимірювання швидкості, аеродинамічних кутів атаки та ковзання

Використовується для вимірювання аеродинамічних параметрів в польоті вертольотів і літаків. Для цього вони за допомогою штанги виносяться вперед фюзеляжу у відносно спокійну зону повітряного потоку.

При використанні даного датчика значно підвищується точність сприйняття тисків і вимірювання кутів атаки і ковзання за рахунок виносу конструкцій датчика за межі обшивки ЛА в повітряний незбурений потік на спеціальній штанзі. При цьому зменшується загальна маса приладів і число елементів конструкції, які виступають за межі обшивки ЛА. Цей тип вимірювача часто застосовується при дослідженні нових типів ЛА і порівняльних випробуваннях інших типів бортових «ДАУ» і «ПВД».

Поєднані вимірювачі аеродинамічних кутів вирішують проблему одночасного точного вимірювання місцевих аеродинамічних кутів і сприйняття тиску повного і статичного в їх широких діапазонах. Крім того, ці прилади володіють достатньою універсальністю, що дозволяє встановлювати їх на різних ЛА без додаткового доопрацювання і дорогого налаштування.

Недоліки цих приладів «ДУАС» і «ДУАС-ПВД» можуть бути наступні:

- Вони спотворюють аеродинаміку ЛА;
- деякі можуть затінювати огляд пілотам простір попереду ЛА;



- Не виключена можливість зриву конструкції ДУАС - штанга з літака;
- Вузкий діапазон кутів атаки і ковзання ( $\pm 15^\circ$ ), де сприйняття тисків здійснюється з прийнятною точністю. За межею цього діапазону кутова похибка «ПВД» зростає з великою інтенсивністю.

У зв'язку з цим найчастіше в штатному варіанті «ДУАС» і «ДУАС-ПВД» встановлюються на вертольотах, де інші варіанти датчиків не можуть працювати, і надзвукових літаках. На інших ЛА ці прилади використовуються в якості еталонних при випробуваннях бортових типів вимірювачів аеродинамічних параметрів які встановлені на фюзеляжі.

#### 1.2.4. Сферичний вимірювач для визначення аеродинамічних кутів

Сферичний вимірювач аеродинамічних кутів призначений, як і вище розглянуті, для вимірювання місцевих кутів. У ньому використовуються аеродинамічні властивості сфери в повітряному потоці. Цим він схожий з пневматичному датчиком, коли в якості зонда застосовується сфера.

Основною його відмінністю від всіх розглянутих вимірювачів є відсутність обертових частин конструкції. Іноді такий вимірювач називають багато дірковим в зв'язку з тим, що в сфері робиться багато отворів. Частим варіантом сферичного вимірювача є півсферичний зонд з п'ятьма отворами.

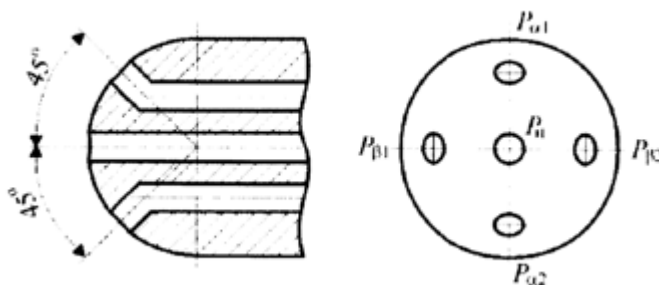


Рис.1.5 Напівсферичний зонд для вимірювання напрямку потоку повітря

Ідея створення сферичного датчика з'явилася в кінці 20-х років ХХ століття для приймання тиску під різними кутами. Вже тоді було встановлено, що

чутливість приймачів тиску у вигляді сфери максимальна, якщо кут похилих отворів становить з центральною віссю приймача від 40 до 45 градусів на дозвукових швидкостях.

Своє застосування ці датчики отримали при лабораторних дослідженнях повітряних потоків, наприклад, для вимірювання параметрів потоків газів в системах згорання. При цьому найпоширенішим виявився поєднаний вимірювач, який поєднує в собі приймачі повного та статичного тисків а також вимірювач напрямку потоку повітря по аналогії з аерометричним вимірювачем повітряної швидкості та кутів ковзання.

Зонд такого вимірювача є комбінацією приймача повітряного тиску «ПВД» з півсферою в його головній частині з п'ятьма отворами.

Позитивні якості цього датчика це надійність, в зв'язку з відсутністю обертових частин конструкції, малі габарити і мала маса.

До його недоліків можна віднести те, що обмежені робочі аеродинамічні кути в межах від 60-65 градусів, необхідність ретельної тарировки датчика в аеродинамічній трубці з частиною ЛА, де він встановлений. Тому сферичні датчики не можуть бути універсальними і застосовувалися вони тільки в лабораторних дослідженнях і на унікальних ЛА типу космічних кораблів багаторазового використання таких як по типу «Шатл» або «Буран».

#### **1.2.5. Міточний вимірювач для визначення аеродинамічних кутів**

Вимірювач аеродинамічних кутів міточного типу має єдину відмінність від розглянутих вище - відсутність громіздкої конструкції зонда в потоці. Носієм інформації є електрична мітка, яка рухається з середньою швидкістю в потоці, відстежуючи його напрямок.

Міточний вимірювач кутів відноситься також до вимірювачів місцевих аеродинамічних кутів.

Мірою швидкості в потоці є час прольоту міткою постійного відстані  $L$  між електродами 1 і 3.

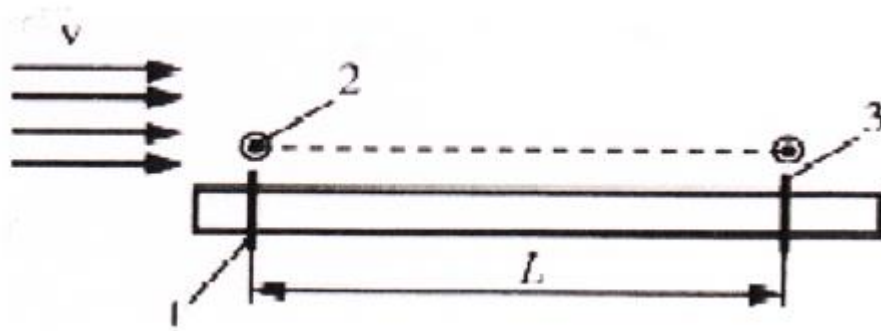


Рис.1.6 Принципова схема міточного вимірювача: 1 - електроди генератора міток, 2 - мітка, 3 - приймальний електрод, L - мірна база (довжина вимірювальної площини).

Джерелом іскровий мітки є два електроди з нікелю або вольфраму, на які з генератора періодично подаються імпульси високої напруги. Електроди поміщаються безпосередньо в потік повітря. В процесі електричного розряду виникає іонізація повітря, що знаходиться між електродами, створюється іонна хмарка яка несеться потоком повітря до приймального електрода по мірній базі L.

Найчастіше мітка носить явно виражений позитивний заряд. Мітка має малі розміри, які визначаються міжелектродною відстанню розрядника генератора міток.

Для надійного вимірювання аеродинамічних параметрів мітка - носій інформації повинна мати такі якості:

- Мати малі геометричні розміри;
- Мати яскраво виражений заряд (частіше позитивний);
- Мати здатність наводити сигнал для її реєстрації при польоті на великій висоті;
- Мати велику потужність сигналу;
- Мати достатній час існування в своїх геометричних розмірах.

## **1.6. Висновки до розділу**

Як і було зазначено, польоти літаків здійснюються в межах атмосфери, де виконання основних польотних завдань пов'язано з пілотуванням по вектору повітряної швидкості, положення якого в швидкісній системі координат визначається аеродинамічними кутами атаки і ковзання, в цьому розділі були представлені основні способи вимірювання та вже давно реалізовані пристрої вимірювання кутів атаки та ковзання, їх переваги та недоліки.

Також можна зробити висновок, що кут атаки є одним з основних аеродинамічних параметрів, що визначають поведінку літальних апаратів в повітрі і пілотажні характеристики самого літального апарату.

## РОЗДІЛ 2

### ДОПЛЕРІВСЬКИЙ ТА ЛАЗЕРНИЙ ВИМІРЮВАЧІ КУТА АТАКИ, КОВЗАННЯ ТА ШВИДКОСТІ ПОЛЬОТУ

#### 2.1. Загальні відомості про доплерівські та лазерні вимірювачі кута атаки, ковзання та швидкості польоту

Лазерний вимірювач повітряно-швидкісних параметрів є найбільш сучасним та складнішим в реалізації, але для початку необхідно розглянути принцип дії лазера а також роботу доплерівського вимірювача кута атаки та ковзання.

Лазер – це, джерело [когерентного](#), [монохроматичного](#) і вузьконаправленого електромагнітного випромінювання оптичного діапазону, яке характеризується великою густиною енергії. Існують газові лазери, рідинні та на твердих тілах таких як діелектричні кристали, скло, напівпровідникові матеріали тощо. В лазері може бути перетворення різних видів енергії в енергію лазерного випромінювання. Головний елемент лазера це активне середовище, для утворення якого використовують: вплив світла, електричний розряд у газах, хімічні реакції, випромінювання електронним пучком а також інші фізичні елементи. Активне середовище розташоване між [дзеркалами](#), які утворюють оптичний [резонатор](#). Також можна зазначити що існують лазери неперервної та імпульсної дії. Лазери отримали широке застосування в наукових дослідженнях [фізика](#), [хімія](#), [біологія](#), [голографії](#) і в [техніці](#), насамперед а авіаційній галузі.

<b>Кафедра авіоники</b>				<b>НАУ 19 14 47 000 ПЗ</b>			
<b>Виконав</b>	<b>Овенко А.В.</b>			<b>ДОПЛЕРІВСЬКИЙ ТА ЛАЗЕРНИЙ ВИМІРЮВАЧІ КУТА АТАКИ, КОВЗАННЯ ТА ШВИДКОСТІ ПОЛЬОТУ</b>	<b>Літ.</b>	<b>Арк.</b>	<b>Акрушів</b>
<b>Керівник</b>	<b>Землянський В.М</b>					25	
<b>Консульт.</b>					<b>6.051103 «Авіоніка»</b>		
<b>Н-контр.</b>	<b>Левківський В.В</b>						
<b>Зав. каф.</b>	<b>Павлова С.В</b>						

### **2.1.1. Доплерівський вимірювач швидкості, кута атаки та зносу**

Ідея створення лазерного вимірювача з'явилася після створення радіолокаційних доплерівських бортових вимірювачів (Доплерівський вимірювач швидкості та кута зносу).

Можна сказати, що «ДИСС» (ДВШЗ) - бортове устаткування, відноситься до радіолокаційних пристроїв, який заснований на використанні ефекту Доплера, призначений для автоматичного безперервного вимірювання і індикації складових вектора швидкості, модуля шляховий швидкості, кута зносу і координат літального апарату, автономно або в комплексі з навігаційним обладнанням.

На відміну від покажчика швидкості манометричного типу, який показує швидкість ЛА щодо повітряного середовища, т, н, повітряну швидкість, «ДИСС» визначає швидкість відносно земної поверхні.

Літакові «ДИСС», як правило, призначені для визначення шляхової швидкості і кута зносу або горизонтальних складових швидкості. Вертолітні «ДИСС» дозволяють визначити три складові вектора повної швидкості тобто поздовжню, поперечну і вертикальну швидкість.

Оскільки вектор шляхової швидкості літака завжди спрямований вперед і відхилений від поздовжньої осі літака на кут не більше 20... 25°, то знак доплерівського зсуву частоти по кожному з променів відомий заздалегідь і визначати його в польоті не потрібно.

Переміщення вертольота в просторі може бути довільним. У ряді випадків, наприклад у режимі висіння, вектор швидкості може дорівнювати нулю або бути поблизу нуля і змінювати напрямок. У зв'язку з цим в вертолітних «ДИСС» необхідно вимірювати доплерівські частоти аж до значень, близьких до нуля, а також визначати їх знак. Крім того, вертолітні «ДИСС»

характеризуються більшим обсягом вихідних даних, оскільки поряд з трьома складовими вектора швидкості в польоті по маршруту вимірюється колійна швидкість і кут зносу, а також здійснюється числення координат.

Однопроменеві і багатопроменеві «ДИСС» розрізняються кількістю променів, які формуються антенною системою. В даний час найбільш широко використовуються чотирипроменні літакові і трьохпроменеві вертолітні доплерівські вимірювачі швидкості.

Односторонні «ДИСС» мають орієнтацію всіх променів або в передню, або в задню півсферу приведену до вертикальної площини, що проходить через поперечну вісь повітряного судна. Для двосторонніх вимірювачів ця умова не враховується.

Принцип побудови «ДИСС» залежить від режиму випромінювання і виду модуляції випромінюваних коливань. В сучасних «ДИСС» використовуються наступні коливання:

- НМ - немодульований (безперервний режим);
- ЧС - безперервні частотно-модульовані (режим частотної модуляції);
- НІМ - неперервно-імпульсні з малою скважністю (безперервно-імпульсний режим);
- ІМ - імпульсні (імпульсний режим).

Залежно від використовуваного вимірювача доплерівської частоти розрізняють «ДИСС» з неслідкуючим і слідкуючим вимірювачем.

Спосіб виділення в вимірювачі доплерівської частоти з відбитого сигналу може бути когерентним або автокогерентним.

При когерентному прийомі частота відбитого сигналу порівнюється з частотою коливань передавача. При цьому можна визначити знак доплерівського зсуву частоти.

При випромінюванні імпульсних некогерентних коливань виділити доплерівську частоту, безпосередньо порівнювати за частотою

випромінювання і відбиті коливання, неможливо, так як вони зміщені в часі. В цьому випадку порівнюють фази або частоти коливань, одночасно прийнятих по парам променів антенною системою. Однак при такій обробці знак доплерівського зсуву частоти визначити не вдається. Тому режим роботи з випромінюванням імпульсних некогерентних коливань можна застосовувати тільки в літакових доплерівських вимірювачах.

Основною перевагою «ДИСС» з безперервним немодульованим випромінюванням є зосередженість спектра доплерівського сигналу в межах однієї, досить вузької, смуги частот, що забезпечує найбільш повне використання енергії сигналу.

Тому безперервне моделювання випромінювання - найбільш економічний режим роботи вимірювача.

У слідкуючих вузькосмугових доплерівських вимірювачах смуга пропускання тракту обробки або фільтра доплерівських частот узгоджена з шириною спектра доплерівського сигналу. Так як при зміні режимів польоту спектр зміщується по осі частот, то вимірювач будується на кшталт слідкуючої системи, що здійснює фільтрацію. У таких вимірювачах можуть використовуватися слідкуючі вимірювачі із застосуванням частотного дискримінатора або із застосуванням квадратурно-фазового дискримінатора. Слідкуючий вимірювач працює в двох режимах: режим пошуку сигналу і режим вимірювання середньої доплерівської частоти.

Сутність режиму пошуку полягає в знаходженні положення доплерівського спектра на осі частот. Це досягається або переміщенням по осі частот АЧХ смугового фільтра, або перебудовою частоти допоміжного генератора.

Невід'ємним елементом системи є частотний дискримінатор. Режим стеження призначений для підтримання сталості збігу спектра доплерівського сигналу з пропускнуою здатністю смугового фільтра, яке може порушитися при зміні режимів польоту повітряного судна. У режимі спостереження система працює як звичайний вимірювач.



### **2.1.2. Недоліки доплерівського вимірювача швидкості та кута зносу**

Недоліком «ДИСС» з безперервним випромінюванням є труднощі усунення проходження на вхід приймача сигналу передавача. Цей сигнал потрапляє на вхід приймача як внаслідок електричного зв'язку між приймальною і передавальною антеною, найчастіше розташованими поруч, так і внаслідок відображення прямого сигналу від елементів конструкції повітряного судна. Добутий сигнал зазвичай модульований по амплітуді і фазі за випадковим законом і при польоті повітряного судна на досить великій висоті може у багато разів перевищувати не тільки власні шуми приймача, але і сигнал, що приймається, що веде до зниження чутливості приймача.

Для зменшення впливу просочування цих сигналів в доплерівському вимірювачі використовується частотна модуляція або імпульсний режим випромінювання. В імпульсному режимі розв'язка приймального і передавального каналів здійснюється шляхом замикання приймача на час випромінювання імпульсу. Однак при цьому з'являються «сліпі» висоти, тобто пристрій виявляється непрацездатними на висотах, де час затримки відбитих сигналів кратно періоду повторення імпульсів.

Одним з основних недоліком доплерівського вимірювача з імпульсним випромінюванням і автокогерентною обробкою є погіршення якості роботи при крену і тангажу повітряного судна, а також при польоті над пересіченою місцевістю. При цьому має місце неодноразово прихід сигналів по парам променів, аж до відсутності їх перекриття в часі, в результаті чого різниці биття не утворюються. Усувають вплив крену і тангажа за допомогою стабілізації антени в горизонтальній площині. Слід також зазначити, що в доплерівському вимірювачі з автокогерентною обробкою сигналів можуть використовуватися генератори з невисокою стабільністю частоти, так як для виділення доплерівської частоти порівнюються одночасно, приходять по променям прийомної антени відбиті сигнали, на яких частотні і фазові

нестабільності позначаються в рівній мірі і при відніманні спектрів компенсуються.

«ДИСС» з частотною модуляцією, зберігаючи переваги безперервного випромінювання, дозволяють істотно знизити вплив шумової складової пройденого на вхід приймача випромінюваного сигналу, так як завдяки частотній модуляції спектр відбитого сигналу зсувається пропорційно його затримці. Однак в таких доплерівських вимірювачах зазвичай присутні «сліпі» висоти, що є їх недоліком.

### **2.1.3. Класифікація доплерівських вимірювачів повітряно-швидкісних параметрів літальних апаратів**

За призначенням виділяють літакові та вертолітні доплерівські вимірювачі:

Літакові - для вимірювання шляховий швидкості і кута зносу;

Вертолітні - для визначення складових вектора повної, поздовжньої, поперечної та, іноді, вертикальної швидкості;

Головна відмінність вертолітних вимірювачів від літакових в тому, що вони повинні оцінювати доплерівську частоту практично від нуля і з урахуванням її знака, а літакові в силу того, що літак летить тільки вперед і є мінімальна швидкість польоту, вимірюють тільки абсолютне значення (модуль) доплерівської частоти і при цьому при мінімальних значеннях, відмінних від нуля. Тому вертолітні вимірювачі складніше у виконанні ніж літакові.

По типу випромінювання розрізняють «ДИСС» з безперервним немодульованим і частотно-модульованим випромінюванням. Розроблені також вимірювач з імпульсним випромінюванням, але в серійне виробництво вони не пішли. Стандартні діапазони частот - 8,8-9,8 ГГц і 13,25-13,4 ГГц.

Залежно від особливостей технічної реалізації розрізняють наступні типи доплерівських вимірювачів:

- літакові і вертолітні;
- однопроменеві і багатопроменеві;
- з фіксованою і поворотною антеною системою;
- односторонні і двосторонні;
- з безперервним і імпульсним випромінюванням;
- з випромінюванням модульованих і немодульованих коливань;

#### **2.1.4. Принцип дії доплерівського вимірювача швидкості**

Принцип дії доплерівського вимірювача заснований на використанні ефекту Доплера, згідно з яким частота прийнятого сигналу, відбитого від певної поверхні, може відрізнитися від частоти випроміненого сигналу, і різниця залежить від співвідношення швидкостей об'єктів відносно один одного – «Ефект Доплера».

Для вимірювання швидкості вимірювач має антенну систему з декількома (3 або 4) гостронаправленої променями діаграми спрямованості. Прийнятий по кожному з цих променів сигнал має доплерівську частоту пропорційну проекції вектора швидкості літака на цей промінь. Для вимірювання вектора швидкості достатньо трьох променів, які не лежать в одній площині, але іноді використовуються чотири промені, що дає деяку надмірність без помітного ускладнення конструкції.

Даний метод має такий значний недолік, що принципово вимагає антен, які, як правило, мають значні габарити.

Крім того, відхилення кутів антен від номінального значення, наприклад, через температурних деформацій, призводить до погрешностей вимірів. Крім того, напрямок приходу максимального відбитого сигналу може відрізнитися від напрямку максимуму діаграми спрямованості, якщо потужність відбитого сигналу різко падає зі зменшенням кута падіння променя на землю, що також призводить до методичних помилок вимірювання. Цей ефект відображення, який отримав назву "дзеркального ефекту", особливо часто спостерігається

над спокійною поверхнею моря. Тому при використанні вимірювачів швидкості застосовують перемикач "суша-море" для внесення відповідних поправок в результати вимірювань.

Функціонально такий вимірювач включає в себе приймач з антенами, блоки виділення різницевих сигналів і вимірювання їх частоти, блоки обчислення векторів швидкості, пристрої індикації і сполучення з навігаційним обладнанням. Найбільш конструктивно складним елементом є антенна система. Так як вимірювач застосовує безперервне випромінювання, необхідно застосовувати окремі антени для прийому і випромінювання, при цьому необхідно забезпечити, щоб прямий вплив випромінювання передавача на вхід приймача було мінімальним. У вимірі знайшли застосування два типи антен, в старіших системах використовуються два окремі параболічні антени, з багатопробеневиими випромінювачами.

У новіших системах застосовують більш складну у виготовленні, але меншу за габаритами хвилевидну-щілинну антену.

Конструктивно функціональні вузли зазвичай представляють собою два великі блоки, високочастотний і низькочастотний, а також блок індикації в кабіні.

## **2.2. Прототип лазерного вимірювача повітряно-швидкісних параметрів**

Як було вище зазначено, лазерний вимірювач повітряно-швидкісних параметрів є найбільш сучасним та складнішим в реалізації, але він має великий ряд переваг над іншими представленими в роботі приладами вимірювання швидкості, кута атаки та ковзання.

Цей пристрій визначає повітряно - швидкісні параметри польоту літальних апаратів шляхом вимірювання доплерівських зрушень частот випромінювання повітряного середовища за допомогою лазерного променя, завдяки тому, що збуджують лазером в допробойному режимі спонтанне випромінювання молекул повітряного середовища в двох точках попереду літального апарату в його площині симетрії, приймається на борту літального апарату випромінювання кожної точки, виділяючи в ньому одну спектральну складову у вигляді двох різноспрямованих взаємно когерентних променів, що лежать в тій же площині симетрії, змішуючи їх, вимірюють різниці їх частоти з неоднаковими доплерівськими зрушеннями, те ж саме роблять, збуджуючи спонтанне випромінювання в двох точках в перпендикулярній площині, що проходить через повздовжню вісь літального апарату, і за результатами вимірів чотирьох різниць частот визначають значення істинної повітряної швидкості, кутів атаки і ковзання.

Для визначення повітряно-швидкісних параметрів в заявленому приладі використовується власне спонтанне випромінювання молекул повітряного середовища, зондовану лазером і прийняте на борту літального апарату. Крім того, в таких приладах повітряно-швидкісні параметри визначаються на підставі вимірів різниць доплеровських зрушень частот.

### **2.2.1. Сутність лазера як винаходу приладу**

Назва «лазер» походить від перших літер слів «Light Amplification by Stimulated Emission Radiation», що в перекладі означає: підсилювач мікрохвиль за допомогою вимушеного випромінювання. Вперше розробкою лазера займалися в СРСР А. Прохоров і Н. Басов. Спочатку працювали з радіочастотами. У 1956 р Н.Г Басов написав і захистив докторську дисертацію: "Молекулярний генератор", в якій розглядалися можливості застосування принципів і методів квантової радіофізики на оптичний діапазон частот, були створені принципово нові квантові генератори та підсилювачі радіочастотного діапазону - мазери, першим з них був мазер на молекулах аміаку. У 1959 році Н. Г. Басову і А. М. Прохорову була присуджена Ленінська премія за відкриття нового принципу генерації і посилення електромагнітного випромінювання на основі квантових систем. Ці відкриття і дослідження, так само, приблизно в той же час, проведені в США Ч. Таунсом, дали народження і розвиток нової галузі фізики - квантової електроніки.

Перший робочий лазер на основі штучного рубіна представив американський фізик Теодор Майман 7 липня 1960 року. У 1962 році Н. Г. Басов і О. Н. Крохин висловлюють ідею про створення термоядерного синтезу при нагріванні певного об'єкту випромінюванням лазера. Так з'явилося новий науково-технічний напрям - лазерний термоядерний синтез (ЛТС), що призвело до створення різних типів лазерів які на той момент були тільки твердотільні лазери з енергією в імпульсі, менше джоуля і безперервні газові лазери з малою потужністю-менше вата.

У 1964 році Н. Г. Басов, А. М. Прохоров і Ч. Таунс стали лауреатами Нобелівської премії за фундаментальні дослідження в галузі квантової електроніки, що призвели до створення мазерів і лазерів.

Лазер є оптичний квантовий генератор, прилад який випромінює вузький пучок світла. Він відкриває небувалі можливості передачі енергії на будь-які відстані зі швидкістю світла. Звичайне світло, яке дає різні джерела можна

характеризувати, як невеликі пучки світла, що розлітаються в різних напрямках. Їх можна сконцентрувати увігнутим дзеркалом або лінзою і навіть розпалити багаття, але енергія такого світлового потоку не зрівняється з енергією лазерного променя.

Лазерний промінь складається з квантових частинок світла, це досягається шляхом примусової активації атомів прозорого середовища, яка є основою лазерного випромінювання. Для того, щоб викликати лавиноподібне випромінювання в рубіновому стрижні, потрібно вдарити по атомам цієї речовини енергією іншого джерела, наприклад світлом, що утворюється під час вибуху. Стикаючись з речовиною рубіна кожен зовнішній фотон виб'є з його атомів новий фотон, який буде рухатися з тією ж силою і в тому ж напрямку і, зіткнувшись з новим атомним ядром виб'є нову частинку світла. За рахунок полірованих стінок рубіна, які діють як відображають дзеркала, потік фотонів багато разів пройде цей шлях, досягаючи великої щільності. У цей момент нахил дзеркальної поверхні може бути змінений і промінь великої енергетичної потужності вистрілюється назовні. Щоб домогтися випускання лазерного випромінювання, необхідно до робочого речовини лазера підключити джерело енергії, що викликає збудження атомів. У лазерах з газовим активним середовищем - це тліючий електричний заряд, для твердотілих лазерів застосовується імпульсна лампа, для рідинних можна використовувати світло додаткового лазера, для напівпровідникових лазерів наприклад, електричний струм.

Відповідно можна зазначити що, лазерні пристрої діляться на: твердотільні лазери, газові лазери, лазери на барвниках, на парах металу, напівпровідникові, на вільних електронах, хімічні, а також волоконні.

Першими в світі були створені твердотільні лазери. У них промінь створюється всередині скла, кристалів, дорогоцінних каменів. Ці кристали і каміння не видобуваються на кар'єрах, а вирощуються в лабораторіях, всередині спеціальних камер йде хімічна реакція, під дією високої температури (близько 2500 град С) в результаті чого з'являються синтетичні кристали - активне середовище для твердотільних лазерів .

З твердотілих лазерів раніше всіх були розроблені рубінові лазери. Лазерний промінь - це посилене або концентроване світло, а шматочок рубіна грає роль такого підсилювача, він називається - активне середовище. Якщо з двох сторін рубіна помістити дзеркала і створити потужний спалах, світло буде бігати між ними, відбиваючись по багато разів і при цьому, посилюючись в активному середовищі, поки не перетвориться на лазерний промінь. В активному середовищі лазерний промінь стає когерентним, тобто частинки світла в ньому не заважають один одному і летять паралельно, у них одна довжина хвилі і вузький спектр випромінювання. Щоб випустити лазерний промінь назовні - одне дзеркало роблять напівпрозорим. Замість рубінового активного середовища може використовуватися інша, з безлічі варіантів.

Газові лазери - використовують в якості активного середовища - суміш газів і парів. Щільність газу в лазері невелика, створюється оптична однорідність, світло не розсіюється і світловий промінь не спотворюється, що дозволяє збільшити відстань між дзеркалами, але високої потужності досягти не виходить, так як в газі міститься менша кількість збуджених атомів, що випромінюють світло в порівнянні з твердим тілом. Поки існують три типи газорозрядних лазерів: іонні лазери, лазери на нейтральних атомах а також молекулярні лазери.

Розрізняються вони діапазоном хвиль, що генеруються і механізмом утворення інверсії населеності, тобто коли кількість атомів активного середовища, які знаходяться в збудженому стані, стає більше кількості атомів з низькою енергією, в наслідок відбувається інверсія.



Лазери на барвниках - активне середовище яких органічні барвники на основі бензолу. Потужність випромінювання вимірюється десятками Ватт, досягається безперервне випромінювання, і також можуть бути у вигляді ультракоротких імпульсів.

Ексімерні лазери - різновид газових активне середовище яких - суміш інертних газів. Використовуються енергетичні переходи ексимерних молекул, здатні існувати лише деякий час в збудженому стані, створюють короткоживучі з'єднання.

Лазери на парах металу - можуть використовувати 27 видів металу, іони і атоми яких мають відповідну структуру для створення інверсної населеності енергетичних шарів. Наприклад: лазери на парах міді випромінюють зелене світло, і потужність досягає 40 Вт, довжина хвилі 510,4 і 578,2 нм.

Лазери на напівпровідникових елементах активне середовище яких - напівпровідникові кристали, вони мають широкий діапазон довжини хвилі, а також малу когерентність, утворюються надлишкові електрони або їх недоліки які також називають дірками, при їх рекомбінації енергія електричного струму перетворюється у випромінювання. Накопичування проводиться електрострумом, електронами, світловими пучками. Вони мають великий коефіцієнт корисної дії (ККД) і маленькі розміри, потужність в імпульсі до 1МВт, можуть працювати і в безперервному режимі і їх довжина хвилі складає від 0,3 до 40 мкм.

Лазери на вільних електронах - використовується випромінювання електронів, яке коливається під впливом зовнішнього магнітного або електричного поля. Діапазон хвилі від 6 нм (рентгенівське випромінювання) до СВЧ випромінювання 12,25 см. Частота випромінювання таких лазерів

плавно може змінюватися в широкому діапазоні при зміні швидкості руху електронів.

Хімічні лазери – вони в якості активного середовища зазвичай використовують суміш фтору з молекулярним воднем. Відбуваються екзотермічні хімічні реакції (тобто з виділенням тепла). Можуть працювати в імпульсному або безперервному режимі.

Волоконні лазери - активне середовище оптичне волокно.

Оптичне волокно виготовляється з кварцу, висока прозорість якого забезпечує насичений стан енергетичних рівнів атомів. Домішки, що вносяться до кварцу, перетворюють його і поглинають в активне середовище, створюючи інверсний стан заселеності енергетичних рівнів при певній, підбраною експериментально потужністю накачування. Мають високу оптичну якість випромінювання, володіють невеликими розмірами, їхньою особливістю є те, що їх можна вбудовувати в волоконні лінії.

### **2.2.2. Сутність лазерного вимірювача повітряно-швидкісних параметрів літальних апаратів**

Принцип роботи заявленого приладу пояснюється наступними графічними зображеннями:

на рис.2.1 показано розташування лазерних ключів в площині X, Z симетрії літального апарату і в площині X, Y, що проходить через його поздовжню вісь перпендикулярно площині симетрії:

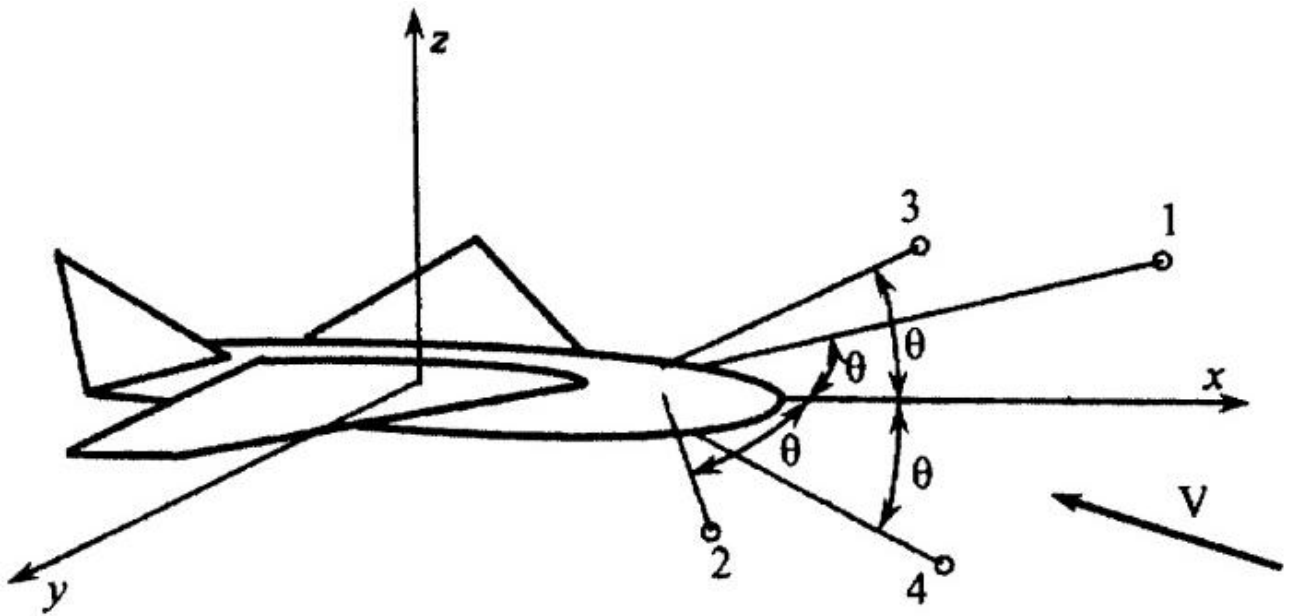


Рис.2.1

на рис.2.2 показані напрямки променів двох лазерів і збудження ними спонтанного випромінювання молекул повітря в площині  $X,Y$ ;

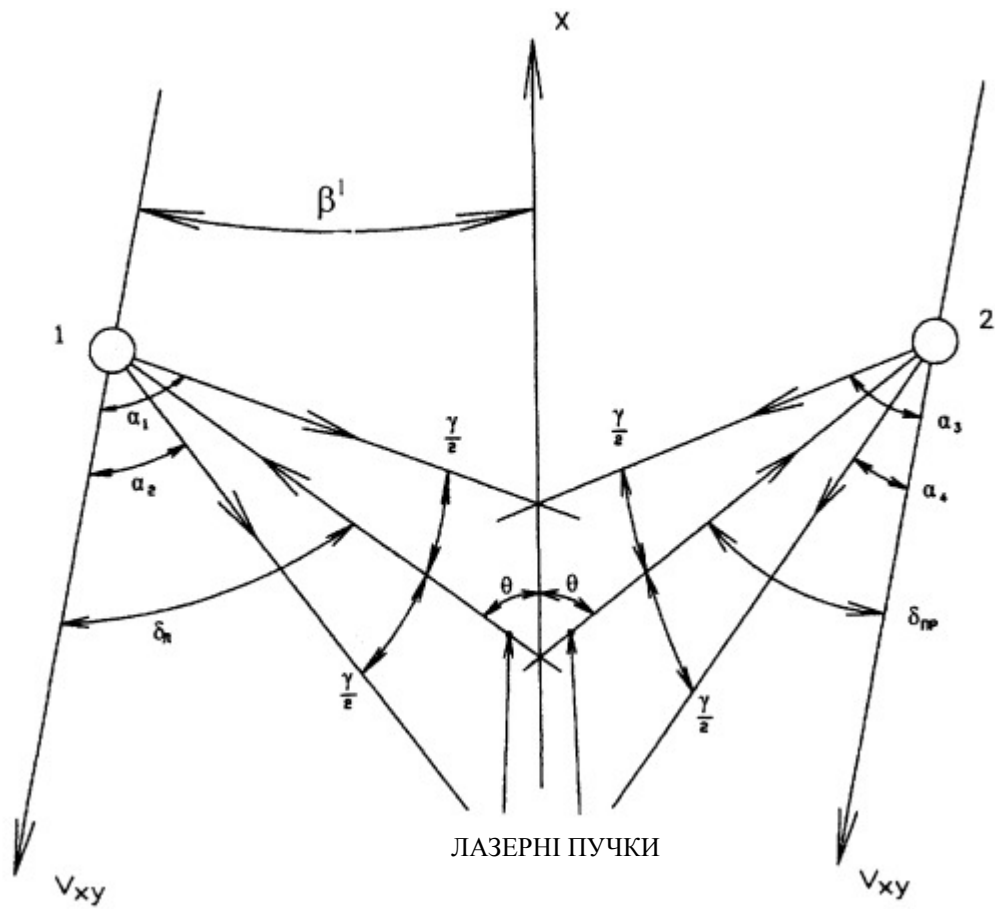


Рис.2.2

на рис.2.3 представлені напрямки променів в спрощеному варіанті реалізації

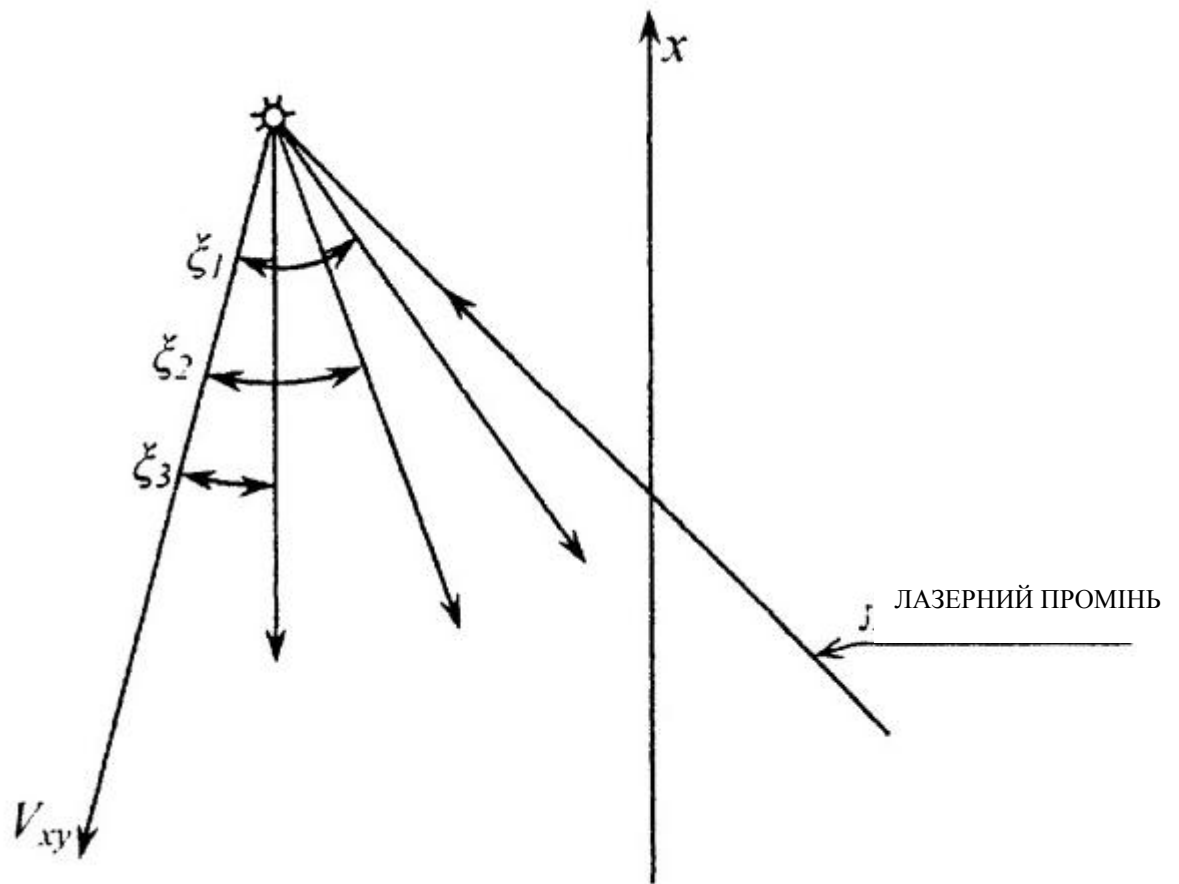


Рис.2.3

на рис.2.4 зображена блок-схема всього пристрою;

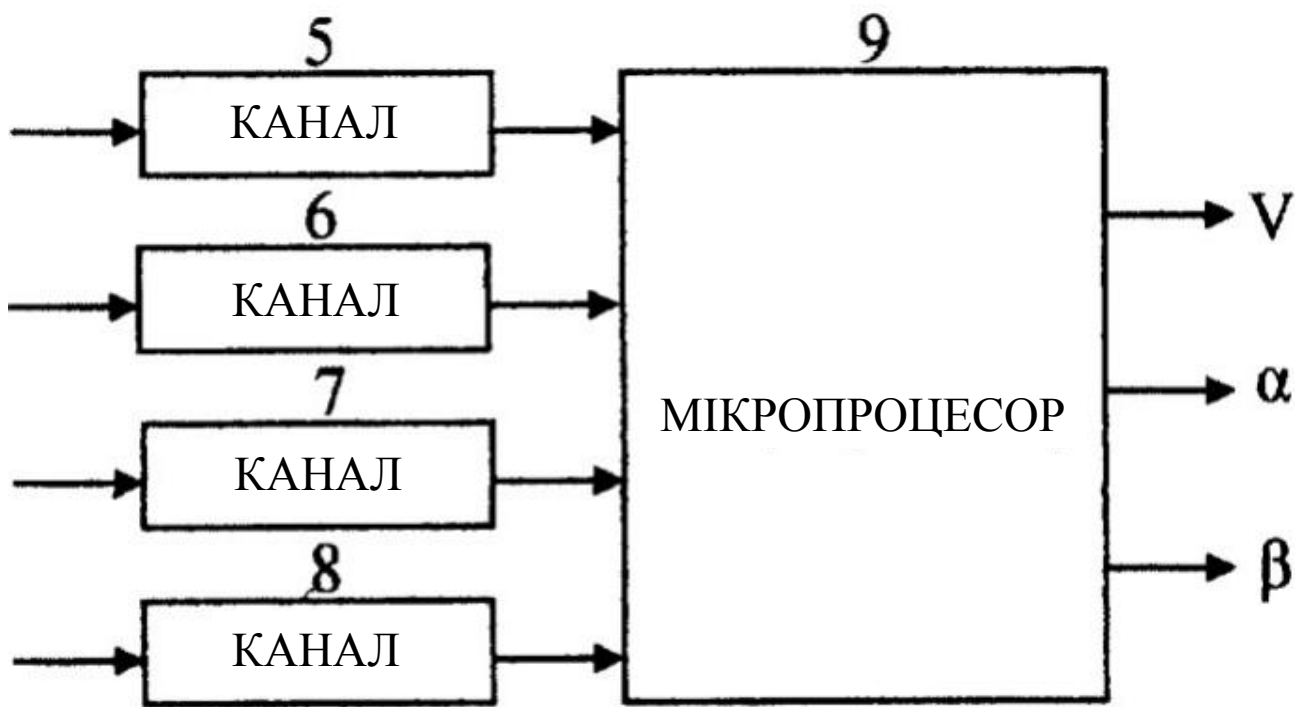


Рис.2.5

на рис.2.6 показана блок-схема одного з каналів пристрою;

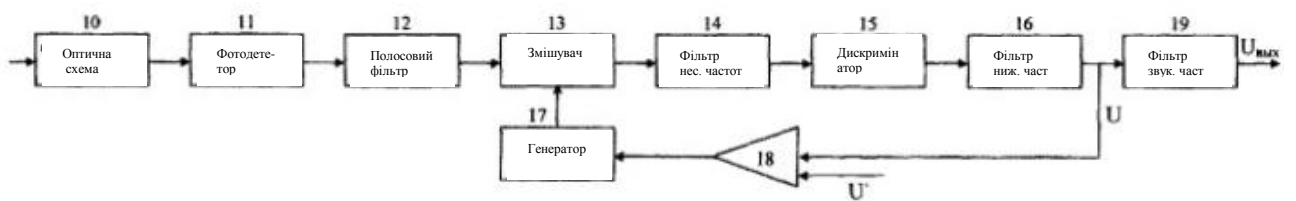


Рис.2.7

на рис.2.8 представлена оптична схема одного з каналів пристрою

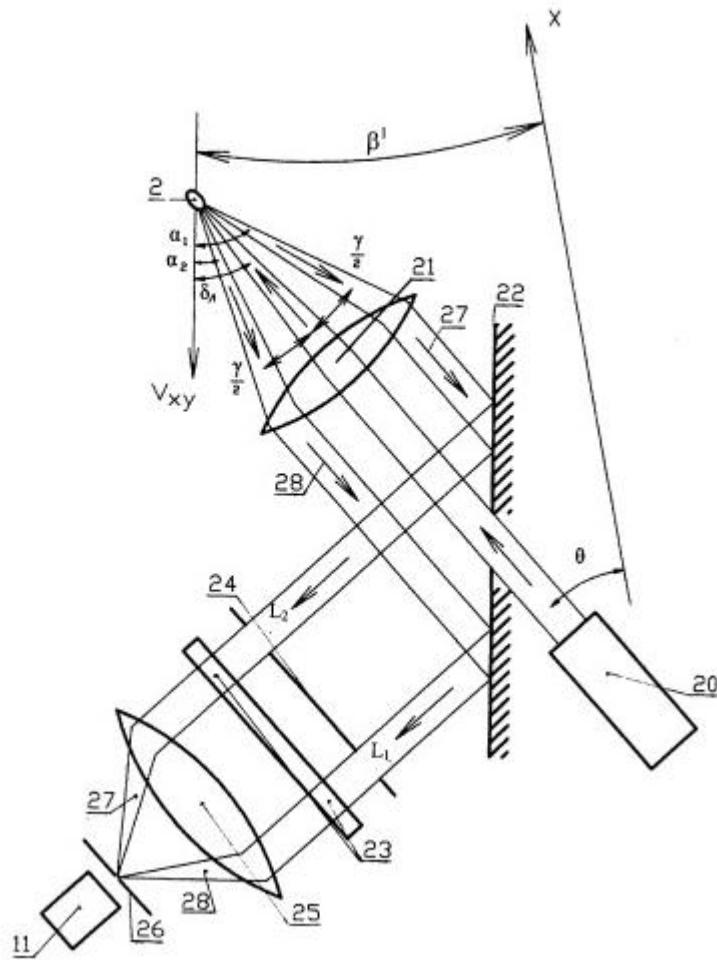


Рис.2.9

У кожному оптичному каналі лазер, виконаний, наприклад, на  $\text{CO}_2$ , генерує промінь зі світловим діаметром 10-15 мм, який фокусується попереду літального апарату за межами звукового бар'єру, збуджує молекули повітря в елементарному обсязі, що оточує фокус, і переводить їх на енергетичний рівень, відповідний частоті випромінювання лазера. Промінь лазера, який лежить в площині  $X, Y$  літального апарату (рис.2.1) і фокусується в точці 1, утворює перший оптичний канал. При цьому потужність лазера повинна бути такої величини, щоб викликати значне порушення молекул повітря, але не перевищувати величину, що викликає електричний пробій.

Аналогічне явище відбувається в другому оптичному каналі, промені якого лежать в площині  $X, Y$ , а лазер фокусується в точці 2 (рис.2.1), а також в

третьому і четвертому каналах, осі яких лежать в площині  $X, Z$ , а лазерні промені фокусуються в точках 3 і 4 (рис.2.1).

Вимірювання пояснюється фізико-математичними обґрунтуваннями, в яких використовуються такі позначення:

$\alpha$  - кут атаки;

$\beta$  - кут ковзання;

$V$  - вектор істинної повітряної швидкості;

$VXY$  - проекція вектора істинної повітряної швидкості  $V$  на площину  $x, y$  літака (рис.2.1, 2.2, 2.9);

$VXZ$  - проекція вектора істинної повітряної швидкості  $V$  на площину  $x, z$  літака;

$\alpha_1, \alpha_2$  - кути в площині  $x, y$  між  $VXY$  і осями виділених оптикою першого каналу променів  $L1$  і  $L2$  за допомогою отворів в екрані (рис.2.9);

$\alpha_3, \alpha_4$  - кути в площині  $x, y$  в другому оптичному каналі, аналогічні кутам  $\alpha_1, \alpha_2$ ;

$\theta$  - кут між поздовжньою віссю літака і осями лазерних променів, що проходять через точки 1, 2, 3, 4 в площинах  $X, Y$  і  $X, Z$  (рис.2.1);

$\gamma / 2$  - кут між віссю лазерного променя і осями виділених оптикою променів  $L1$  і  $L2$ , однаковий для всіх чотирьох оптичних каналів системи (рис.2.9);

$\delta_L, \delta_{PP}$  - кути в площині  $x, y$  між  $VXY$  і осями лівого лазерного променя, що проходить через точку 1, і правого лазерного променя, що проходить через точку 2 (рис.2.1, 2.2);

$\delta_B, \delta_H$  - кути в площині  $x, z$  між  $VXZ$  і осями верхнього лазерного променя, що проходить через точку 3, і нижнього лазерного променя, що проходить через точку 4 (рис.2.1);

$\beta^1$  - кут між вектором  $VXY$  і віссю  $x$  літака.

Під дією випромінювання лазера частина збуджених частинок повітря вимушено переходить в початковий стійкий стан, що супроводжується

«вимушеним» випромінюванням в напрямку лазерного променя. Інша частина збуджених частинок самостійно переходить в початковий стан, що супроводжується «спонтанним» випромінюванням тієї ж частоти, що і лазерне. Останнє є ненаправленим випромінюванням. Лінія спектра спонтанного випромінювання цієї частоти за допомогою оптики виділяється у вигляді двох взаємно когерентних променів, що лежать в площині  $x, y$  і розташованих симетрично осі лазера під кутами  $\alpha_1$  і  $\alpha_2$  до проекції  $V_{xy}$  вектора істинної повітряної швидкості  $V$  літального апарату на площину  $x, y$  (рис.2.2).

Обидва промені надходять на фотодетектор з одинарними доплерівськими зрушеннями частот, середні значення яких визначаються відповідно як:

$$f_1 = \frac{f \cdot V_{xy}}{c} \cdot \cos \alpha_1 \quad \text{и} \quad f_2 = \frac{f \cdot V_{xy}}{c} \cdot \cos \alpha_2 \quad (1)$$

де  $f$  - частота випромінювання,  $c$  - швидкість світла,  $f_1, f_2$  - середні доплерівські зрушення частот по променям  $L_1, L_2$ .

Два світлові потоки з різними доплерівськими зрушеннями утворюють на поверхні фотодетектора світловий вплив з частотою биття:

$$f_{\text{бит}} = f_{q1} - f_{q2} = \frac{f}{c} V_{xy} (\cos \alpha_1 - \cos \alpha_2) = \frac{2f}{c} \sin \frac{\gamma}{2} V_{xy} \sin \delta_{\text{л}} \quad (2)$$

Частота биття  $f_{\text{бит}}$  несе інформацію про величину:

$$V_{xy} \sin \delta_{\text{л}} = V_{xy} \sin(\theta + \beta^1) \quad (3)$$

Ця величина є проекція істинної повітряної швидкості на напрям променя лазера.

Аналогічно другий оптичний канал, промені якого лежать в площині  $x, y$ , а лазер фокусується в точці 2 (рис.2.1, 2.2), несе інформацію про величину:

$$V_{xy} \sin \delta_{\text{ПР}} = V_{xy} \sin(\theta - \beta^1).$$

Значення  $V_{xy}$  і  $\beta^1$  визначаються системою рівнянь:



$$\begin{cases} V_{xy} \sin(\theta + \beta^1) = \frac{f_{\text{доп}} c}{2f \sin \gamma / 2}, \\ V_{xy} \sin(\theta - \beta^1) = \frac{f_{\text{доп}} c}{2f \sin \gamma / 2} \end{cases} \quad (4)$$

де  $f_{\text{доп}}$  - доплерівське зрушення частот у другому каналі.

Третій і четвертий канали, оптичні вісі яких лежать в площині  $x, z$  (рис.2.1), а лазерні промені фокусуються в точках 3, 4, визначають  $V_{xz}$  - проекцію вектора  $V$  на площину  $x, z$  і кут атаки  $\alpha$ . Для цього впливає система рівнянь:

$$\begin{cases} V_{xz} \sin(\theta + \alpha) = \frac{f_{\text{доп}} c}{2f \sin \gamma / 2} \\ V_{xz} \sin(\theta - \alpha) = \frac{f_{\text{доп}} c}{2f \sin \gamma / 2} \end{cases} \quad (5)$$

де  $f_{\text{доп}}$  і  $f_{\text{доп}}$  - частоти доплерівських сигналів третього і четвертого каналів.

Істинна повітряна швидкість  $V$  визначається за формулами:

$$V = \sqrt{V_{xy}^2 + V_{xz}^2 \sin^2 \alpha}; V = \sqrt{V_{xz}^2 + V_{xy}^2 \sin^2 \beta^1} \quad (6)$$

Кут ковзання  $\beta$  визначається з рівняння:

$$\text{tg} \beta = \cos \alpha \text{tg} \beta^1 \quad (7)$$

Надмірність інформації використовується для підвищення точності.

У більш простому варіанті значення  $V$ ,  $\alpha$  і  $\beta$  можуть бути отримані за допомогою двох оптичних каналів з вісями, що лежать відповідно в площинах  $x, y$  і  $x, z$ . В цьому випадку в кожному каналі спонтанне випромінювання виділяється у вигляді трьох променів під кутами  $\xi_1, \xi_2, \xi_3$ , як показано на рис.2.3 для площині  $x, y$ , які попарно фокусуються на поверхнях двох або трьох фотодетекторів. Канал, який працює в площині  $x, y$ , несе інформацію про  $V_{xy}$  і  $\beta^1$ , а канал, що працює в площині  $x, z$ , несе інформацію про  $V_{xz}$  і  $\alpha$ .

### 2.2.3. Основна складова існуючого прототипу лазерного вимірювача повітряно-швидкісних параметрів та його принцип дії

Пристрій має чотири ідентичних канали 5, 6, 7, 8 і мікропроцесор 9 (рис.2.7). Кожен канал містить оптичну схему 10 (рис.2.8), фотодетектор 11, смуговий фільтр 12, змішувач 13, фільтр несучої частоти 14, частотний дискримінаатор 15, фільтр нижніх частот 16, генератор напруги, що управляє 17, операційний підсилювач 18, вихідний фільтр звукової частоти 19. Блоки 17 і 18 утворюють зворотний зв'язок. Оптична схема кожного каналу включає лазер 20 (рис.2.9), лінзу 21, дзеркало 22, світлофільтр 23, екран 24, другу лінзу 25, другий екран 26 і фотодетектор 11.

Лазерний вимірник працює наступним чином:

Чотири лазера на  $\text{CO}_2$ , встановлені в носовій частині літака, безперервно випромінюють монохроматичне когерентне випромінювання довжиною хвилі  $\lambda = 10,6$  мкм, яке фокусується за межами звукового бар'єру поблизу його межі. Два лазера, оптичні вісі яких лежать в площині, паралельній площині  $x, y$  літального апарату (рис.2.1), працюють в каналах 5, 6 (рис.2.7), призначених для визначення проекції істинної повітряної швидкості  $V$  на площину  $x, y$  і кута  $\beta^1$ . Два інших з оптичними вісями в площині  $x, z$  працюють в каналах 7, 8, що вимірюють проекції істинної повітряної швидкості  $V$  на площину  $x, z$  і кут атаки  $\alpha$ .

Лазер 20 (рис.2.9), що працює в каналі 5, збуджує спонтанне випромінювання молекул повітря, яке проходять через лінзу 21 діаметром 5 см, дзеркало 22, світлофільтр 23, два круглих симетричних отвори екрану 24, лінзу 25, отвір екрану 26 і потрапляє в вигляді двох взаємно когерентних променів 27 ( $L_2$ ), 28 ( $L_1$ ) на поверхню фотодетектора 11, встановленого у фокусі лінзи 25.

Пристрій має оптичні елементи інфрачервоної техніки. Екран 24 з двома отворами необхідний для формування двох променів 27, 28 з різними доплерівськими зрушеннями частот. Інтерференційний світлофільтр 23 необхідний для отримання монохроматичного променя шляхом виділення однієї лінії спектра спонтанного випромінювання.

При русі літального апарату з істинною повітряною швидкістю  $V$ , промені 27, 28 приходять на поверхню фотодетектора з доплерівськими зрушеннями частот, які визначаються формулами (1), що дає на виході фотодетектора сигнал з частотою биття  $f_{\text{бл}}$ , яка визначається формулою (2). Цей сигнал надходить на смуговий фільтр 12 (рис.2.8), що пропускає смугу доплерівських частот.

Доплерівський сигнал вимірюється за частотою і відслідковується системою, яка включає перераховані раніше блоки 13-19.

На вхід операційного підсилювача 18 подається напруга  $U=k(\omega_0-\omega_a)$ , де  $\omega_0$  - середня доплерівська частота,  $\omega_a$  - частота, на яку налаштований фільтр несучої частоти, що відрізняється від  $\omega_0$ ,  $k$  - коефіцієнт. Напруга  $U$  на виході фільтра 16 пропорційна миттєвій доплерівській частоті швидкості зміни фази доплерівського сигналу.

На другий вхід операційного підсилювача подається опорна напруга  $U'$ .

Описана схема частотно-слідкуючої системи є відомою схемою вимірювання доплерівських сигналів.

Вихідна напруга  $U_{\text{вих}}$  несе інформацію про величину  $V_{xy}\sin(\theta+\beta^1)$ .

Так само аналогічно працюють канали 6, 7, 8 (рис.2.7), що несуть інформацію:  $V_{xy}\sin(\theta-\beta^1)$ ,  $V_{xz}\sin(\theta+\alpha)$ ,  $V_{xz}\sin(\theta-\alpha)$ .

Значення проекції швидкості  $V_{xy}$  і кута  $\beta^1$  визначаються з системи рівнянь (4). Значення  $V_{xz}$  і кута атаки  $\alpha$  - з системи рівнянь (5).

Істинна повітряна швидкість визначається за формулами (6).

Кут  $\beta$  визначається рівнянням (7).

Обчислення проводяться за допомогою мікропроцесора 9 (рис. 2.7), який дає на виході значення  $V$ ,  $\alpha$ ,  $\beta$ .

Тепловий рух випромінюючих частинок призводить до появи доплерівського спектра частот, ширина якого більше, чим вище температура повітряного середовища близько точки, в якій фокусується промінь.

Тому, потужність лазера обмежується величиною, мінімально необхідною для достатнього випромінювання середовища.

Робоча лінія спектру спонтанного випромінювання дає монохроматичний промінь з малою на відміну від лазерного, довжиною когерентності в силу спонтанного характеру випромінювання частки і його малої тривалості. Довжина когерентності (відстань на якій світлова хвиля ще не накопичила істотного зрушення фази) для розрідженого газу становить величину порядку 10 см. Зазначена величина дає уявлення про порядок допустимих значень різниці оптичних шляхів двох променів, що змішуються на фотодетекторі, з точки зору збереження їх взаємної когерентності. При вимірі надзвукових швидкостей доплерівський сигнал не залежить від звукових коливань випромінюючих частинок, так як лазери фокусуються за межами звукового стрибка.

При вимірі дозвукових швидкостей доплерівський сигнал відображає звукові коливання частинок, вплив яких гаситься фільтром 19 (рис.2.8).

Слід відзначити, що такий прилад визначення повітряно-швидкісних параметрів літальних апаратів робить можливим вимір істинної повітряної швидкості і кутів атаки і ковзання з високою точністю в умовах високошвидкісних маневрених польотів висотою до 35 км, а також на траєкторії руху космічних літальних апаратів багаторазового дії в атмосфері, що підтверджують проведені дослідження збуджується лазером випромінювання повітряного середовища, а також доплерівських сигналів в схемі вимірювання з оптичним і електричними фільтрами в умовах фізичного моделювання.

### **2.3. Висновки до розділу**

В цьому розділі були розглянуті сучасні прилади вимірювання кутів атаки та ковзання, принцип дії доплерівського вимірювача кутів атаки та ковзання, була розглянута та розкрита сутність лазерів як пристроїв та їх класифікація а також був розглянутий вже існуючий прототип лазерного вимірювача кутів атаки та ковзання (Лазерний вимірювач повітряно-швидкісних параметрів) про який можна відзначити, що лазерний вимірювач повітряно-швидкісних параметрів є найбільш сучасним та складнішим в реалізації, але він має великий ряд переваг над аерометричними представленими в роботі приладами вимірювання кута атаки та ковзання, завдяки тому, що використовується лазерне випромінення для збурення молекул повітряного потоку, але цей прилад потребує більш потужне живлення, а також є набагато дорожчим якщо розглядати його реалізацію з фінансової точки зору.

### РОЗДІЛ 3

## ПРОТОТИП ЛАЗЕРНОГО ПРИСТРОЮ ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ ПОВІТРЯНО-ШВИДКІСНИХ ПАРАМЕТРІВ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ ЗА ДЕРЖАВНИМ ПАТЕНТОМ «UA 122005 C2»

### 3.1. Загальні відомості

Вище розглянутий в роботі лазерний вимірювач повітряно-швидкісних параметрів літальних апаратів має ряд недоліків, основними з яких є те, що:

- використовуються чотири лазери, які зондують повітряний потік в чотирьох просторово різних зонах вимірювання, швидкісні параметри яких не корельовані та можуть значно відрізнятися один від одного;
- використовується геометрія прийому випромінювання в напрямку восьми пучків, кутові параметри яких залежать не тільки від конструкції ЛА, але також не можуть бути точно виставлені, тому що чотири оптичні вісі схеми зондування та прийому знаходяться в різних відсіках ЛА на відстані один від одного більше ніж 3-6 м. Через це при підстановці в систему рівнянь цих неточних кутових параметрів та їх вирішення приводить до того, що визначені ( $V, \alpha$  та  $\beta$ ) знаходяться з великою похибкою;
- Крім того, прототип не вимірює знаки проекції швидкості  $V_{xz}$ , що вносить невизначеність при вирішенні певних системи рівнянь тому виміри можуть мати певні похибки.

<b>Кафедра авіоники</b>				<b>НАУ 19 14 47 000 ПЗ</b>			
<b>Виконав</b>	Овенко А.В.			<b>ПРОТОТИП ЛАЗЕРНОГО ПРИСТРОЮ ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ ПОВІТРЯНО- ШВИДКІСНИХ ПАРАМЕТРІВ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ ЗА ДЕРЖАВНИМ ПАТЕНТОМ «UA 122005 C2»</b>	<b>Літ.</b>	<b>Арк.</b>	<b>Акрушів</b>
<b>Керівник</b>	Землянський В.М					49	
<b>Консульт.</b>					<b>6.051103 «Авіоніка»</b>		
<b>Н-контр.</b>	Левківський В.В						
<b>Зав. каф.</b>	Павлова С.В.						

- Прототип працює в діапазоні висот від 10 до 35 км, коли спостерігається спонтанне когерентне випромінювання молекул повітряного потоку, збудженого потужним лазерним пучком. На висотах від 0 до (3-10 км) потужний лазерний пучок зондування прототипу викликає відповідне потужне розсіювання випромінювання на мікрочастотних аерополів повітряного середовища, яке набагато перебільшить потужність

спонтанного випромінювання, крім того, підвищення температури в зоні вимірювання внесе методичну похибку в вимірювання повітряних параметрів.

Методом виходу є підвищення точності вимірювання істинної повітряної швидкості, кутів атаки та ковзання в умовах високошвидкісних маневрових польотів ЛА.

### 3.2. Сутність прототипу як винаходу

В запропонованому прототипі технічний результат досягається за рахунок усунення вищевказаних недоліків прототипу, який відрізняється від нього тим, що:

Пристрій для вимірювання повітряно-швидкісних параметрів польоту літального апарату (ЛА), який включає лазер, фокусуючий об'єктив, а також три вимірювальних канали, оптична схема яких включає встановлені послідовно інтерференційний світлофільтр, лінзу, діафрагму з коловим отвором, три фотоприймачі, виходи яких з'єднані зі смуговим фільтром, а також три вимірювача доплерівських частот, виходи яких під'єднані зі входами мікропроцесора, який відрізняється тим, що в ньому додатково встановлено оптичний прийомний блок, який складається з оптично погоджених об'єктива та апертурної діафрагми з шістьма отворами, при цьому чотири з яких знаходяться в площині  $XZ$  ЛА та розміщені попарно симетрично відносно оптичної вісі об'єктива, яка співпадає з повздовжньою віссю ЛА, два інші отвори діафрагми розміщені в площині  $YXZ$  ЛА, симетрично відносно повздовжньої вісі  $OX$  ЛА, а також трьох двохчастотних інтерферометрів, які забезпечують просторове поєднання хвильових векторів пучків попарно, які проходять через отвори діафрагми, а також близьку до нуля різницю оптичного руху пучків при їх виході з інтерферометра, виходи трьох інтерферометрів оптично погоджені зі входами оптичних схем трьох вимірювальних каналів.

Крім того, оптична вісь фокусуючого об'єктива складає кут  $\gamma$  з повздовжньою віссю  $OX$  ЛА, а оптична вісь приймального блоку співпадає з повздовжньою віссю  $OX$ , що забезпечує прийом



випромінювання із зони вимірювання, розміщеної на повздовжній осі ОХ ЛА в фокусі фокусуєчого об'єктива, куди спрямовується зондуєчий пучок лазера, потужність якого змінюється залежно від висоти польоту.

Пристрій також, відрізняється тим, що двохчастотний інтерферометр, на вхід якого подається два паралельних пучки, складається з оптично погоджених селективного дзеркала на шляху одного із пучків, а також пристрою зсуву частот, підключеного до генератора високих частот, на шляху другого пучка, а також складової призми-змішувача яка просторово поєднує хвильові вектори цих двох пучків та компенсує оптичну різницю ходу цих двох пучків в інтерферометрі.

Пристрій також відрізняється тим, що вхід лазера, розміщеного на борту ЛА, через волокно-оптичний провід узгоджений з фокусуєчим об'єктивом, а виходи трьох інтерферометрів через відповідні волокно-оптичні проводи оптично узгоджені з оптичними схемами трьох вимірювальних каналів.

Пристрій також відрізняється тим, що кут  $\gamma$  може бути в діапазоні  $\gamma = 0 \dots 60$  градусів, а також тим, що потужність лазерного пучка автоматично регулюється залежно від висоти польоту ЛА.

Сутність винаходу пояснюється кресленням, де:

- На рис.3.1 приведена схема ЛА з розміщення повздовжньої вісі ОХ ЛА, площиною симетрії ЛА ОХZ, площини ОХУ перпендикулярної площини ОХZ, яка пролягає через повздовжню вісь ОХ.

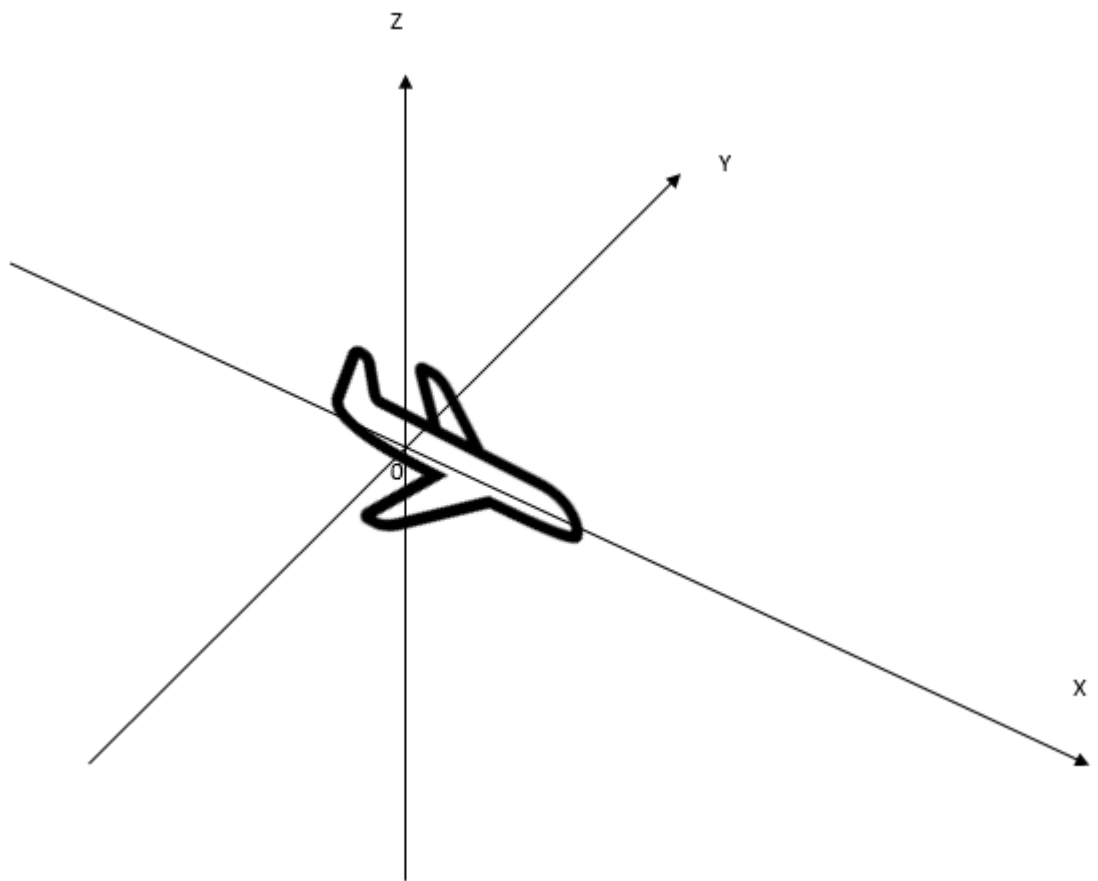


Рис.3.1

- На рис.3.2 приведена функціональна схема пристрою;

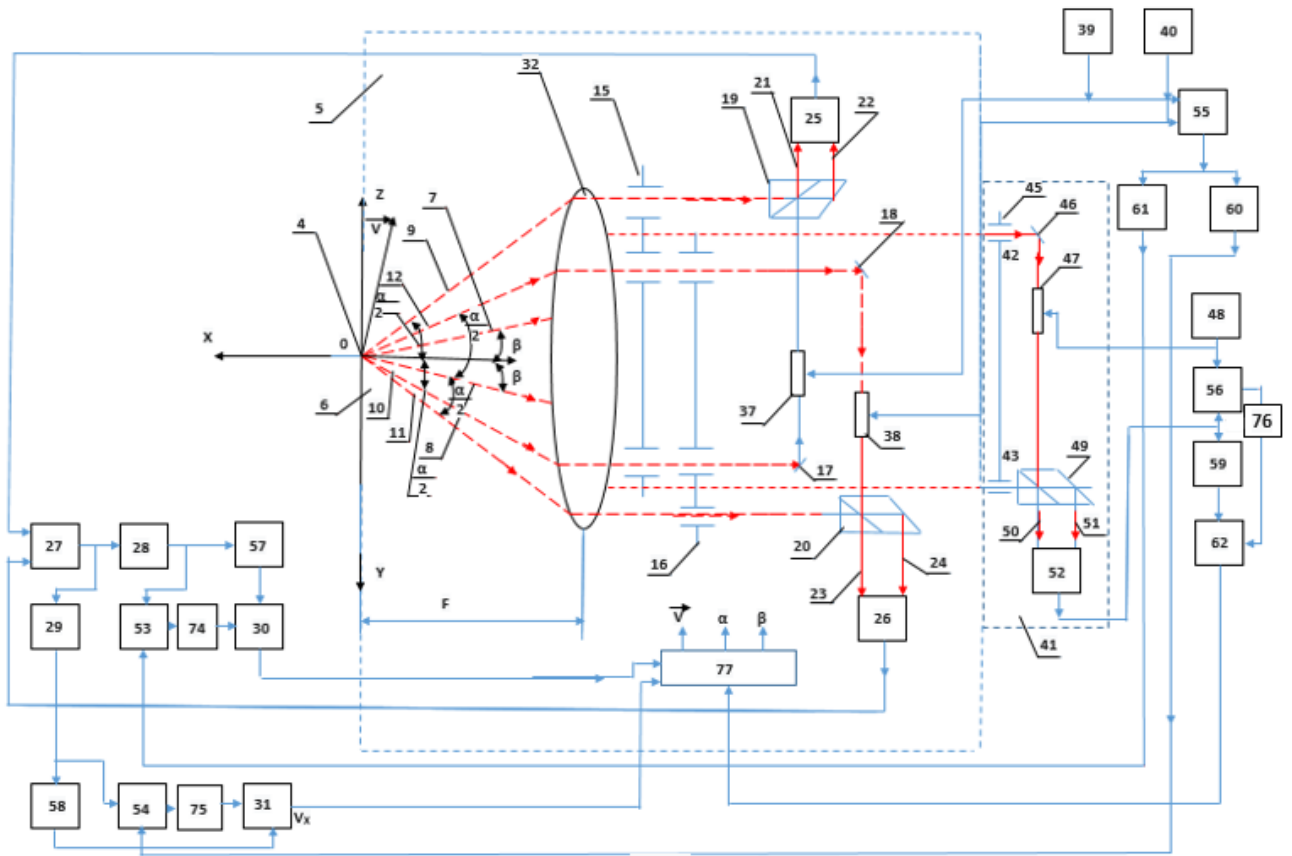


Рис.3.2 Функціональна схема пристрою

- На рис.3.3 приведено прийомний об'єктив та просторове розміщення шести приймальних пучків, з яких чотири пучка розміщуються в площині симетрії ЛА – OXZ, а два – в площині OXY.

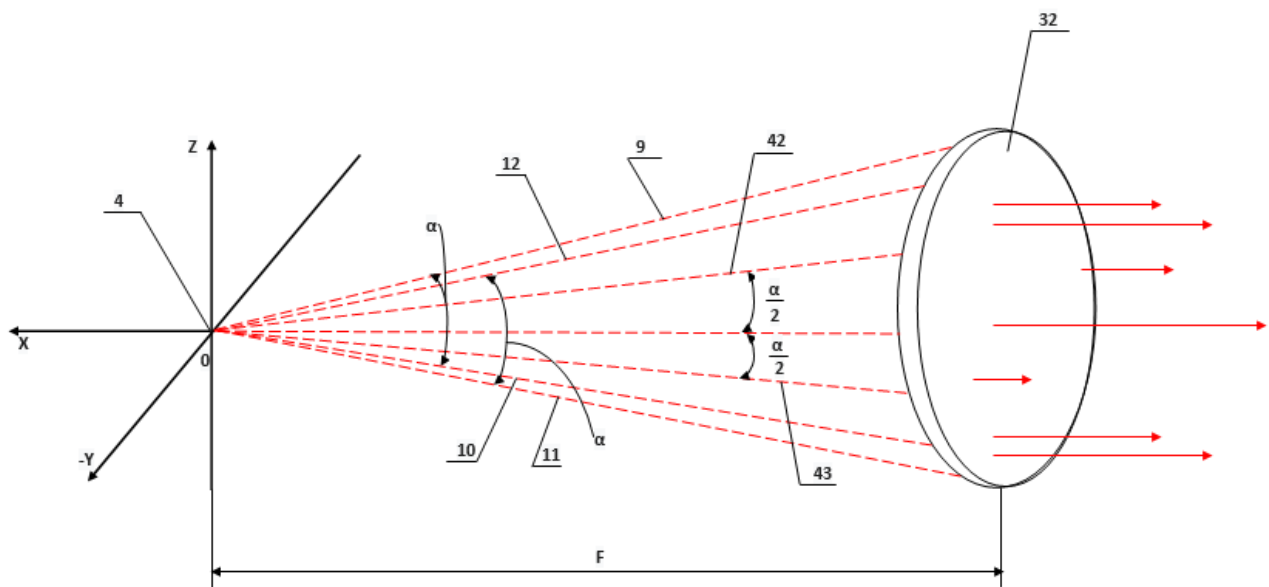


Рис.3.3 Приймний об'єктив

- На рис.3.4 приведена функціональна схема першого вимірювального каналу;

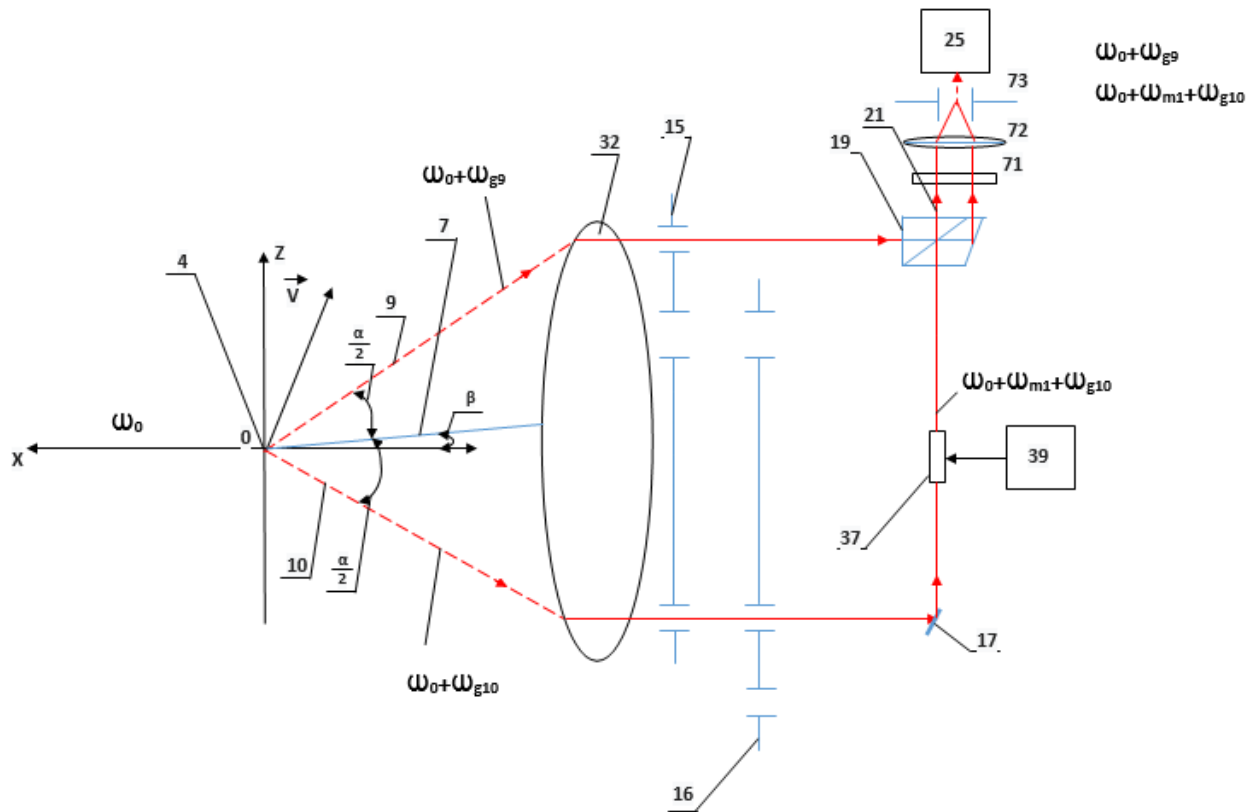


Рис.3.4 Функціональна схема першого вимірювального каналу

- На рис.3.5 приведено оптичну схему третього вимірювального каналу з двохчастотним інтерферометром, яка знаходиться в кожному з трьох каналів вимірювання та забезпечує напрямком прийомних пучків на відповідні фотоприймачі;

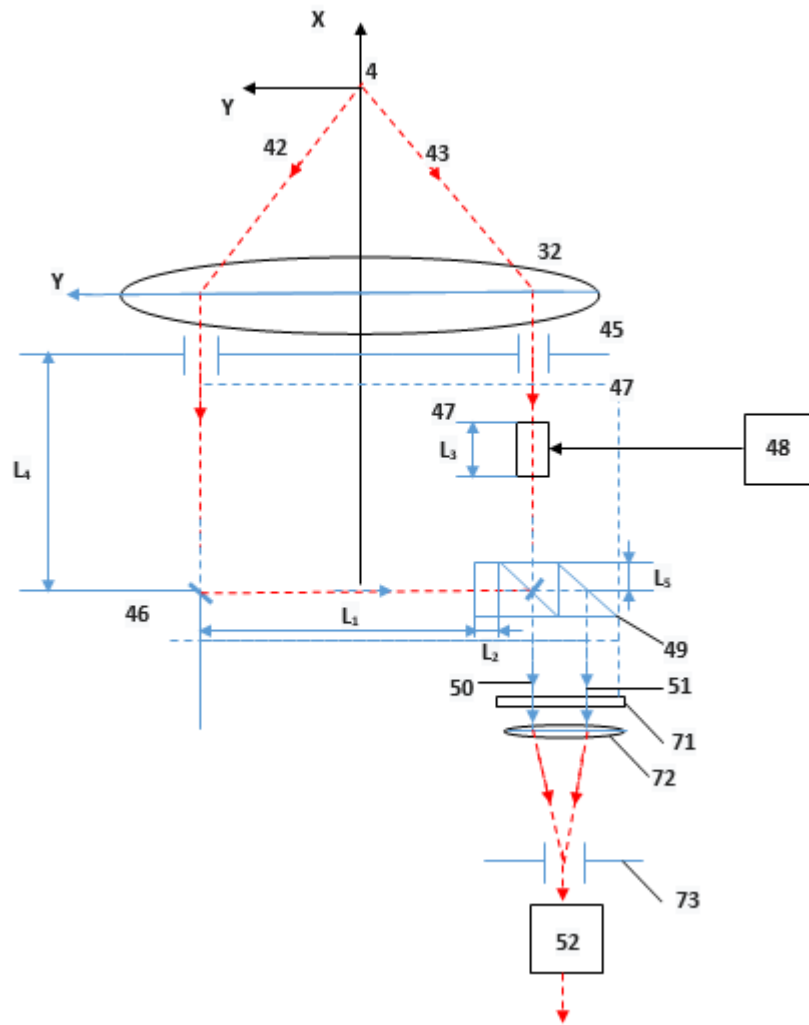


Рис.3.5 Оптична схема третього вимірювального каналу

- На рис.3.6 приведено геометрію пучків, які приймаються в площині OXZ;
- На рис.3.7 приведено геометрію пучків, які приймаються в площині OXY;

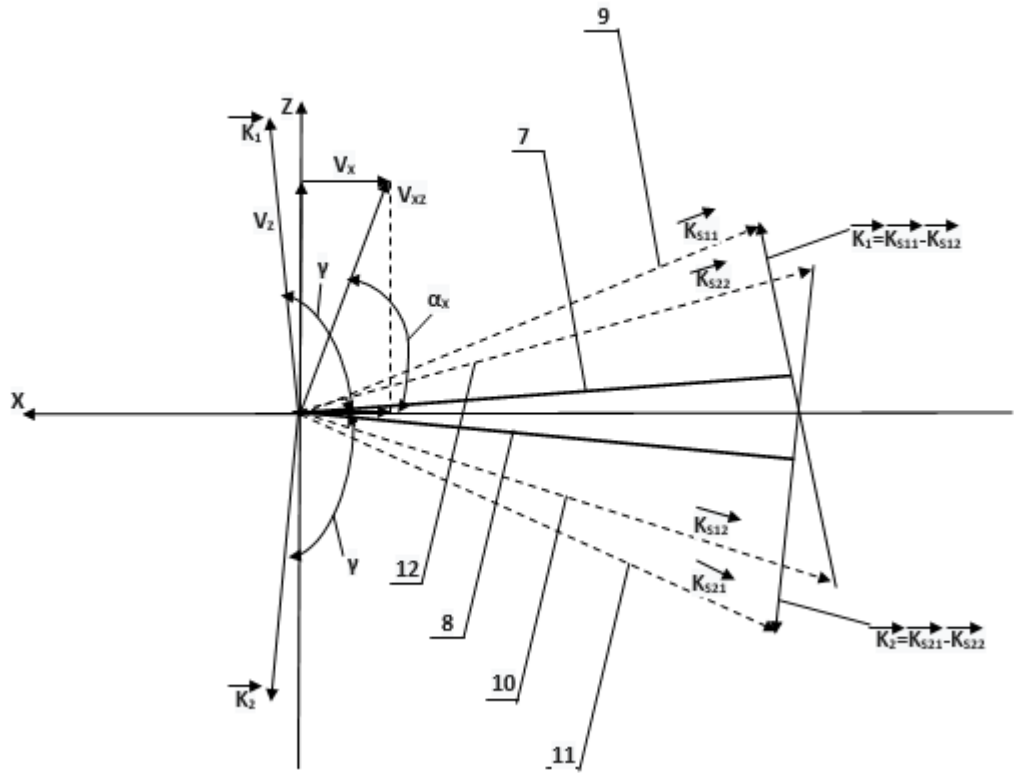


Рис.3.6 Геометрія пучків які приймаються в площині OXZ;

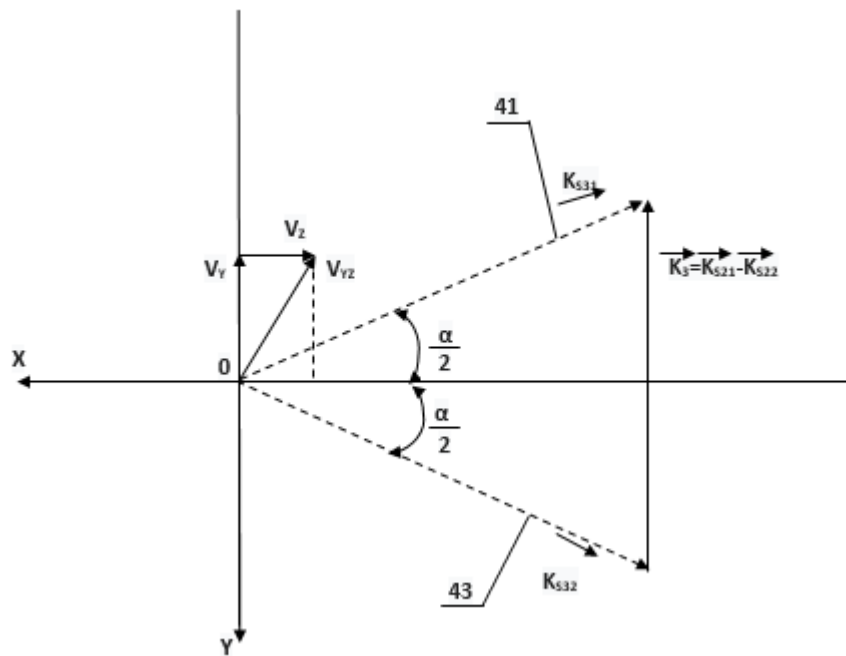


Рис.3.7 Геометрія пучків які приймаються в площині OXY;

- На рис.3.8 наведено приклад виконання непрозорого екрану першого вимірювального каналу;
- На рис.3.9 приведено приклад виконання непрозорого екрану другого вимірювального каналу;
- На рис.3.10 приведено приклад виконання непрозорого екрану третього вимірювального каналу;

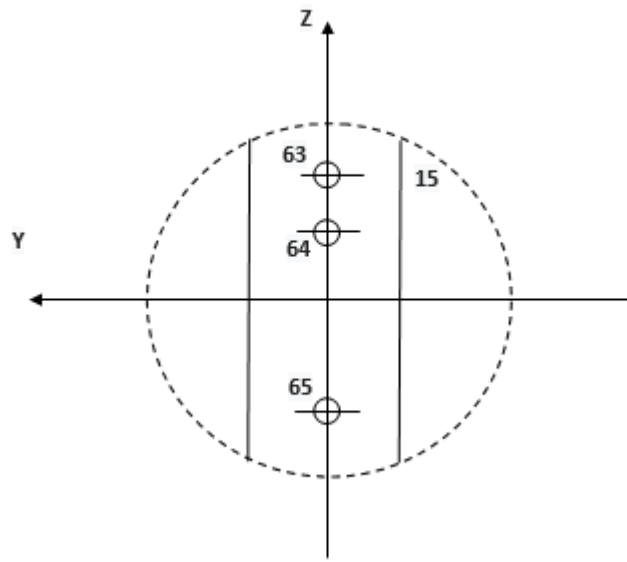


Рис.3.8

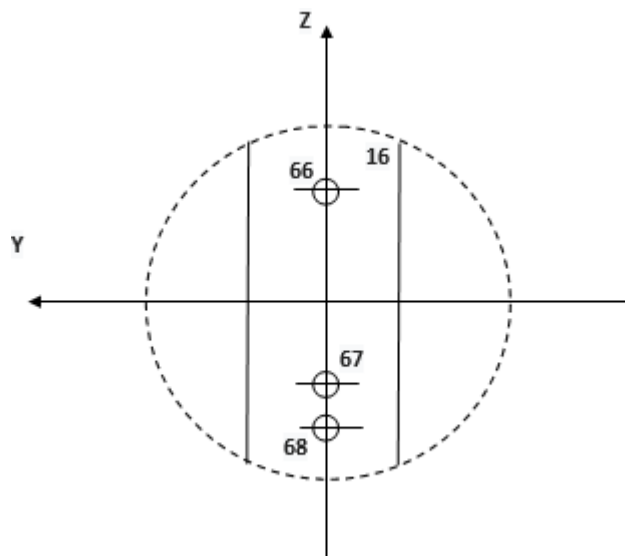


Рис.3.9

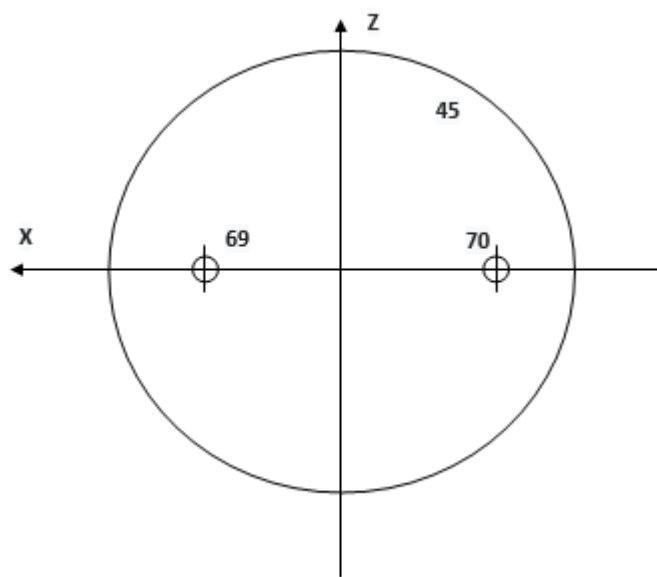


Рис.3.10



### 3.3. Принцип побудови пристрою

Пристрій (рис.3.1...3.10) складається з лазера 1, випромінюючого пучка 2 на довжині хвилі  $\lambda$  (потужність пучка 2 регулюється від сигналу висотоміра ЛА), фокусууючого об'єктиву 3, вимірювального об'єму 4, через який зі швидкістю  $\vec{V}$  проходить незбуджений повітряний потік, двох ідентичних оптичних каналів 5 та 6, які мають оптичні вісі 7 та 8, направлені під кутами  $\beta$  до вісі схеми ОХ, та збирають розсіяні пучки 9, 10, 11 та 12, які лежать в вертикальній площині ОХZ, та містить в собі прийомний об'єктив (загальний для всіх оптичних каналів), розміщений на фокусній відстані F від вимірювального об'єму 4, непрозорі екрани з двома отворами 15 та 16, для виділення розсіяних пучків під кутами  $\alpha/2$  до оптичної вісі каналу, дзеркал 17 і 18, складові призми-змішувачі 19 та 20, на виході яких утворюються змішані пучки 21, 22 та 23, 24, а також фотоприймачі 25, 26, змішувача 27, фільтра нижніх частот 28, фільтра верхніх частот 29, двох вимірювачів доплерівських частот 31, пристроїв для зсуву частоти 37 та 38, підключених до генераторів високих частот 39 та 40, третього оптичного каналу 41, який збирає розсіяні пучки 42 та 43 в горизонтальній прийомній площині ОХУ (на рис.3.1 вони показані умовно в площині ОХZ) та який містить прийомний об'єктив 32, який знаходиться на фокусній відстані F від вимірювального об'єму 4, непрозорий екран 45 з двома отворами для виділенню розсіяних пучків 42 та 43 від кутами  $\alpha/2$  до оптичних вісей пристрою, дзеркало 46, пристрій для зсуву частот 47, під'єднаний до генератора високої частоти 48, складову призму – змішувача 49, на виході якої утворюються змішані пучки 50 та 51 та фотоприймач 52, другого 53, третього 54, четвертого 55, п'ятого 56 змішувачів, першого 57, другого 58 та третього 59 частотних дискримінантів, другого фільтра низьких частот 61, та третього вимірювача доплерівських частот 62. Оптична

вісь прийомного об'єктива 32 (рис.3.2), спільного для всіх трьох оптичних каналів, співпадає з повздовжньою віссю ОХ ЛА.

Виділені розсіяні пучки 9,10 (перший канал) та 11, 12 (другий канал) розміщені в вертикальній площині OZX, а розсіяні пучки 42, 43 (третій канал), розміщені в горизонтальній площині OYZ. Об'єктив 32 розміщений на фокусній відстані від точки 4 (вимірювального об'єму).

Пучок 2 лазера 1 (рис.3.3) сфокусований в точку 4 (вимірювальний об'єм), яка розміщена на повздовжній осі ОХ ЛА, має частоту  $\omega_0$ . Виділені розсіяні пучки 9 та 10 першого оптичного каналу мають частоту відповідно  $\omega_0 + \omega_{д9}$  та  $\omega_0 + \omega_{д10}$ , де  $\omega_9$  та  $\omega_{д10}$  – доплерівські зсуви частот пучків 9 та 10.

Величини цих доплерівських зсувів визначаються швидкістю повітряного потоку, який рухається через вимірювальний об'єм 4, та геометрією пристрою.

Крім того, пристрій для зсуву частот 37 вносить в пучок 10 додатковий зсув частоти, величина якого рівна  $\omega_{ml} = 2\pi f_{ml}$ , де  $f_{ml}$  – частота генератора високої частоти 39. Тому змішані пучки 21 та 22 на виході складової призми – змішувача 19 мають частоту  $\omega_0 + \omega_{д9}$  та  $\omega_0 + \omega_{ml} + \omega_{д10}$ .

Розсіяні пучки 9 та 10 (перший оптичний канал) мають хвильові вектори  $\vec{K}_{s11}$  та  $\vec{K}_{s12}$  відповідно (рис.3.6). Розсіяні пучки 11 та 12 (другий оптичний канал) мають хвильові вектори  $\vec{K}_{s21}$  та  $\vec{K}_{s22}$ . Різницеві хвильові вектори  $\vec{K}_1$  та  $\vec{K}_2$  розміщені симетрично під однаковими кутами  $\gamma$  по відношенню до вісі ОХ.

Проекція  $V_{xz}$  вектора швидкості на площину OXZ направлена під кутом  $\alpha_x$  до вісі ОХ. При цьому  $V_x$  та  $V_z$  та  $V_z$  – проекції вектора швидкості на вісі ОХ та ОZ відповідно.

Розсіяні пучки 42 та 43 (третій канал) мають хвильові вектори  $\vec{K}_{s31}$  та  $\vec{K}_{s32}$  (рис.3.5).

Різницевий хвильовий вектор  $\vec{K}_z$  співпадає з напрямом вісі OY,  $V_x$  та  $V_z$  проєкції вектора швидкості на вісі OY та OZ відповідно, -  $V_{xy}$  проєкція вектора швидкості на площині OYZ (рис.3.7).

Отвори 63 та 65 непрозорого екрану 15 (рис.3.8) призначені для виділення розсіяних пучків 9 і 10 першого оптичного каналу. Третій отвір 64 необхідний для проходження розсіяного пучка 12 (другого оптичного каналу). Отвори 63, 64 та 65 розміщені на вісі OZ.

Отвори 68 та 66 непрозорого екрану (рис.2.9) призначені для виділення розсіяних пучків 11 та 12 другого оптичного каналу. Третій отвір 67 необхідний для проходження розсіяного пучка 10 першого каналу. Отвори 66, 67 та 68 розміщені на вісі OX.

Непрозорий екран 45 третього оптичного каналу (рис.3.10) має отвори 69, 70, що розміщені на вісі OX для виділення розсіяних пучків 42 та 43. Інші позначення на рис.3.3...3.10 аналогічні до рис.3.2, де перед кожним з фотоприймачів (рис.3.5) 52, а також 25 та 26 встановлені інтерференційний світлофільтр 71, лінза 72, точкові діафрагми 73, 74, 75 та 76 – фільтри нижніх частот, 77 – бортовий пристрій вимірювання та визначення істинної повітряної швидкості, кута атаки та ковзання.

### 3.4. Принцип дії

Прилад працює наступним чином:

Лазер 1 випромінює монохромний промінь 2 з частотою  $\omega_0$ . Фокусуючий об'єктив 3 фокусує пучок 2 (рис.3.2) в точці 4 (вимірювальний об'єкт), через який зі швидкістю  $\vec{V}$  рухається повітряний потік.

Зона вимірювання 4 знаходиться на повздовжній вісі ЛА ОХ, за звуковим бар'єром, тобто в області незбудженого повітряного потоку.

При висотах польоту ЛА від 0 до 10 км в повітряному потоці присутні як мікрочастинки так і молекули, на яких відбувається розсіювання лазерного випромінювання. В цьому діапазоні висот потужність лазерного пучка 3 мінімальна та такої величини, що забезпечує сигнал, шум на виході фотоприймачів більше 10. (Ця потужність  $P=100\text{мВТ}$ ). При польотах на великих висотах до 35 км потужність пучка 3 максимальна (в діапазоні регулювання потужності пучка від висоти польоту) для забезпечення режиму спонтанного когерентного випромінювання молекул повітряного середовища, яке приймається в напрямках 9, 10, 11, 12, 42 та 43.

Перший 5, другий 6 і третій 41 оптичні канали влаштовані ідентично та призначені для прийому розсіяного випромінювання, яке йде від точки 4.

Оптична вісь 7 першого каналу 5 та оптична вісь 8 другого каналу 6 розміщені в одній площині з оптичною віссю ОХ пристрою (рис.3.1 та рис.3.2) та пересікають її в точці 4 під однаковими кутами  $\beta$ . При цьому перший оптичний канал виділяє розсіяні пучки 9 та 10, розміщені в вертикальній площині ОХZ під кутами  $\alpha/2$  відносно своєї оптичної вісі 7, за допомогою прийомного об'єктиву 32 та непрозорого екрану 15 з двома отворами (рис.3.8). Виділений пучок 9 (рис.3.1, рис.3.4) має частоту  $\omega_0 + \omega_{д9}$ , а пучок 10 має частоту  $\omega_0 + \omega_{д10}$ . Тут  $\omega_{г9}$  та  $\omega_{г10}$  – доплерівський зсув частоти

в розсіяних пучках 9 і 10, які визначаються швидкістю потоку  $V$  в вимірювальному об'єму виділені пучки 9, 10 (рис.3.2, рис.3.4) просторово поєднуються двопробеневим інтерферометром, який складається з дзеркала 17, складової призми-змішувача 19. Так як пучок 10 при проходженні через пристрій для зсуву частоти 37, під'єданого до генератора високої частоти 39, отримує зсув частоти на величину  $\omega_{m1}=2\pi f_{m1}$ , де  $f_{m1}$  – частота генератора високої частоти 39, то змішувані пучки 21 та 22 на виході складової призми-змішувача 19 мають частоти  $\omega_0 + \omega_{d9}$  та  $\omega_0 + \omega_{m1} + \omega_{d10}$ .

На виході фотоприймача 25 в результаті оптичного гетеродинування – формується високочастотний сигнал на частоті:

$$\omega_1 = \omega_{m1} - (\omega_{g9} - \omega_{g10}) = \omega_{m1} - 2K \sin \frac{\alpha}{2} V_{xz} \cos(\gamma - \alpha_x), \quad (1)$$

де  $K = 2\pi/\lambda$  – модуль хвильового вектора з довжиною хвилі  $\lambda$ ;

$V_{xz}$  – проекція вектора швидкості потоку  $V$  на площину  $OXZ$ ;

$\gamma$  – кут між віссю  $OX$  та напрямком різницевого вектору  $\vec{K}_1 = \vec{K}_{s11} - \vec{K}_{s12}$ , виділених пучків 9, 19 (рис.3.6);  $\alpha_x$  – кут між віссю  $OX$  та напрямком проекції  $V_{xz}$  вектора швидкості.

$V$  на площину  $OXZ$  (рис.3.2, рис.3.6). Другий оптичний канал виділяє розсіяні пучки 11 та 12 (рис.3.2), розміщені в вертикальній площині  $OXZ$  так само під кутами  $\alpha/2$  відносно своєї оптичної вісі, за допомогою прийомного об'єктива 32 та непрозорого екрану 16 з двома отворами (рис.3.9). Виділені пучки 11 і 12 просторово поєднуються двопробеневим інтерферометром, який складається з дзеркала 18 та складової призми-змішувача 29. Так як пучок 12 при проходженні через пристрій для зсуву частоти 28, під'єданого до генератора високої частоти 40, отримує зсув частоти на величину  $\omega_{m2}=2\pi f_{m2}$ , де  $f_{m2}$  ( $f_{m2} > f_{m1}$ ) частота генератора високої частоти 40, то змішувані пучки 23 та 24 на виході складової призми-змішувача 20 мають частоти  $\omega_0 + \omega_{d11}$  та  $\omega_0 + \omega_{m2} + \omega_{d12}$ .

На виході фотоприймача 26 утвориться сигнал на частоті:

$$\omega_{2+} - \omega_{m2} - (\omega_{g11} - \omega_{g12}) = \omega_{m2} - 2K \sin \frac{\alpha}{2} V_{xz} \cos(\gamma - \alpha_x), \quad (2);$$

де  $\omega_{d11}$  та  $\omega_{d12}$  – частотні зсуви в розсіяних пучках 11 та 12, які визначаються швидкістю  $V_u$  вимірювальному об'ємі 4;  $\gamma$  – кут між віссю OX та напрямком різницевого вектору  $\vec{K}_2 = \vec{K}_{s21} - \vec{K}_{s22}$ , виділених пучків 11, 12 (рис.3.6);

Оптична схема двохчастотного інтерферометра (рис.3.5) в кожному каналі вимірювання забезпечує просторове поєднання хвильових векторів двох пучків, які приймаються з секундною точністю, а також різницю оптичного ходу пучків в інтерферометрі близьку до нуля (рис.3.3):

$(L_4 - L_3 - L_5) n_1 + L_3 n_2 = (L_4 + L_1) n_1 + L_2 n_3$ , де  $L_i$  – довжина шляху, який проходить пучок в середовищі з показником заломлення  $n_i$ .

Високочастотні сигнали з виходу фотоприймача 25 першого оптичного каналу 5 та з виходу фотоприймача 26 другого оптичного каналу 6 поступають відповідно на перший і другий входи змішувача 27. Сигнал з виходу змішувача 27 поступає на входи першого фільтру нижніх частот 28 та першого фільтру верхніх частот 29. На виході першого фільтру нижніх частот 28 виділяється сигнал різної частоти:

$$\omega_1 - \omega_2 = (\omega_{m1} - \omega_{m2}) - (8\pi/\lambda) \sin \frac{\alpha}{2} V_z \cos \beta, \quad (3)$$

де:  $V_z$  – проекція вектора швидкості  $\vec{V}$  на вісь OZ, цей сигнал поступає на перший вхід другого змішувача 53. На другий вхід змішувача 53 надходить сигнал на частоті  $\omega_{m1} - \omega_{m2}$ , який утворюється шляхом подачі на перший та другий входи п'ятого змішувача 55 сигналів з виходів генераторів високої частоти 39 та 40 відповідно, та наступним виділенням на виході цього

змішувача сигналу різної частоти за допомогою другого фільтра нижніх частот 61. Сигнал різниці частот:

$$\omega_x = \left(\frac{8\pi}{\lambda}\right) \sin\frac{\alpha}{2} V_z \cos\beta, \quad (4)$$

з виходу другого змішувача, через смуговий фільтр, поступає на перший вхід першого вимірювача доплерівської частоти 30, другий вхід якого через перший частотний дискримінатор 57, налаштованого на  $\omega_{m1} - \omega_{m2}$  – підключений до виходу першого фільтра нижніх частот 28. За допомогою першого вимірювача доплерівської частоти 30 вимірюється в реальному масштабі часу величина проекції вектора швидкості  $V_x$  та визначається її знак.

На виході першого фільтра верхніх частот 29 виділяється сигнал сумарної частоти:

$$\omega_1 + \omega_2 = (\omega_{m1} + \omega_{m2}) - (8\pi)/\lambda \sin\frac{\alpha}{2} V_z \sin\beta, \quad (5)$$

де:  $V_x$  – проекція вектора швидкості потоку  $V$  на вісь ОХ. Цей сигнал надходить на перший вхід від третього змішувача 54. На другий вхід змішувача 54 надходить сигнал на частоті  $\omega_{m1} + \omega_{m2}$  який виділяється другим фільтром верхніх частот 60 з виходу п'ятого змішувача 55. Сигнал різниці частоти:

$$\omega_x = \left(\frac{8\pi}{\lambda}\right) \sin\frac{\alpha}{2} V_x \cos\beta, \quad (6)$$

з виходу третього змішувача 54, через смуговий фільтр 75, надходить на перший вхід другого вимірювача доплерівської частоти 31, другий вхід якого через другий частотний дискримінатор 58, налаштований на частоту  $\omega_{m1} + \omega_{m2}$  під'єднаний до виходу першого фільтра верхніх частот 29. За допомогою другого вимірювача доплерівської частоти 31 вимірюється в реальному масштабі часу величина проекції вектора швидкості  $V_x$  та визначається її знак.

Третій оптичний канал 41 виділяє розсіяні пучки 42 та 43 (рис.3.2, рис.3.7) розміщені в горизонтальній площині OXY (на рис.3.1 вони умовно показані в площині OXY) під кутами  $\alpha/2$  відносно оптичної вісі пристрою, за допомогою прийомного об'єктиву 32 та непрозорого екрану 45 двома отворами (рис.3.10). Виділені пучки 42 та 43 просторово поєднуються двопроменевим інтерферометром, який складається з дзеркала 46 та складової призми – інтерферометром, який складається з дзеркала 46 та складової призми – змішувача 49. Так як пучок 42 при проходженні через пристрій для зсуву частоти 47, під'єданого до генератора високої частоти 48, отримує зсув частоти на величину  $\omega_{m3} = 2\pi f_{m3}$  де  $2\pi f_{m3}$  - частота генератора високої частоти 48, тоді змішані пучки 50 та 51 на виході складової призми – змішувача 49 мають частоти :

$$\omega_0 + \omega_{d43} \text{ та } \omega_0 + \omega_{m3} + \omega_{d42};$$

Ці пучки 49 та 50 проходять інтерференційний світлофільтр 71 та далі фокусуються лінзою 72 на точковому отворі апертурної діафрагми 72, встановленої перед фотоприймачем 52 (рис.3.5) аналогічно це відбувається для пучків 21 та 22, направлених на фотоприймач 25, а також пучків 23, 24, направлених на фотоприймач 26 (рис.3.6).

На виході фотоприймача 52 в результаті оптичного гетеродинування утвориться високочастотний сигнал на частоті:

$$\omega_3 = \omega_{m3} - (\omega_{g42} - \omega_{g43}) = \omega_{m3} - 2K \sin \frac{\alpha}{2} V_Y, \quad (7)$$

де:  $K = 2\pi/\lambda$  – модуль хвильового вектора з довжиною хвилі  $\lambda$ ;  $V_Y$  – проекція вектора швидкості потоку  $V$  на вісь OY. В цьому випадку напрямок різницевого вектору  $\vec{K}_3 = \vec{K}_{s31} - \vec{K}_{s32}$ , виділених пучків 42 та 43 співпадає з



напрямок вісі ОУ (рис.3.5). Сигнал з виходу фотоприймача 52 надходить на вхід третього частотного дискримінатора 59, налаштованого на частоту  $\omega_{m3}$ , та на перший вхід четвертого змішувача 56, на другий вхід якого надходить сигнал з частотою  $\omega_{m3}$  з виходу третього генератора високої частоти 48.

З виходу змішувача 56, через смуговий фільтр 76, сигнал різності частоти:

$$\omega_y = \frac{4\pi}{\lambda} \sin \frac{\alpha}{2} V_y \quad (8)$$

Надходить на перший вхід третього вимірювача доплерівської частоти 62, другий вхід якого з'єднаний з виходом третього частотного дискримінатора 59.

За допомогою третього вимірювача доплерівської частоти вимірюється в реальному масштабі часу проекція вектора швидкості  $V_Y$  та визначається її знак.

Оптична схема пристрою та розміщення отворів в непрозорих екранах 15 та 16 дозволяє зробити кут  $\alpha$  відносно великим, а кут  $\beta$  – малим за величиною.

Відповідно, як видно з виразу (4), (6) і (8) запропонований пристрій має найбільшу чутливість в напрямку вісі ОZ та найменшу в напрямку вісі ОX.

Значне збільшення кута  $\alpha$  викликає збільшення чутливості приладу в напрямку вісей ОX, ОZ та ОУ.

Запропонований пристрій може бути використаний в варіанті побудови оптичних каналів 5,6 та 41 для прийому розсіяного випромінювання, коли  $\gamma = 0$ . В цьому випадку об'єктив 32 виконує функцію збирача розсіяного випромінювання в напрямках 9, 10, 11, 12, 42 та 43 та фокусує його. Такий варіант пристрою встановлюється, наприклад, в носовій частині ЛА, який рухається з гіперзвуковою швидкістю.

Таким чином, запропонований пристрій дозволяє з високою точністю вимірювати в реальному масштабі часу величину та визначати знак трьох ортогональних проекцій вектору повітряного потоку, більша з яких направлена вздовж оптичної вісі лазера. Тобто досягається ціль винаходу. Сигнали з виходів 30, 31 та 62 потрапляють в бортовий цифровий пристрій вирахування 77, який по відомим рівнянням вираховує з високою точністю вектор істинної повітряної швидкості  $V$  та кут атаки  $\alpha$  і ковзання  $\beta$ .

### **3.5. Висновки до розділу**

На основі існуючого прототипу лазерного вимірювача кутів атаки та ковзання було представлено новий прототип, в якому було усунуто ряд недоліків які мав відомий прототип.

Як було зазначено вище, в запропонованому прототипі технічний результат досягається за рахунок усунування вищевказаних недоліків прототипу, який відрізняється від нього тим, що:

Пристрій для вимірювання повітряно-швидкісних параметрів польоту літального апарату (ЛА), який включає лазер, фокусуючий об'єктив, а також три вимірювальних канали, оптична схема яких включає встановлені послідовно інтерференційний світлофільтр, лінзу, діафрагму з коловим отвором, три фотоприймачі, виходи яких з'єднані зі смуговим фільтром, а також три вимірювача доплерівських частот, виходи яких під'єднані зі входами мікропроцесора, який відрізняється тим, що в ньому додатково встановлено оптичний прийомний блок, який складається з оптично погоджених об'єктива та апертурної діафрагми з шістьма отворами, при цьому чотири з яких знаходяться в площині  $X, Z$  ЛА та розміщені попарно симетрично відносно оптичної вісі об'єктива, яка співпадає з повздовжньою віссю ЛА, два інші отвори діафрагми розміщені в площині  $YXZ$  ЛА, симетрично відносно повздовжньої вісі  $OX$  ЛА, а також трьох двохчастотних інтерферометрів, які забезпечують просторове поєднання хвильових векторів

пучків попарно, які проходять через отвори діафрагми, а також близьку до нуля різницю оптичного руху пучків при їх виході з інтерферометра, виходи трьох інтерферометрів оптично погоджені зі входами оптичних схем трьох вимірювальних каналів.

Крім того, оптична вісь фокусуєчого об'єктива складає кут  $\gamma$  з повздовжньою віссю ОХ ЛА, а оптична вісь приймального блоку співпадає з повздовжньою віссю ОХ, що забезпечує прийом випромінювання із зони вимірювання, розміщеної на повздовжній осі ОХ ЛА в фокусі фокусуєчого об'єктива, куди спрямовується зондуєчий пучок лазера, потужність якого змінюється залежно від висоти польоту.

Пристрій також, відрізняється тим, що двохчастотний інтерферометр, на вхід якого подається два паралельних пучки, складається з оптично погоджених селективного дзеркала на шляху одного із пучків, а також пристрою зсуву частот, підключеного до генератора високих частот, на шляху другого пучка, а також складової призми-змішувача яка просторово поєднує хвильові вектори цих двох пучків та компенсує оптичну різницю ходу цих двох пучків в інтерферометрі.

Пристрій також відрізняється тим, що вхід лазера, розміщеного на борту ЛА, через волокно-оптичний провід узгоджений з фокусуєчим об'єктивом, а виходи трьох інтерферометрів через відповідні волокно-оптичні проводи оптично узгоджені з оптичними схемами трьох вимірювальних каналів.

Пристрій також відрізняється тим, що кут  $\gamma$  може бути в діапазоні  $\gamma = 0 \dots 60$  градусів, а також тим, що потужність лазерного пучка автоматично регулюється залежно від висоти польоту ЛА.

## РОЗДІЛ 4

### РОЗРОБКА БАГАТОХВИЛЬОВОГО ЛАЗЕРНОГО ВИМІРЮВАЧА КУТА АТАКИ ТА КОВЗАННЯ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ

#### 4.1. Вдосконалення лазерного вимірювача кута атаки та ковзання літального апарату

Представлений у третьому розділі пристрій має ряд переваг над нині існуючими, в цьому розділі буде представлена модифікація лазерного вимірювача кута атаки та ковзання у вигляді багатохвильового рішення.

Винахід належить до вимірювальної техніки і може бути використаний для вимірювання повітряно-швидкісних параметрів трьох ортогональних складових у трьох проекціях і має 6 додаткових оптично узгоджених лазерів а також інших трьох лазерів на довжинах хвиль  $\lambda_1$ ,  $\lambda_2$  і  $\lambda_3$  що зменшує інструментальну похибку та збільшує діапазон вимірюваних параметрів.

## 4.2. Метод вдосконалення прототипу

Пропонується вдосконалити представлений прототип використовуючи лазерний багатохвильовий трикомпонентний вимірювач кута атаки та зносу в якому в свою чергу пропонується використати шість напівпровідникових лазерів, три з яких будуть формувати випромінювання у вертикальній площині поляризації на довжинах хвиль  $\lambda_1$ ,  $\lambda_2$  і  $\lambda_3$ , а інші три лазера формувати випромінювання із горизонтальною поляризацією відповідно на довжинах хвиль  $\lambda_1$ ,  $\lambda_2$  і  $\lambda_3$ , до складу вимірювача також входять чотири об'єктиви, сім пристроїв зсуву частот, чотири фазорегуляторів, чотири селективних розщеплювачі та змішувачі випромінювання а також чотири фотоприймача поєднаних в свою чергу із відповідними доплерівськими вимірювачами і має цифровий обчислювач, який проводить розрахунки з підвищеною точністю отриманої інформації про параметри трьох ортогональних площин вимірювання швидкості  $V$ , кута атаки  $\alpha$  та кута ковзання  $\beta$ , забезпечуючи цим вимірювання з підвищеною точністю.

### 4.3. Сутність пропонуваного прототипу

Запропонована модифікація лазерного вимірювача кута атаки та ковзання усуває недоліки притаманні відомим, існуючим пристроям а також має перевагу над представленим пристроєм в третьому розділі за рахунок того, що в ньому є додатково встановлені два лазери на довжині хвилі  $\lambda_2$ , два лазери на довжині хвилі  $\lambda_3$ , а інші два лазера випромінюють пучки на довжині хвилі  $\lambda_1$ , дві дисперсійні призми, причому виходи перших трьох лазерів, а також других трьох лазерів на довжинах хвиль  $\lambda_1$ ,  $\lambda_2$  і  $\lambda_3$  узгоджені відповідно зі входом першої і другої дисперсійних призм; два поляризатора, обертач площини поляризації, причому кожен поляризатор і обертач поляризації встановлені між виходом дисперсійної призми та відповідно першим і другим входом поляризаційного розщеплювача, а його вихід оптично узгоджений зі входом фокусуєчого об'єктива; діафрагма з трьома парами симетричних отворів у напрямку осі ОХ, іншими трьома парами отворів в напрямку осі ОУ, яка також має центральний отвір, що збігається із оптичною віссю ОZ; причому діафрагма розташовується у фронтальній площині фокусуєчого об'єктива; має три призми повного внутрішнього відбиття, які в свою чергу встановлюються на другому виході світло-розділювача у кожному із змішувачів, а виходи цих трьох призм через відповідні інтерференційні світлофільтри, на довжинах хвиль  $\lambda_1$ ,  $\lambda_2$  і  $\lambda_3$ , оптично узгоджені зі входом другого об'єктива а також має три пристрої для зсуву частоти, кожен з яких встановлені на відповідному вході кожного із змішувачів і має генератор високої частоти  $\Omega_{M2}$ , вихід якого з'єднаний зі входами кожного з трьох пристроїв зсуву частоти.

Крім того, також додатково встановлено четвертий, п'ятий і шостий змішувачі, кожен із яких складається із селективного дзеркала на довжині хвилі  $\lambda_1$  світло-розділювача і призми повного внутрішнього відбиття причому вихід четвертого змішувача через інтерференційний світлофільтр на довжині хвилі  $\lambda_2$  оптично узгоджений зі входом третього об'єктива.

Встановлюються два інтерференційних світлофільтри на довжині хвилі  $\lambda_1$  четвертий і п'ятий об'єктиви.

Другий і третій фотоприймачі (причому виходи п'ятого і шостого змішувачів через послідовно встановлені інтерференційні фільтри), - на довжині хвилі  $\lambda_1$ , і додатково встановлюються четвертий і п'ятий об'єктиви, оптично узгоджені зі входом відповідно третього і четвертого додатково встановлених фотоприймачів. Перший селективний світло-розділювач, що пропускає випромінювання на довжині хвилі  $\lambda_1$  і  $\lambda_2$  та відбиває випромінювання на довжинах хвиль  $\lambda_3$ , який встановлений на вході шостого змішувача, причому вихід цього селективного світло-розділювача на довжині хвилі  $\lambda_3$  оптично узгоджений через додатково встановлену складову призму, що складається із світло-розділювача і призми повного внутрішнього відбиття, а також інтерференційний світлофільтр на довжині хвилі  $\lambda_3$  зі входом третього об'єктива а другий селективний світло-розщеплювач, що відбиває випромінювання на довжині хвилі  $\lambda_1$  і в свою чергу пропускає випромінювання на довжинах хвиль  $\lambda_2$  і  $\lambda_3$ , причому другий вихід цього світло-розщеплювача узгоджений зі входом складової призми, а перший вихід узгоджений через додатково встановлене селективне дзеркало на довжині хвилі  $\lambda_1$  із входом світлорозділювача п'ятого змішувача, третій селективний світло-розщеплювач, що відбиває випромінювання на довжині хвилі  $\lambda_2$  і пропускає випромінювання на довжинах хвиль  $\lambda_1$  і  $\lambda_3$ , вихід якого погоджено із входом п'ятого змішувача, а перший його вихід зі входом додатково встановленої другої складової призми, вихід другої складової призми через світлофільтр на довжині хвилі  $\lambda_2$  оптично узгоджений зі входом третього об'єктива, четвертий селективний світло-розщеплювач, що відбиває

випромінювання встановлюється на довжині хвилі  $\lambda_1$  і пропускає випромінювання на довжинах хвиль  $\lambda_1$  і  $\lambda_3$ , причому другий вхід цього світло-розщеплювача узгоджений із входом другої складової призми, а перший його вихід узгоджений зі входом світло-розділювача п'ятого змішувача, виходи чотирьох селективних світло-розщеплювачів оптично узгоджені з відповідними отворами діафрагми в площині OXZ а також додатково встановлено четвертий, п'ятий, шостий і сьомий пристрої зсуву частот і генератор високої частоти на  $\Omega_{M1}$ , подвоювач частоти, другий, третій і четвертий доплерівські вимірювачі, а також цифровий обчислювач, причому четвертий пристрій зсуву частоти встановлений на вході з першого селективного світло-розщеплювача.

П'ятий пристрій зсуву частоти встановлюється на вході третього селективного світло-розщеплювача, шостий пристрій зсуву частоти встановлено на вході четвертого змішувача; сьомий пристрій через подвоювач частоти пов'язаний із входом генератора високої частоти  $\Omega_{M1}$  і встановлений на вході світло-розділювача шостого змішувача, а четвертий, п'ятий і шостий пристрої зсуву частот підключені до генератора високої частоти  $\Omega_{M2}$ , вхід третього фотоприймача оптично узгоджений із виходом третього об'єктива, а його вихід з'єднаний із входом третього доплерівського вимірювача, вхід четвертого фотоприймача оптично узгоджений з виходом четвертого об'єктива, а його вихід з'єднаний із входом четвертого доплерівського вимірювача, вихід другого фотоприймача з'єднаний відповідно з другим доплерівським вимірювачем, а виходи першого, другого, третього і четвертого доплерівських вимірювачів з'єднані із входами цифрового обчислювача, крім того, перший додатковий фазорегулятор встановлений на вході світло-розділювача четвертого змішувача, а другий додатковий фазорегулятор встановлений на вході першої складової призми.

На рис. 4.1 представлена блок-схема вимірювача в площині OYZ.



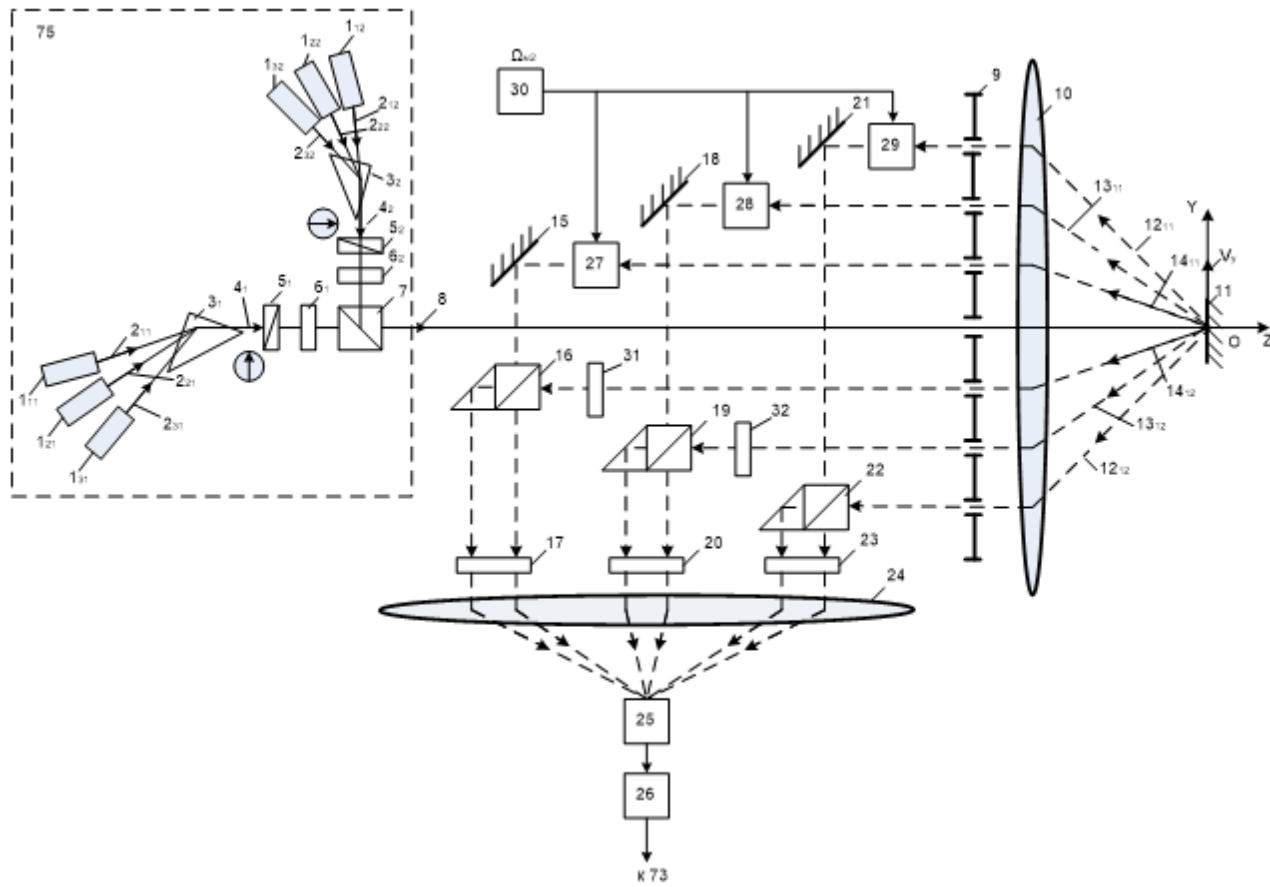


Рис. 4.1. блок-схема вимірювача в площині OYZ

На рис. 4.2 представлена блок-схема вимірювача в площині OXZ.

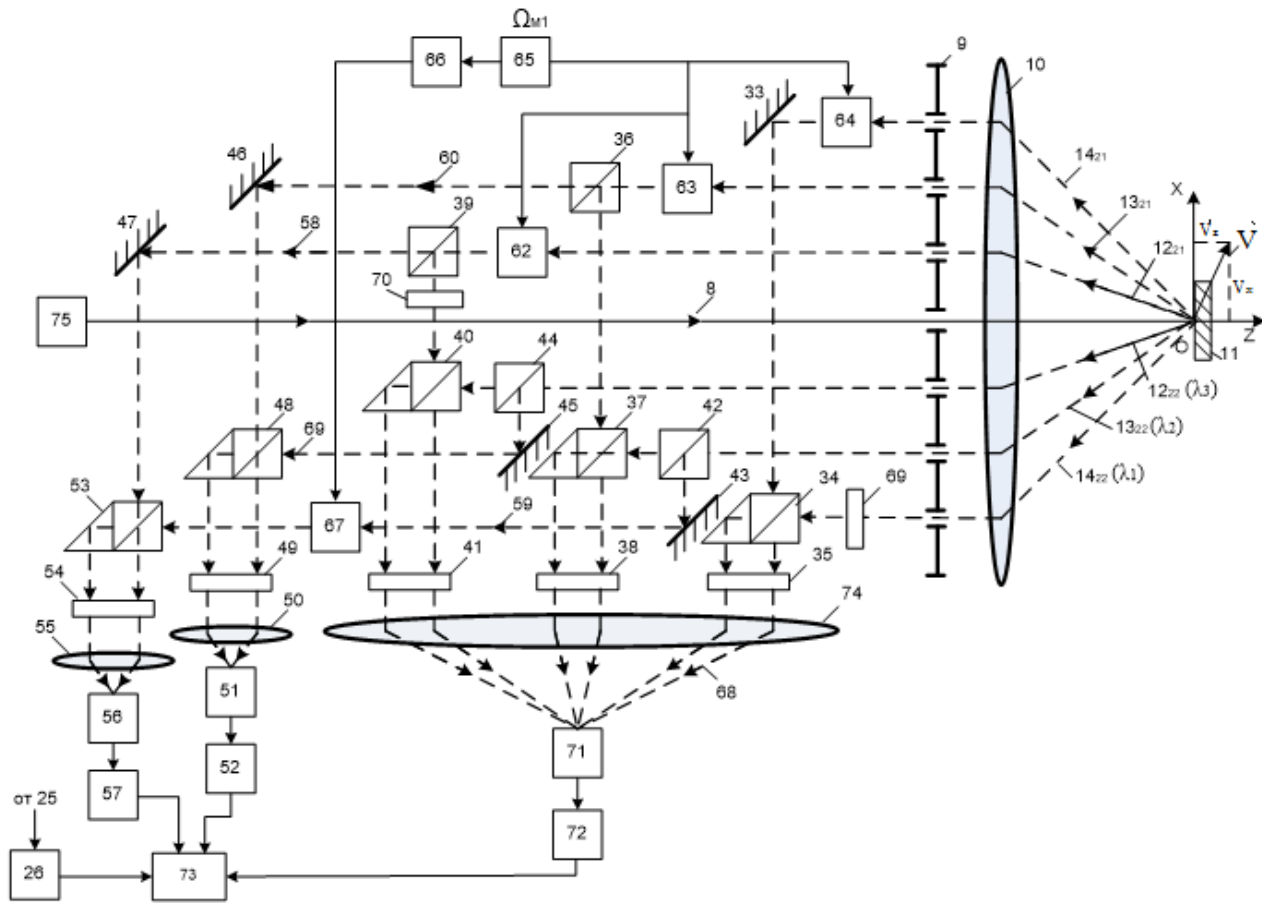


рис. 4.2 блок-схема вимірювача в площині OXZ.

На рис. 4.3 представлена апертурна діафрагма.

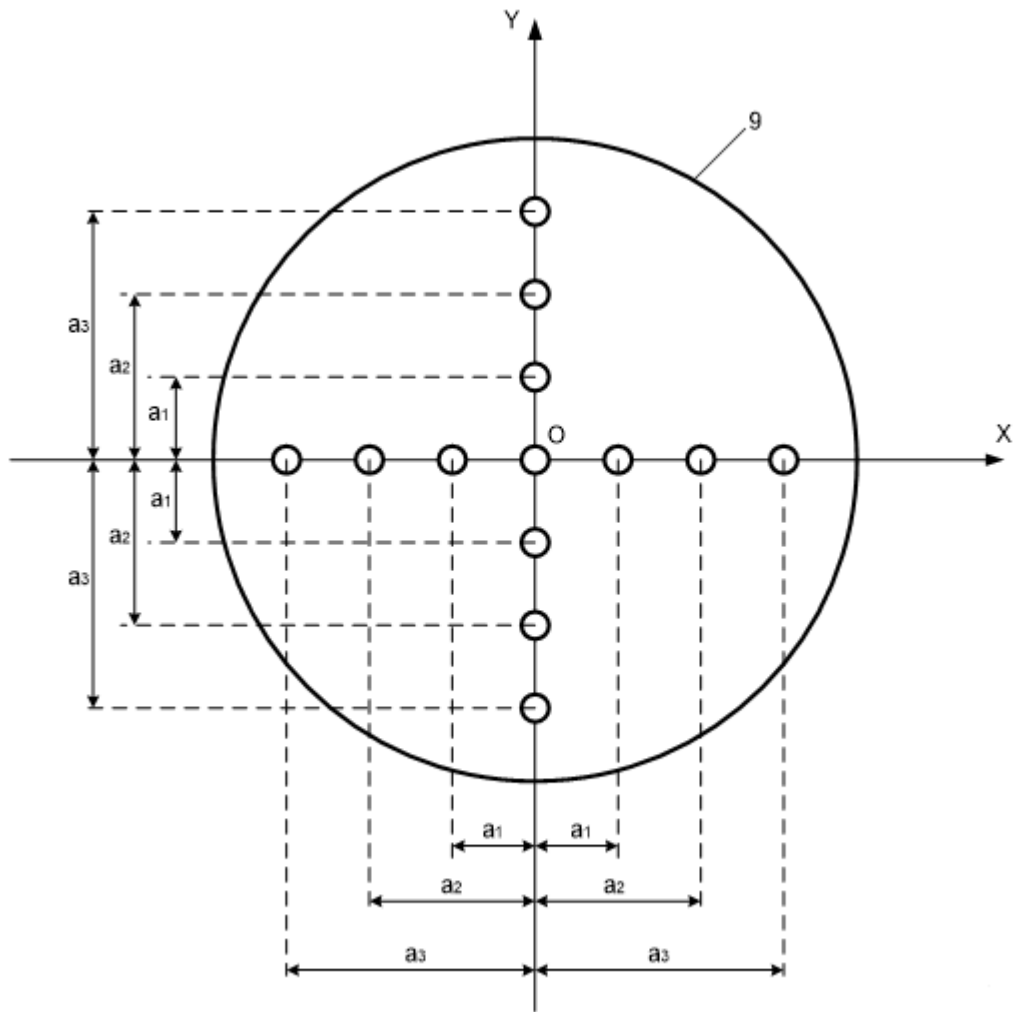


рис. 4.3 апертурна діафрагма

На рис. 4.4 представлена геометрія прийому розсіяних пучків на довжинах хвиль  $\lambda_1$ ,  $\lambda_2$  і  $\lambda_3$ .

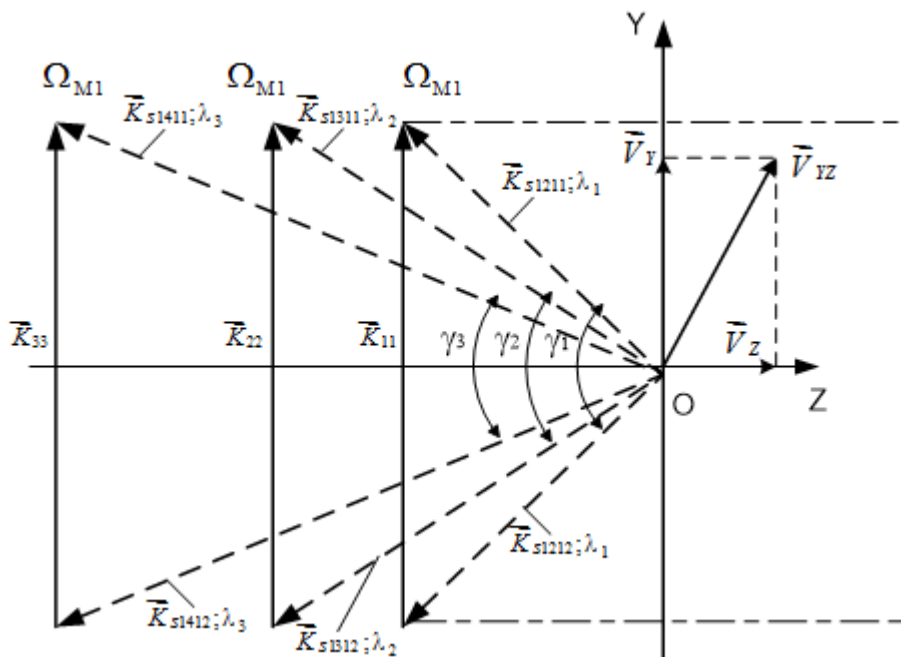


рис. 4.4 представлена геометрія прийому розсіяних пучків на довжинах хвиль  $\lambda_1$ ,  $\lambda_2$  і  $\lambda_3$ .

На рис. 4.5 представлена векторна діаграма хвильових векторів розсіяних пучків на довжині хвилі  $\lambda_1$ .

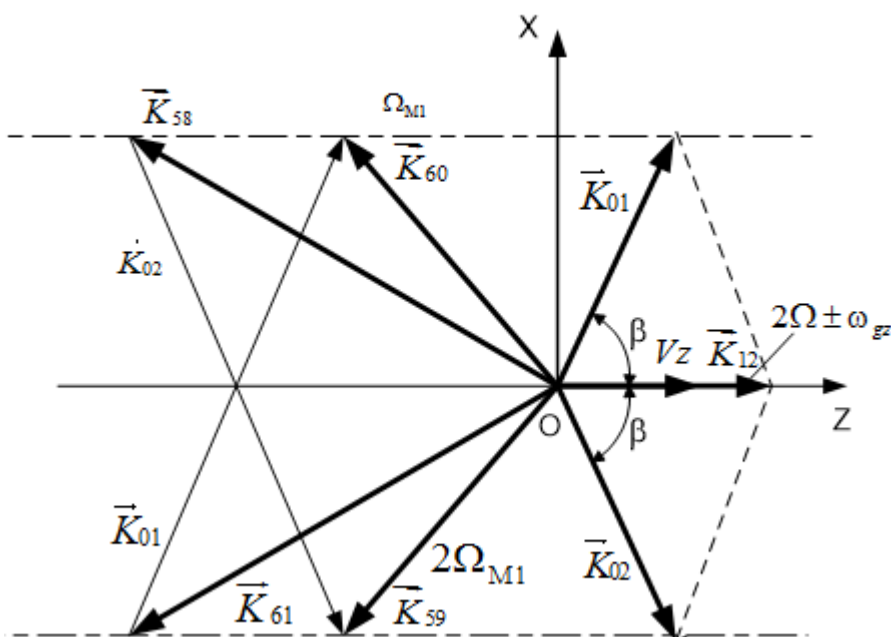


рис. 4.5 векторна діаграма хвильових векторів розсіяних пучків на довжині хвилі  $\lambda_1$ .

#### 4.4. Принцип побудови багатохвильового вимірювача кута атаки та ковзання

Багатохвильовий лазерний вимірювач кута атаки та ковзання містить (рис. 4.1 та рис. 4.2) оптично узгоджені шість напівпровідникових лазерів:  $1_{11}$  і  $1_{12}$ ,  $1_{21}$  і  $1_{22}$ ,  $1_{31}$  і  $1_{32}$ , що випромінюють відповідно пучки променів  $2_{11}$  і  $2_{12}$  на довжині хвилі  $\lambda_1$ ;  $2_{21}$  і  $2_{22}$  на довжині хвилі  $\lambda_2$ ;  $2_{31}$  і  $2_{32}$  на довжині хвилі  $\lambda_3$ ; дисперсійні призми  $3_1$  і  $3_2$ , на виході яких формуються відповідно пучки  $4_1$  і  $4_2$ , поляризатори  $5_1$  і  $5_2$ , обертачі площин поляризації  $6_1$  і  $6_2$ , поляризаційну призму-розщеплювач  $7$ , на виході якої формується лазерний пучок  $8$ , апертурну діафрагму  $9$  (рис. 4.3), яка в свою чергу має центральний отвір для проходження зондуючого пучка  $8$  в напрямку осі  $OZ$ , а також три пари симетричних отворів, як в напрямку осі  $OX$ , так і в напрямку осі  $OY$ , фокусуючий об'єктив  $10$ ,  $11$  – дифузно-відбиваючу поверхню,  $12_{11}$  і  $12_{12}$ , розсіяні пучки відповідно з хвильовими векторами  $\vec{K}_{S1211}$  і  $\vec{K}_{S1212}$  на довжині хвилі  $\lambda$  (рис. 4).

$13_{11}$  і  $13_{12}$  - розсіяні пучки, що мають відповідні хвильові вектори  $\vec{K}_{S1311}$  і  $\vec{K}_{S1312}$  на довжині хвилі  $\lambda_2$ ;

$14_{11}$  і  $14_{12}$  - розсіяні пучки  $\vec{K}_{S1411}$  і  $\vec{K}_{S1412}$  на довжині хвилі  $\lambda_3$ ;

$15$ ,  $18$ ,  $21$  – селективні дзеркала відповідно на довжинах хвиль  $\lambda_3$ ,  $\lambda_2$  і  $\lambda_1$ .  $16$ ,  $19$ ,  $22$  – змішувачі відповідно на довжинах хвиль  $\lambda_3$ ,  $\lambda_2$  і  $\lambda_1$ , що складаються із напівпрозорої призми і призми повного внутрішнього відбиття.

$17$ ,  $20$ ,  $23$  – інтерференційні фільтри відповідно на довжинах хвиль  $\lambda_3$ ,  $\lambda_2$  і  $\lambda_1$ , другий об'єктив  $24$ , перший фотоприймач  $25$ , перший вимірювач доплерівського сигналу –  $26$ .

$27$ ,  $28$  і  $29$  – пристрої зсуву частоти,  $30$  – генератор високої частоти  $\Omega_{M2}$   $31$  і  $32$  – фазорегулятори.

$33$ ,  $46$  і  $47$  – селективні дзеркала відповідно на довжині хвилі  $\lambda_1$ .

34, 37 і 40 – змішувачі відповідно для довжин хвиль  $\lambda_1, \lambda_2$  і  $\lambda_3$ .

35, 38, 41 – інтерференційні фільтри відповідно на довжинах хвиль  $\lambda_1, \lambda_2$  і  $\lambda_3$ .

36 і 39 – світло-розподільчі призми, які пропускають розсіяні пучки на довжині хвилі  $\lambda_1$ , і відбивають випромінювання на довжинах хвиль  $\lambda_3$  і  $\lambda_2$ , 42 і 44 – світло-розподільчі призми, які пропускають розсіяні пучки на довжинах хвиль  $\lambda_3$  і  $\lambda_2$ , та відбивають випромінювання на довжині хвилі  $\lambda_1$ .

43, 45 – селективні дзеркала на довжині хвилі  $\lambda_1$ .

48 і 53 – складові призми-змішувачі.

49 і 54 – інтерференційні фільтри на довжині хвилі  $\lambda_1$ .

50, 55 і 74 – третій, четвертий і п'ятий об'єктиви, узгоджені зі входами фотоприймачів 51, 56 і 71;

58, 59, 60 і 61 – розсіяні пучки на довжині хвилі  $\lambda_1$ .

52, 57 і 72 вимірювачі доплерівського сигналу.

62, 63, 64, 67 – пристрої зсуву частоти; 65 – генератор високої частоти  $\Omega_{M1}$ . 66 – подвоювач частоти, 68 – розсіяний пучок, що складається з компонентів на довжинах хвиль  $\lambda_1, \lambda_2$  і  $\lambda_3$ , 69 і 70 – фазорегулятори.

73 – цифровий обчислювач параметрів вібрації за напрямками OX, OY, OZ;

75 – блок лазерів.

Всі оптичні елементи і блоки мають просвітлюючі покриття відповідно на довжинах хвиль  $\lambda_1, \lambda_2$  і  $\lambda_3$ .

#### 4.5. Принци дії

Багатохвильовий лазерний вимірювач кутів атаки та ковзання працює наступним чином: три напівпровідникових лазери  $1_{11}$ ,  $1_{21}$  и  $1_{31}$  випромінюють відповідні пучки променів  $2_{11}$ ,  $2_{21}$  і  $2_{31}$ , наприклад, вертикально поляризовані, відповідно на довжинах хвиль  $\lambda_1$ ,  $\lambda_2$  і  $\lambda_3$ .

Ці пучки направляються під узгодженими кутами на вхід дисперсійної призми  $3_1$ , на виході якої формується один пучок  $4_1$ , що проходить поляризатор  $5_1$  із азимутом осі пропускання  $\alpha=90^\circ$  і обертач площини поляризації  $6_1$ , і далі направляється на перший вхід поляризаційної призми  $7$ . На другий вхід цієї призми  $7$  направляється горизонтально поляризований пучок  $4_2$  сформований від трьох лазерів  $1_{12}$ ,  $1_{22}$ ,  $1_{32}$ , пучки променів яких проходять послідовно дисперсійну призму  $3_2$ , поляризатор  $5_2$  із азимутом осі пропускання  $\alpha=0^\circ$  і обертач площини поляризації  $6_2$ .

Таким чином, на виході призми  $7$  формується пучок  $8$ , який складається із двох пучків на довжинах хвиль  $\lambda_1$ ,  $\lambda_2$  і  $\lambda_3$ , що мають лінійні взаємно ортогональні поляризації, і сумарна потужність якого дорівнює

$$P_\Sigma = \sum_{i=1}^6 P_i, \text{ де } P_i \text{ – потужність лазерного пучка } i\text{-го лазера } (i=6).$$

Лазерний пучок  $8$  фокусується об'єктивом  $10$  на повітряному потоці  $11$ . Розсіяне від молекул повітряного потоку  $11$  випромінювання збирається об'єктивом  $10$  в узгоджених між собою напрямках [3] із кутами розхідності  $\gamma_1$ ,  $\gamma_2$ ,  $\gamma_3$  (рис. 4.4), причому бісектриси цих кутів  $\gamma_1$ ,  $\gamma_2$  і  $\gamma_3$  збігаються із оптичною віссю  $OZ$  схеми. Крім того, шість напрямків прийому розташовані попарно симетрично в площині  $OXZ$ , а інші шість напрямків прийому розсіяного випромінювання розташовані попарно симетрично в площині  $OYZ$ . Ці дванадцять паралельних пучків проходять через  $12$  отворів апертурної діафрагми  $9$  (рис. 4.3) об'єктива  $10$ , причому кожен розсіяний пучок, що приймається об'єктивом, складається із випромінювання на довжинах хвиль  $\lambda_1$ ,  $\lambda_2$  і  $\lambda_3$ .

Розглянемо роботу каналів вимірювання параметрів вібрації за напрямками OX і OZ:

два розсіяних пучки  $14_{21}$  і  $14_{22}$  (рис. 4.2) збираються об'єктивом 10 та далі проходять через відповідні отвори діафрагми 9 (розташовані симетрично щодо оптичної осі OZ (рис. 4.3) на відстані  $a_3$  в площині OXZ).

Розсіяний пучок  $14_{21}$  відбивається від селективного дзеркала 33 на довжині хвилі  $\lambda_1$  і потім спрямовується на перший вхід складеного змішувача 34.

Розсіяний пучок  $14_{22}$  спрямовується на другий вхід змішувача 34, на виході якого формується два паралельні пучки, які змішуються і далі проходять інтерференційний фільтр 35 на довжині хвилі  $\lambda_1$ .

Розсіяні пучки  $13_{21}$  і  $13_{22}$  проходять відповідно два отвори діафрагми 9, причому пучок  $13_{21}$  направляється на вхід світло-розділювача 36, який пропускає випромінювання на довжинах хвиль  $\lambda_1$  і  $\lambda_3$  та відбиває випромінювання на довжині хвилі  $\lambda_2$ , що спрямовується на перший вхід змішувача 37. Другий пучок  $13_{22}$  спрямовується на вхід світло-розділювача 42, який пропускає випромінювання на довжинах хвиль  $\lambda_2$  і  $\lambda_3$  та відбиває випромінювання на довжині хвилі  $\lambda_1$ .

У змішувачі 37 просторово сумісні пучки змішуються і далі прямують через інтерференційний фільтр 38 на довжині хвилі  $\lambda_2$  на вхід об'єктива 74. Розсіяні пучки  $12_{21}$  і  $12_{22}$  збираються об'єктивом 10 в межах двох отворів  $a_1$ – $a_1$  діафрагми 9. При цьому пучок  $12_{21}$  далі спрямовується на вхід світло-розділювача 39, який пропускає випромінювання на довжинах хвиль  $\lambda_1$  і  $\lambda_2$ , але відбиває випромінювання на довжині хвилі  $\lambda_3$ , та яке далі прямує на перший вхід змішувача 40.

Другий пучок  $12_{22}$  спрямовується на вхід світло-розділювача 44, який відбиває випромінювання на довжині хвилі  $\lambda_1$  і пропускає випромінювання на довжинах хвиль  $\lambda_2$  і  $\lambda_3$ , яке спрямовується на другий вхід змішувача 40, вихід якого через інтерференційний фільтр 41 на довжині хвилі  $\lambda_3$  оптично узгоджений з об'єктивом 74. Об'єktiv 74 фокусує вихідні пучки 68 відповідно



на довжинах  $\lambda_1$ ,  $\lambda_2$  і  $\lambda_3$ , після їх проходження інтерференційних фільтрів 35, 38 і 41, на фотокатоді фотоприймача 71. На шляху пучків 14<sub>21</sub>, 13<sub>21</sub> і 12<sub>21</sub> встановлені пристрої зсуву частот відповідно 64, 63 і 62, які підключені до генератора 65 високої частоти  $\Omega_{M1} - 65$ .

Тому в результаті оптичного змішування на фотокатоді фотоприймача 71 пар пучків відповідно на довжинах хвиль  $\lambda_1$ ,  $\lambda_2$  і  $\lambda_3$ , на його виході формується корисний сигнал на частоті:

$$\omega_{gX} = \Omega_{M1} \pm K_{Xi} V_X, \quad (1)$$

де  $K_{Xi}$  – коефіцієнт пропорційності, величина якого не залежить від довжини хвилі;  $K_{x\lambda1} = K_{x\lambda2} = K_{x\lambda3}$  [3];  $V_X$  – “х” – компонент швидкості повітряного потоку, що характеризує суперпозицію шести корисних складових сигналів, синфазність яких досягається за допомогою регульованих фазорегуляторів 69 і 70 відповідно на шляху розповсюдження розсіяних пучків 14<sub>22</sub> і 12<sub>21</sub>.

Пара пучків 60 і 61 на довжині хвилі  $\lambda_1$ , після відбиття від селективних дзеркал 46 і 45, відбувається процес змішення у змішувачі 48, вихід якого через інтерференційний фільтр 49 на довжині хвилі  $\lambda_1$  і об'єктів 50 оптично узгоджені з фотокатодом фотоприймача 51.

Інша пара пучків 58 і 59 на довжині хвилі  $\lambda_1$ , після відбиття від селективних дзеркал 47 і 43 проходить етап змішення в змішувачі 53, вихід якого через інтерференційний фільтр 54 на довжині хвилі  $\lambda_1$  і об'єктів 55 оптично узгоджені з фотокатодом фотоприймача 56. При цьому пучок 59 за допомогою пристрою зрушення частоти 67, підключеного до генератора 65 через подвоювач частоти 66 зміщується на фіксовану частоту  $2\Omega_{M1}$ .

Геометрія хвильових векторів розсіяних пучків на довжинах хвиль  $\lambda_1$ ,  $\lambda_2$  і  $\lambda_3$ , які направляються на фотоприймач 71 що показується на рис. 4.4, а геометрія хвильових векторів розсіяних пучків  $\vec{K}_{58}$ ,  $\vec{K}_{59}$ ,  $\vec{K}_{60}$ ,  $\vec{K}_{61}$  на довжині хвилі  $\lambda_1$  представлена на рис. 4.5.

Корисні сигнали на виходах фотоприймачів 51 і 56 обробляються у вимірювачах доплерівських частот 52 і 57 і далі прямують до обчислювача 73, де після відповідних обчислень [4] формується сигнал на сумарній частоті:

$$\omega_{gZ} = 2\Omega_{M1} \pm K_{z\lambda 1} V_Z, \quad (2)$$

де  $K_{z\lambda 1} = \frac{8\pi}{\lambda_1} \sin^2 \frac{\gamma_1}{4}$  – коефіцієнт пропорційності;  $V_Z$  – “z” - компонента швидкості молекул повітряного потоку.

Канал вимірювання параметрів швидкості 11 (рис. 4.1) на вісі OY працює наступним чином:

два розсіяних пучка  $12_{11}$  і  $12_{12}$  збираються об'єктивом 10 потім проходять через відповідні отвори діафрагми 9, розташовані симетрично щодо вісі OZ на відстані  $a_3$  в площині OYZ (рис. 4.3). Розсіяний пучок  $12_{11}$  відбивається від селективного дзеркала 21 на довжині хвилі  $\lambda_1$  і потім спрямовується на перший вхід змішувача 22. Розсіяний пучок  $12_{12}$  направляється на другий вхід змішувача 22, на виході якого формуються пучки, направлені далі через інтерференційний фільтр 23 на довжині хвилі  $\lambda_1$  на вхід об'єктива 24.

Аналогічно два розсіяних пучка  $13_{11}$  і  $13_{12}$  збираються об'єктивом 10 і за допомогою селективного дзеркала 18 на довжині хвилі  $\lambda_2$ , змішувача 19 і інтерференційного фільтра 20 на довжині хвилі  $\lambda_2$  змішуються і спрямовуються на вхід об'єктива 24. Крім того, два розсіяних пучка  $14_{11}$  і  $14_{12}$  також збираються об'єктивом 10 і за допомогою селективного дзеркала 15 на довжині хвилі  $\lambda_3$ , змішувача 16 та інтерференційного фільтра 17 на довжині хвилі  $\lambda_3$  змішуються і направляються на вхід об'єктива 24. Об'єktiv 24 фокусує вище зазначені промені на довжинах хвиль  $\lambda_1$ ,  $\lambda_2$  і  $\lambda_3$  на фотокатоді фотоприймача 25. Причому, на шляху пучків  $12_{11}$ ,  $13_{11}$ , встановлені пристрої зсуву частоти 27, 28 і 29, які підключені до генератора високої частоти  $\Omega_{M2}$  – 30. Тому в результаті оптичного змішування на фотокатоді фотоприймача 25 пар пучків

відповідно на довжинах хвиль  $\lambda_1, \lambda_2$  і  $\lambda_3$ , на його виході формується корисний сигнал на частоті:

$$\omega_{gY} = \Omega_{M2} \pm K_{Yi} V_Y, \quad (3)$$

де  $K_{Yi}$  залежить від довжини хвилі електромагнітного випромінювання;  $K_{Y\lambda 1} = K_{Y\lambda 2} = K_{Y\lambda 3}$  [3];  $V_Y$  – “у” - компонент швидкості молекул повітряного потоку, який характеризує суперпозицію шести корисних складових сигналів, що формуються відповідно на довжинах хвиль  $\lambda_1, \lambda_2$  і  $\lambda_3$ , синфазність яких досягається за допомогою регульованих фазорегуляторів 31 і 32.

Параметри корисного сигналу на частоті (3) проходять етап вимірювання у вимірювачі 26, вихід якого, як і вимірювачів 52, 57 і 72 (рис. 4.2) з'єднані зі входом обчислювача 73. Обчислювач, після обробки корисних сигналів видає інформацію про їх частоту і параметри в трьох ортогональних площинах, включаючи інформацію про три параметри вимірювання а саме швидкості  $V$ , кута атаки  $\alpha$  та кута ковзання  $\beta$ .

#### 4.6. Висновки до розділу

Запропонована модифікація лазерного пристрою для вимірювання кутів атаки та ковзання на літаку, на відміну від прототипу, дозволяє з високою точністю вимірювати повітряно-швидкісні параметри, трьох його ортогональних складових, із використанням як режиму багатохвильового когерентного зондування і узгодженого прийому розсіяного випромінювання на довжинах хвиль  $\lambda_1$ ,  $\lambda_2$  і  $\lambda_3$ , а також режим синфазного формування корисних доплерівських складових сигналу. Крім того, багатохвильовий пристрій вимірювання кутів атаки та ковзання на літаку, відрізняється від прототипу можливістю реалізації пристрою з меншою вагою і розмірами, тому що до його складу замість потужних повнорозмірних лазерів можливо застосувати мініатюрні напівпровідникові лазери на довжинах хвиль  $\lambda_1$ ,  $\lambda_2$  і  $\lambda_3$  а також відрізняється тим, що оскільки лазери являються напівпровідниковими, вони випромінюють промені із високим ступенем часової і просторової когерентності випромінювання.

Також необхідно відзначити те, що модифікований багатохвильовий лазерний вимірювач кутів атаки та ковзання складається із шести напівпровідникових лазерів, три з яких формують випромінювання у вертикальній площині поляризації на довжинах хвиль  $\lambda_1$ ,  $\lambda_2$  і  $\lambda_3$ , а інші три лазера формують випромінювання із горизонтальною поляризацією відповідно на довжинах хвиль  $\lambda_1$ ,  $\lambda_2$  і  $\lambda_3$ , чотирьох об'єктивів, семи пристроїв зсуву частот, чотирьох фазорегуляторів, чотирьох селективних розщеплювачів та змішувачів випромінювання, чотирьох фотоприймачів поєднаних із відповідними доплерівськими вимірювачами, а також цифрового обчислювача, який надає із високою точністю інформацію про три параметри вимірювання а саме швидкості  $V$ , кута атаки  $\alpha$  та кута ковзання  $\beta$ .

## 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			
Виконав	Овенко А.В.			<b>ОХОРОНА ПРАЦІ</b>	Літ.	Арк.	Акрушів
Керівник	Землянський В.М					88	
Консульт.					<b>6.051103 «Авіоніка»</b>		
Н-контр.	Левківський В.В						

## 5.2. Елементи охорони праці

В склад системи охорони праці входять такі елементи:

- Техніка безпеки - створення безпечних умов праці та запобігання нещасним випадкам на виробництві.
- Виробнича санітарія - усунення шкідливих для здоров'я людини виробничих факторів: пил, шум, вібрація, токсичні хімікати тощо;
- Гігієна праці - це профілактична медицина, що вивчає умови і характер праці, їх вплив на здоров'я людини;
- Електробезпека - захист працівників від шкідливого і небезпечного впливу електроструму, електродуги, електромагнітного поля і статичної електрики;
- Пожежна безпека - захист особистості, майна товариства і держави від пожеж;
- Промислова безпека - захист від аварій на небезпечних виробничих об'єктах і усунення наслідків аварій;
- Безпека життєдіяльності - захист населення і господарства країни від наслідків аварій, катастроф, стихійних лих, виникнення надзвичайних ситуацій з вини людського фактора;
- Управління безпекою праці - організація роботи по забезпеченню безпеки, зниження травматизму і аварійності, професійних захворювань, поліпшення умов праці.

Існують правила і інструкції по охоране праці.

Правила з охорони праці - це нормативний акт, що встановлює вимоги з охорони праці, обов'язкові для виконання при проектуванні, організації та здійсненні виробничих процесів, окремих видів робіт, експлуатації виробничого обладнання, установок, агрегатів, машин, апаратів тощо.

Інструкції з охорони праці можуть розроблятися як для працівників за посадами (директор, головний бухгалтер, економіст,

менеджер по персоналу і інші), окремими професіями (електрозварники, верстатники, слюсарі, електромонтери, і інші), так і на окремі види робіт (робота на висоті, монтажні роботи, налагоджувальні роботи, ремонтні роботи, і інші).

Комплект документів з охорони праці складають:

- Інструкції;
- Накази;
- Посадові обов'язки керівників з охорони праці;
- Охорона праці в колективному договорі;
- Функції інженера з охорони праці;
- План протипожежних заходів;
- Журнали з охорони праці;
- Нормативно-правові документи.

Приклади деяких вимог безпеки праці на виробництві:

Перед початком роботи: Привести в порядок свій робочий одяг, одягти робоче взуття, уважно оглянути робоче місце, переконатися в справності робочого інструмента і пристосувань, перевірити освітлення робочого місця, переконатися, що на робочому місці підлога в повній справності, без вибоїн, без слизьких поверхонь і що поблизу немає оголених електропроводів і всі небезпечні місця огорожені.

Особлива увага приділяється захисним пристосуванням: Наприклад: передбачені суцільні огорожі і огорожі з сітки, стружку від металорізальних верстатів і з робочих місць необхідно видаляти у міру її утворення в спеціальні контейнери. Робітники і службовці цеху для захисту від впливу шкідливих і небезпечних виробничих факторів забезпечуються спецодягом, спецвзуттям і запобіжними пристосуваннями.

### **5.3. Небезпечні фактори на виробництві**

Небезпечними факторами називають такі чинники життєвого середовища, які призводять до травм, опіків, обморожень, інших пошкоджень організму або окремих його органів і навіть до раптової смерті.

Хоча поділ вражаючих факторів на небезпечні та шкідливі досить умовний, бо інколи неможливо віднести який-небудь фактор до тієї чи іншої групи, він ефективно використовується в охороні праці для організації розслідування та обліку нещасних випадків та професійних захворювань, налагоджування роботи, спрямованої на розробку заходів і засобів захисту працівників, профілактику травматизму та захворюваності на виробництві.

### **5.3. Класифікація небезпечних та шкідливих виробничих факторів**

Існують декілька основних небезпечних виробничих факторів а саме, які класифікуються наступним чином:

#### *1. За характером походження*

Небезпечні і шкідливі виробничі фактори за характером свого походження поділяють на:

- чинники, що породжуються фізичними властивостями і характеристиками стану матеріальних об'єктів виробничого середовища;
- чинники, що породжуються хімічними та фізико-хімічними властивостями використовуваних або які знаходяться в робочій зоні речовин і матеріалів;
- чинники, що породжуються біологічними властивостями мікроорганізмів, що знаходяться на біооб'єктах і (або) забруднюючих матеріальних об'єктах виробничого середовища;



- чинники, що породжуються поведінковими реакціями і захисними механізмами живих істот (укуси, пожалення, викид отруйних чи інших захисних речовин, тощо);
- чинники, що породжуються соціально-економічними і організаційно-управлінськими умовами здійснення трудової діяльності (погана організація робіт, низька культура безпеки, тощо);
- чинники, що породжуються психічними і фізіологічними властивостями і особливостями людського організму і особистості працюючого (погане самопочуття працівника, перебування працівника в стані алкогольного, наркотичного або токсичного сп'яніння або абсистенції, втрата концентрації уваги працівниками та інші біологічні або психологічні стани).

#### *2. За характером зміни в часі*

Небезпечні і шкідливі виробничі фактори за характером їх зміни в часі поділяють на:

- постійні, в тому числі квазіпостійні;
- змінні, в тому числі періодичні;
- імпульсні, в тому числі регулярні і випадкові.

#### *3. За характером дії в часі*

Небезпечні і шкідливі виробничі фактори за характером їх дії в часі поділяють на:

- постійно діючі;
- періодично діючі, в тому числі інтермітуючий;
- аперіодично діючі, в тому числі стохастичні.

#### *4. За характером дії в просторі*

Небезпечні і шкідливі виробничі фактори за характером їх дії в просторі поділяють на:

- постійно локалізовані в джерелі свого виникнення;

- локалізовані при нормальних ситуаціях, але розлітаються (рухомі, що поширюються) в просторі виробничого середовища при аварійних ситуаціях;
- поширюються (рухомі) разом з рухом повітря у виробничому середовищі;
- поширюються (рухомі) через виробничу середу або інший простір у вигляді матеріальних об'єктів, включаючи газові струмені;
- поширюються (пронизують) виробниче середовище випромінювання.

#### *5. За характером просторового розподілу*

Небезпечні і шкідливі виробничі фактори за характером їх просторового розподілу поділяють на:

- просторово розподілені (в полі дії яких знаходиться людина, його робоче місце);
- розчинені в повітрі (або здатні перейти в газоподібний або аерозольний стан) і є його компонентом;
- розріднені або розчинені в рідині;
- утворюють локально обмежені тверді макрооб'ємні об'єкти;
- містяться в локальних макрооб'ємних об'єктах.\

#### *6. За впливом*

Небезпечні і шкідливі виробничі фактори по безпосередності свого впливу поділяють на:

- які безпосередньо впливають на організм зайнятого працею людини;
- опосередковано впливають на організм зайнятого працею людини і безпосередньо впливають на організм зайнятого працею людини фактори.

#### *7. За характером взаємної дії при багатфакторному впливі на організм людини*

Небезпечні і шкідливі виробничі фактори за характером взаємного дії при багатфакторному впливі на організм людини

підрозділяють на: незалежно діючі; сумарно діючі; синергетически діючі; антагоністично діючі.

#### *8. За характером виявлення організмом людини*

Небезпечні і шкідливі виробничі фактори за характером виявлення їх організмом поділяють на: органолептичні (світло / темрява, шум, вібрація, запах, смак, тепло / холод, тяжкість, шорсткість та ін.) та не органолептичні (газоподібні речовини без смаку, кольору, запаху, електричний потенціал та інші).

### **5.4. Визначення максимально допустимого рівня лазерного опромінення при взаємодії зі шкірою та очима людини**

Гранично допустимий рівень лазерного випромінювання визначаються по різному для різних умов опромінення.

Спочатку розглянемо наступні два випадки:

- одноразова дія, яка відповідає випадковому впливу випромінювання та з тривалістю не перевищує  $3 \cdot 10^4$ с.

Тоді гранично допустимий рівень при одноразовому впливі, це ті рівні випромінювання, при впливі яких існує незначна ймовірність виникнення оборотних відхилень в організмі працюючого.

- хронічний вплив, що відповідає систематичному повторенню впливу, якому піддаються люди, професійно пов'язані з лазерним випромінюванням.

Гранично допустимий рівень при хронічному впливі - це такі рівні випромінювання, вплив яких при роботі встановленої тривалості протягом усього трудового стажу не призводить до травми (ушкодження), захворювання або відхилення в стані здоров'я працюючого в процесі роботи або у віддалені терміни життя теперішнього і наступного поколінь.

При визначенні гранично допустимого рівня лазерного випромінювання розглядають випадки впливу окремого імпульсу і серії імпульсів. Причому в разі серії імпульсів грають роль тривалість окремого імпульсу  $\tau$  і в серії і частота  $\nu$  проходження імпульсів.

Також при нормуванні гранично допустимого рівня лазерного випромінювання можуть грати роль параметри пучка випромінювання:

- колімоване лазерне випромінювання укладено в обмеженому тілесному куті, в цьому випадку спостерігається прямий пучок або дзеркально відбитий пучок (тобто відбитий під кутом, рівним куту падіння);

- неколімоване лазерне випромінювання виникає в разі розсіювання або дифузійного відображення. Розсіяне лазерне випромінювання відхиляється на поверхні або всередині середовища таким чином, що змінює просторовий розподіл і розсіюється відразу в різних напрямках (без зміни довжини хвилі випромінювання). Та якщо, випромінювання відбивається від поверхні, сумірною з довжиною хвилі, і направлено по всіляких напрямках в межах півсфери, то має місце дифузно-відбите лазерне випромінювання. Джерелом випромінювання може бути протяжний об'єкт, це означає, що кутовий розмір джерела лазерного випромінювання більше граничного кута. Така ситуація може виникнути в разі дифузного віддзеркалення лазерного випромінювання. Тоді гранично допустимий рівень лазерного випромінювання залежить від видимого кутового розміру  $\alpha$  цього джерела. Відомий кутовий розмір  $\alpha$  джерела випромінювання, рад це величина, яка в загальному випадку визначається з виразу:

$$\alpha = \frac{2}{l} \sqrt{\frac{S_0 \cos \theta}{\pi}}, \quad (5.1)$$

де  $S_0$  - площа джерела,  $\text{м}^2$ ;  $l$  - відстань від точки спостереження до джерела, м;  $\theta$  - кут між нормаллю до поверхні джерела і напрямом візування, рад. Граничний кут відповідає такому кутовому розміром джерела, при якому останній може розглядатися як точковий.

Нормованими параметрами лазерного випромінювання є енергетична експозиція  $H$  і енергетична освітленість  $E$ , усереднені по яка обмежує апертурі. Також нормованими параметрами є також енергія  $W$  і потужність  $P$  випромінювання, що пройшов через обмежують апертури. Апертура - це отвір в захисному корпусі лазера або діафрагма, через яку проходить лазерне випромінювання.

При впливі лазерного випромінювання на шкіру в будь-якому діапазоні або на очі в певних діапазонах визначаються гранично допустимі рівні енергетичної експозиції  $H_{zdp}$  (Дж / м<sup>2</sup>) і енергетичної освітленості  $E_{zdp}$  (Вт / м<sup>2</sup>), усереднення проводиться по обмежує апертурі діаметром  $1,1 \cdot 10^{-3}$  м (площа апертури  $S_a = 10^{-6}$  м<sup>2</sup>). При впливі на очі лазерного випромінювання в діапазоні II першочергово нормуються енергія  $W_{zdp}$  (Дж) і потужність  $P_{zdp}$  (Вт) лазерного випромінювання, усереднення проводиться по апертурі діаметром  $7 \cdot 10^{-3}$  м.

Дані енергетичні параметри пов'язані співвідношеннями:

$$H_{нды} = E_{нды} \cdot t; H_{нды} = \frac{W_{нды}}{S_a}; E_{нды} = \frac{P_{нды}}{S_a}.$$

Параметри  $H_{zdp}$ ,  $E_{zdp}$  і  $W_{zdp}$ ,  $P_{zdp}$  можуть використовуватися незалежно, відповідно до розв'язуваної завданням. У разі одночасного впливу лазерного випромінювання декількох різних джерел гранично допустимого рівня для кожного діапазону і умов опромінення встановлюються незалежно.

#### **5.4.1. Приклад визначення гранично допустимого рівня лазерного опромінення**

На приклад ми маємо лазерне випромінювання з спектральним інтервалом  $180 < \lambda \leq 380$  нм

Гранично допустимий рівень при одноразовому опроміненні очей і шкіри:

Співвідношення для визначення  $H_{zdp}$ ,  $E_{zdp}$  і  $W_{zdp}$ ,  $P_{zdp}$  при одноразовому впливі на очі і шкіру одиночних імпульсів колімованим або розсіяного лазерного випромінювання в діапазоні  $180 < \lambda \leq 380$  нм наведено в табл. 5.1.

Таблиця 5.1.

Спектральний інтервал $\lambda$ , нм	Тривалість впливу $t$ , с	$H_{\text{здр}}$ , Дж/м <sup>2</sup> ; $E_{\text{здр}}$ , Вт/м <sup>2</sup>
$180 < \lambda \leq 380$	$t \leq 10^{-9}$	$H_{\text{нды}} = 25 \cdot 10^7 \sqrt[3]{t^2}$
$180 < \lambda \leq 302,5$	$10^{-9} < t \leq 3 \cdot 10^4$	$H_{\text{нды}} = 25; E_{\text{нды}} = 25/t$
$302,5 < \lambda \leq 315$	$10^{-9} < t \leq 10^{-15} \cdot 10^{0,8(\lambda-295)}$	$H_{\text{нды}} = 4,4 \cdot 10^3 \sqrt[4]{t}$
	$10^{-15} \cdot 10^{0,8(\lambda-295)} < t \leq 3 \cdot 10^4$	$H_{\text{нды}} = 0,8 \cdot 10^{0,2(\lambda-295)};$ $E_{\text{нды}} = 0,8 \cdot 10^{0,2(\lambda-295)}/t$
$315 < \lambda \leq 380$	$10^{-9} < t \leq 10$	$H_{\text{нды}} = 4,4 \cdot 10^3 \sqrt[4]{t}$
	$10 < t \leq 3 \cdot 10^4$	$H_{\text{нды}} = 8 \cdot 10^3; E_{\text{нды}} = 8 \cdot 10^3/t$

$$W_{\text{здр}} = H_{\text{здр}} \cdot 10^{-6}; P_{\text{здр}} = E_{\text{здр}} \cdot 10^{-6}, \lambda \text{ (нм)}$$

Для визначення гранично допустимих рівнів лазерного випромінювання в діапазоні  $180 < \lambda \leq 380$  нм при впливі на очі і шкіру серій імпульсів необхідно керуватися наступними вимогами:

а). Енергетична експозиція  $H_i$  чи енергетична освітленість  $E_i$  поверхонь рогівки і шкіри при впливі будь-якого окремого імпульсу з даної послідовності не повинні перевищувати гранично допустимих значень для одиничних імпульсів і  $E_{\text{здр}}(\tau_i)$ , визначається по таблиці. 5.1.

Якщо часовий інтервал між опроміненнями становить менше 600 секунд, значення  $H_{\text{здр}}$  ( $E_{\text{здр}}$ ) і  $W_{\text{здр}}$  ( $P_{\text{здр}}$ ) визначається згідно формулі:

$$H_1 = H_{\text{нды}}(t); H_2 = H_{\text{нды}}(\tau_u) \sqrt{N/\xi}.$$

б). Так як вплив на біологічні тканини випромінювання в діапазоні  $180 < \lambda \leq 380$  нм має властивість адитивності (підсумовування), за умови виконання

попереднього вимоги одноразова добова доза  $H^{\Sigma}$  ( $3 \cdot 10^4$ ) не повинна перевищувати значень, які визначаються в таблиці. 5.2:

$$H^{\Sigma}(3 \cdot 10^4) = \sum_{i=1}^M H_i(\tau_u) \leq H_{\text{ндy}}^{\Sigma} (3 \cdot 10^4),$$

Таблиця 5.2.

Спектральний інтервал $\lambda$ , нм	$H_{\text{ндy}}^{\Sigma} (3 \cdot 10^4)$ , Дж/м <sup>2</sup>
$180 < \lambda \leq 302,5$	25
$302,5 < \lambda \leq 315$	$0,8 \cdot 10^{0,2(\lambda-295)}$
305	80
307,5	250
310	$8 \cdot 10^2$
312,5	$2,5 \cdot 10^3$
315	$8 \cdot 10^3$
$315 < \lambda \leq 380$	$8 \cdot 10^3$

Коли на шкірі або рогівці ока пучок випромінювання малого діаметра концентрується в області, найменший розмір якої дорівнює або менше діаметра обмежуючої апертури  $1,1 \cdot 10^{-3}$  м, тоді максимальне значення енергетичної освітленості  $E$  і енергетичної експозиції  $H$  не повинно перевищувати значень  $E_{\text{здр}}$  і  $H_{\text{здр}}$  для вже описаних випадків.

#### *Гранично допустимий рівень при хронічному опроміненні очей і шкіри*

Для визначення гранично допустимих значень  $H_{\text{здр}}$ ,  $E_{\text{здр}}$  і  $W_{\text{здр}}$ ,  $P_{\text{здр}}$ , а також граничні добові доз  $\Sigma_{\text{здр}} H$  ( $3 \cdot 10^4$ ) при хронічному опроміненні очей і шкіри коліміованим або розсіяним лазерним випромінюванням в діапазоні довжин хвиль ( $180 < \lambda \leq 380$  нм) необхідно зменшити в 10 разів відповідні граничні значення для одноразового опромінення.

#### **5.4.2. Засоби захисту від лазерного випромінювання**

Засоби захисту повинні знижувати рівні лазерного випромінювання, що діє на людину, до величин нижче гранично допустимого рівня. Засоби захисту від лазерного випромінювання поділяються на колективні та

індивідуальні. Вибір засоби захисту в кожному конкретному випадку здійснюється з урахуванням вимог безпеки для даного процесу. Засоби індивідуального захисту від лазерного випромінювання включають в себе засоби захисту очей і обличчя (захисні окуляри, щитки, насадки), засоби захисту рук, спеціальний одяг. При виборі засобів індивідуального захисту необхідно враховувати: - робочу довжину хвилі випромінювання; - оптичну щільність світлофільтру. Оптична щільність світлофільтрів, що застосовуються в захисних окулярах, щитках і насадках, повинна відповідати таким вимогам:

$$D_{\lambda} \geq \lg \frac{H_{\max}}{H_{\text{пду}}}$$

Або

$$D_{\lambda} \geq \lg \frac{E_{\max}}{E_{\text{пду}}}$$

де  $H_{\max}$ ,  $E_{\max}$ ,  $W_{\max}$ ,  $P_{\max}$  - максимальні значення енергетичних параметрів лазерного випромінювання в робочій зоні,  $H_{\text{пду}}$ ,  $E_{\text{пду}}$ ,  $W_{\text{пду}}$ ,  $P_{\text{пду}}$  - гранично допустимі рівні енергетичних параметрів при хронічному опроміненні.

### **5.5. Інструкція з охорони праці для проектного об'єкту під час його монтажу та обслуговування**

Мета заходів обережності і контролю полягає в тому, щоб знизити можливість впливу з боку небезпечних рівнів лазерного випромінювання та інших пов'язаних з ними небезпек. Захисні заходи можуть бути згруповані в наступні три категорії: (а) технічні засоби захисту, (б) спеціальний одяг і індивідуальні засоби захисту, (в) організаційні засоби захисту. Технічні засоби захисту вважаються більш надійними, і тому вони більш кращі. Якщо застосування технічних засобів захисту не ефективно, слід використовувати



індивідуальні засоби захисту (зазвичай для захисту очей). Організаційні заходи є додатковими заходами, які не можуть використовуватися в якості заміни технічних засобів захисту.

### **5.5.1. Загальні положення про безпеку при роботі з лазерними пристроями**

1. В залежності від класу небезпеки лазерів, на персонал можуть діяти такі несприятливі фактори: лазерне випромінювання, яке в свою чергу буває пряме, дзеркальне а також світлове випромінювання, інфрачервоне випромінювання, гази та аерозолі, електромагнітні поля ВЧ, СВЧ, при робочій напрузі понад 10 кВ.

2. До роботи на лазерних установках допускаються особи не молодше 18-ти років, з закінченою вищою і середньою освітою, які мають посвідчення про проходження курсу спеціального навчання, які вивчили технічну документацію, інструкцію з правилами експлуатації, охорони праці та техніки безпеки при роботі з зазначеним устаткуванням, інструкцію з надання першої допомоги при нещасні випадки, які пройшли інструктаж безпосередньо на робочому місці.

3. У приміщеннях, де проводяться роботи на лазерних установках повинні дотримуватися діючі правила пожежної безпеки. Захаращення проходів, захаращення приміщень не допускається.

4. В установці повинні бути передбачені сигналізація і блокування, що забезпечують безпеку обслуговуючому персоналу. До обслуговування лазерних установок допускаються особи, які мають третю кваліфікаційну групу.

5. Про кожний нещасний випадок, пов'язаний з виробництвом або роботою, потерпілий або очевидець нещасного випадку негайно повинен сповістити відповідного керівника. Керівник повинен організувати першу допомогу потерпілому, його доставку до лікувальної установи, повідомити керівнику установи, інженеру з охорони праці або особі, яка виконує його функції, і в профспілковий комітет про те, що трапилося, зберегти для

розслідування обстановку на робочому місці і стан обладнання таким, яким воно було в момент події, якщо це не загрожує життю і здоров'ю оточуючих працівників і не приведе до аварії.

### **5.5.2. Заходи безпеки**

1. В установці застосований лазер, за ступенем небезпеки генерується випромінювання, який відноситься до певного класу напівпровідникових лазерів.

2. Джерелом небезпеки є:

- Змінна напруга 115 Вольт в ланцюгах живлення блоку управління джерела живлення лазера;

- Лазерне випромінювання (пряме, дзеркально відбите).

3. На дверях лабораторії або в складському приміщенні повинен бути напис «Не входити» і знак лазерної небезпеки з написом «Обережно, випромінювання лазера» відповідно до ДСТУ. Кольори і сигнальні знаки небезпеки .

4. У місцях, де розташована установка, забороняється використовувати прилади і предмети з дзеркальними поверхнями. Робочий інструментарій повинен мати матову поверхню.

5. Персонал, що працює з лазерними установками, зобов'язаний користуватися необхідними засобами індивідуального захисту і у відповідність до вимог, обумовленими класом лазерної небезпеки. Очі співробітників повинні бути захищені масками або окулярами.

6. У місцях з лазерними установками, де можливе утворення озону, оксидів азоту або інших шкідливих газів, парів і аерозолів, повинна бути передбачена примусова приточно-витяжна вентиляція, що забезпечує зниження змісту їх в повітрі до концентрації допустимої санітарними нормами.

7. Освітленість (природна і штучна) повинна відповідати оптимальним величинам, визначеним відповідними інструкціями для певних приміщень відповідних закладів, відповідно до вимог діючих санітарних правил.

8. Персонал, зайнятий ремонтом і складанням установки, повинен мати кваліфікаційну групу з техніки безпеки не нижче IV.

9. Про всі порушення в роботі лазера, невідповідність засобів індивідуального захисту пред'явленим до них вимогам і інших відступах від нормального режиму роботи персонал зобов'язаний негайно доповісти адміністрації і записати в журнал оперативних записів по експлуатації та ремонту лазерного устаткування.

### **5.5.3. Обмежувальні заходи персоналу при експлуатації лазерного устаткування**

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

4. Встановлювати запобіжники, що не відповідають номінальному значенню.

### **5.6. Розрахунок природного освітлення робочого місця персоналу**

Розрахуємо природне освітлення лабораторії перевірки обладнання. Джерелом природного освітлення на робочому місці є 2 вікна розміром 1,2x1.5 метри. Його площа 20 кв. метрів. Напрямок розміщення вікон північно-західний.

1. Розраховуємо нормоване значення коефіцієнту природного освітлення (КПО) для заданих умов.

Формула розрахунку наступна:  $(КПО)_N = (КПО)_{норм.} * m_N$  (1.1)

Але для того, щоб скористатись даною формулою, для отримання потрібної величини, нам потрібно зробити ряд попередніх розрахунків.

1.1. Визначимо спершу, яку роботу можна виконати в виробничому приміщенні з боковим одностороннім освітленням при заданих параметрах. А саме: L- 5 м; В- 4 м; Кількість вікон - 2 одиниці; Розмір вікон – 1,2x1,5 м<sup>2</sup>.

1). Визначаємо сумарну площу вікон:  $S_{вік.} = 2 * 1,2 * 1,5 = 3,6 \text{ м}^2$ ;

2). Визначаємо площу підлоги:  $S_{підл.} = 5 * 4 = 20 \text{ м}^2$ ;

3). Вираховуємо відносну площу світлових прорізів  $\alpha: \alpha = S_{вік.} / S_{підл.} * 100 = 3,6 / 20 * 100 = 18\%$ .

По загальній таблиці «Рекомендовані значення відносної площі світлових прорізів для виробничих приміщень» визначаємо, що в цьому приміщенні можна запланувати виконання зорової роботи високої точності, що відповідає III розряду зорової роботи. По таблиці встановлюємо, що найменший розмір об'єкта розрізнення для цього розряду становить менше 0,3мм.

Нормоване значення коефіцієнта природного освітлення для III розряду зорової роботи  $(\text{КПО})_{\text{норм.}} = 2,0\%$ .

Для IV поясу світлового клімату (м. Київ) та для орієнтації вікон на північний захід коефіцієнт світлового клімату становить  $m_N = 0,9$ .

І нарешті вираховуємо нормоване значення коефіцієнту природного освітлення  $(\text{КПО})_N$  по формулі 1.1, приведеній на початку розрахунків:

$$(\text{КПО})_N = (\text{КПО})_{\text{норм.}} * m_N = 2,0 * 0,9 = 1.8\%$$

2. Виконаємо перевірочний розрахунок бокового природного освітлення методом світлового коефіцієнта.

Розрахунок проводиться по такій формулі:

$$100 * S_{\text{вік.}} / S_{\text{підл.}} = ((\text{КПО})_N * K_3 * \eta_B * K_{\text{БУД}}) / \tau_{\text{заг}} * r_l \quad (2.1)$$

де  $S_{\text{вік.}}$  – площа вікон;

$S_{\text{підл.}}$  – площа підлоги;

$(\text{КПО})_N$  - нормоване значення КПО;

$K_3$  – коефіцієнт запасу;

$\eta_B$  – світлова характеристика вікон;

$K_{\text{БУД}}$  – коефіцієнт, що враховує затінення вікон будівлями, розташованими навпроти;

$\tau_{\text{заг}}$  – загальний коефіцієнт світлопропускання світлових прорізів;

$r_l$  – коефіцієнт, що враховує підвищення КПО завдяки світлу, яке відбивається від поверхонь приміщення.

Для того щоб виконати розрахунок, нам, для початку, знадобиться знайти деякі величини. А саме,  $K_3, \eta_B, K_{\text{БУД}}, \tau_{\text{заг}}$  та  $r_l$ . Значення  $(\text{КПО})_N$  вже вираховано і відоме.

2.1. Приступимо до знаходження  $K_3$ . Для приміщення з нормальними умовами середовища  $K_3 = 1,2$ .

2.2. Тепер знаходимо наступну величину, світлову характеристику вікон  $\eta_B$ . Для того, щоб знайти це значення по таблиці 6, нам знадобляться геометричні параметри приміщення:

$L$ —довжина приміщення (5 м);

$B$ —глибина приміщення (4 м);

$h$ —висота від рівня робочої поверхні до верхнього краю вікна ( $1+1,2 - 0,8 = 1,4$  м, де 1 м – висота підвіконня, 0,8 м – висота умовної робочої поверхні, 1,2 м – висота вікон);

Використовуючи ці значення знаходимо наступні відношення:

$$L/B = 5/4 = 1,25;$$

$$B/h = 4/1,2 = 3,3.$$

Отже,  $\eta_B = 15$ .

2.3. Визначаємо коефіцієнт  $K_{БУД}$ , що враховує затінення вікон будівлями.  $K_{БУД} = 1,0$ .

2.4. Розрахуємо далі загальний коефіцієнт світлопропускання світлових прорізів  $\tau_{заг}$ .

Він визначається по формулі

$$\tau_{заг} = \tau_1 * \tau_2 * \tau_3 \quad (2.2),$$

де  $\tau_1$  – коефіцієнт світло пропускання матеріалу вікон;

$\tau_2$  – коефіцієнт, що враховує втрати світла у віконній рамі;

$\tau_3$  - коефіцієнт, що враховує втрати світла у сонцезахисних пристроях.

Вікна мають регульовані внутрішні жалюзі, виготовлені з подвійних металевих рам, в яких вставлене віконне листове подвійне скло.

Маємо такі значення:  $\tau_1 = 0,8$ ,  $\tau_2 = 0,7$ ,  $\tau_3 = 1$ . Розраховуємо

$$\tau_{заг} = 0,8 * 0,6 * 1 = 0,56.$$

2.5. Приступимо до розрахунку коефіцієнта  $r_l$ , що враховує підвищення КПО завдяки світлу, яке відбивається від поверхонь приміщення. Він залежить від:

- геометричних параметрів приміщення;
- середнього коефіцієнта відбиття внутрішніх поверхонь приміщення.

Спершу додатково знайдемо відношення  $b/V$ , де  $b$  – відстань від розрахункової точки  $M$  робочої поверхні до зовнішньої стіни приміщення:

$$b/V = 2/4 = 0,5.$$

Середнє значення коефіцієнту відбиття вираховується по наступній формулі:

$$\rho_{сер.} = (\rho_{стелі}S_{стелі} + \rho_{стіни}S_{стіни} + \rho_{підлоги}S_{підлоги}) / (S_{стелі} + S_{стіни} + S_{підлоги}) \quad (2.3)$$

де  $S_{стелі}$ ,  $S_{стіни}$ ,  $S_{підлоги}$  – відповідні прощі поверхонь;

$\rho_{стелі}$ ,  $\rho_{стіни}$ ,  $\rho_{підлоги}$  – відповідні коефіцієнти відбиття, що враховуються для конкретних умов. Отже, маємо такі значення:  $\rho_{підлоги}=0,25$ ,  $\rho_{стелі}=0,7$ ,  $\rho_{стіни}=0,3$ .

Далі нам потрібно розрахувати площі поверхонь:

$$S_{стелі} = S_{підлоги} = 20 \text{ м}^2;$$

$$S_{стіни} = S_{бокові} + S_{протилежна} = 2 * h_{приміщення} * B + h_{приміщення} * L = 2 * 3 * 4 + 3 * 5 = 39 \text{ м}^2.$$

Тепер ми можемо вирахувати  $\rho_{сер.}$ :

$$\rho_{сер.} = (0,7 * 20 + 0,3 * 39 + 0,25 * 20) / (20 + 39 + 20) = 30,7 / 79 = 0,4.$$

Получивши всі вище вираховані значення отримуємо, що  $r_l = 1,15$ .

2.6. Розрахувати необхідну площу вікон для забезпечення бокового природного освітлення приміщення.

Визначимо спочатку необхідні для розрахунку значення.

1. Нормоване значення (КПО)<sub>N</sub>=1.8%.
2. Для нормальних умов середовища приймаємо, що коефіцієнт запасу  $K_3=1,2$ .
3. Світлова характеристика вікон  $\eta_B = 15$  та значення коефіцієнта  $r_1=1.15$

4. Коефіцієнт  $K_{\text{Буд}}=1,0$  %.

Необхідна розрахункова площа вікон визначається за такою формулою:

$$S_{\text{сп}} = \frac{(K_{\text{ПО}})N * K_{\text{з}} * n_{\text{б}} * K_{\text{б}} * S_{\text{нмід}}}{T_{\text{з}} * r_1 * 100} =$$
$$= 1,8 * 1,2 * 15 * 1,0 * 20 / 0,56 * 1,15 * 100 = 10,1 \text{ м}^2$$

Оскільки розрахункова площа вікон перевищує фактичну площу для даного приміщення ( $3,6 \text{ м}^2$ ) більше ніж на 10% , то можна зробити висновок, що для запропонованих умов потрібне значення  $K_{\text{ПО}}=2,0$  % не може бути забезпечене, природне освітлення для заданого розряду зорової роботи є недостатнім.

3. З урахуванням реальних умов та характеристик приміщення обрахувати фактичний коефіцієнт природного освітлення та встановити, якої точності зорову роботу допустимо виконувати в цьому приміщенні.

Визначимо фактичний коефіцієнт природного освітлення  $(K_{\text{ПО}})_{\text{ф}}$ .

$$(K_{\text{ПО}})_{\text{ф}} = \frac{S_{\text{вк}} * T_{\text{за}} * r_1 * 100}{K_{\text{з}} * n_{\text{б}} * K_{\text{бу}} * S_{\text{нмід}}} =$$
$$= 3,6 * 0,56 * 1,15 * 100 / 1,2 * 15 * 1,0 * 20 = 0,6\%$$

В цьому приміщенні можна виконувати зорові роботи VI розряду, тобто роботи грубої точності.

### 5.7. Пожежна безпека та аварійні ситуації

Причинами виникнення пожежі електроустаткування й електроосвітлення можуть бути: перевантаження проводів електромережі, що викликає нагрівання струмоведучих частин, загоряння їхньої ізоляції й у результаті запалення різних горючих матеріалів, що стикаються з ними; неякісне виконання з'єднань в електричній проводці; перевантаження різних електричних пристроїв (електродвигуни, генератори, розподільні пристрої і т.п.), що приводить до їх нагрівання і, отже, можливого загоряння;



несправне охолодження електропристрою, неправильне його вмикання; коротке замикання, іскріння на колекторі або кільцях електродвигуна і генераторів, а також у пристроях вмикання і вимикання; надмірний знос підшипників електромашин, у результаті чого може відбутися або перегрів підшипників, або заклинювання їх, а потім загоряння. Найбільшу небезпеку вибуху і пожежі являє собою електроустаткування вибухо – пожежонебезпечних приміщень і пристроїв.

Згідно ДСТУ 8828:2019 «Пожежна безпека» встановлюються такі засоби забезпечення пожежної безпеки:

- система запобігання пожежі;
- система протипожежного захисту;
- організаційно-технічні заходи.

Крім того, цей стандарт регламентує імовірність виникнення пожежі в електротехнічного виробу, що не повинне перевищувати  $10^{-6}$  у рік.

Слід зазначити, що при нормальних умовах експлуатації розроблювальний прилад не створює джерел загоряння.

Протипожежний захист забезпечується нанесенням на поверхню конструкції розроблювального приладу захисних фарб.

Організаційні технічні заходи містять у собі розробку інструкції про порядок роботи з розроблювальним приладом, дотримання протипожежного режиму і про дії оператора при виникненні пожежі.

Конструкція розроблювальної системи виключає можливість вибуху самої системи.

#### *Заходи при виникненні пожежі*

Існує 4 способи припинення горіння: охолодження зони горіння або самих палаючих речовин; ізоляція реагуючих речовин від зони реакції; розведення реагуючих речовин у зоні реакції негорючими речовинами; хімічне гальмування реакції горіння.

При *першому способі* припинити горіння можна впливом на поверхню палаючих матеріалів вогнегасячими речовинами, а також охолодженням палаючих матеріалів методом їхнього перемішування. *Другий спосіб* полягає в створенні ізолюючого шару між зоною горіння і палаючих матеріалів або в прорізах приміщень, де відбувається пожежа. Для розведення повітря в нього вводяться негорючі пари і газу. (*третьої спосіб*). З цією метою використовуються вуглекислий газ, водяна пара, азот, інші компоненти.

*Четвертий спосіб* реалізується подачею інгібіторів (речовин, що сповільнюють протікання хімічних реакцій або припиняють їх) на поверхню палаючих матеріалів або введенням їх у повітря, що надходить у зону реакції.

У цивільній авіації застосовують наступні вогнегасячі речовини: вода, повітряно-механічна і хімічна піни, інертні газу, галоїдовуглеводні сполуки, вогнегасячі порошки, комбіновані сполуки (сполучення порошкових і пінних сполук, водно-галоїдовуглеводні емульсії і т.п.).

#### *Безпека в аварійних ситуаціях*

Основними причинами виникнення пожежі при проведенні ТЕ обладнання є:

- короткі замикання елементів ланцюгів;
- встановлення запобіжників, що не відповідають номіналові;
- неправильний вибір проводів у схемі підключення;

При виникненні пожежі насамперед необхідно знеструмити устаткування припинити роботу, з'явитися в розпорядження старшого зміни і докласти про подію.

Для попередження виникнення пожежі пропонуємо взяти заходів по кожному з перерахованих вище пунктів, а саме:

- періодично перевіряти надійність роз'ємів, особливо в місцях з'єднання проводів зі штепсельними розніманнями. Місця підключення до зовнішніх пристроїв надійні по міцності і пайці;

- не встановлювати «жучки» і запобіжники, що не відповідають номіналові;
- зробити перевірку правильності вибору сполучних проводів.

### **5.8. Висновки до розділу**

Під час роботи з матеріалом з охорони праці, в цьому розділі була зазначена техніка безпеки при експлуатації прототипу пристроїв з лазерним випроміненням, техніка безпеки під час його експлуатації і визначено гранично допустимий рівень опромінення очей та шкіри людини а також проведений розрахунок природного освітлення робочого персоналу, і необхідно відмітити те, що при роботі та налаштуванні високоточного пристрою, необхідно при монтажі використовувати додаткове освітлення у вигляді штучного, наприклад ламп освітлення.

## 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.

## 6.2. Аналіз факторів техногенних чинників які впливають на клімат

Дані світових гідрометеорологічних і екологічних служб на 2020 рік свідчать про тенденцію збільшення економічних та екологічних невідповідностей в соціальній та економічній сфері внаслідок глобального забруднення довкілля та зміни клімату в цілому. Це явище, насамперед, викликано постійним зростанням викидів в атмосферу двоокису вуглецю CO<sub>2</sub> та інших газів, які збільшують шанси створення, так званого парникового ефекту, що супроводжується зростанням кількості природних і техногенних катастроф а також збільшеним масштабам серйозним економічних збитків.

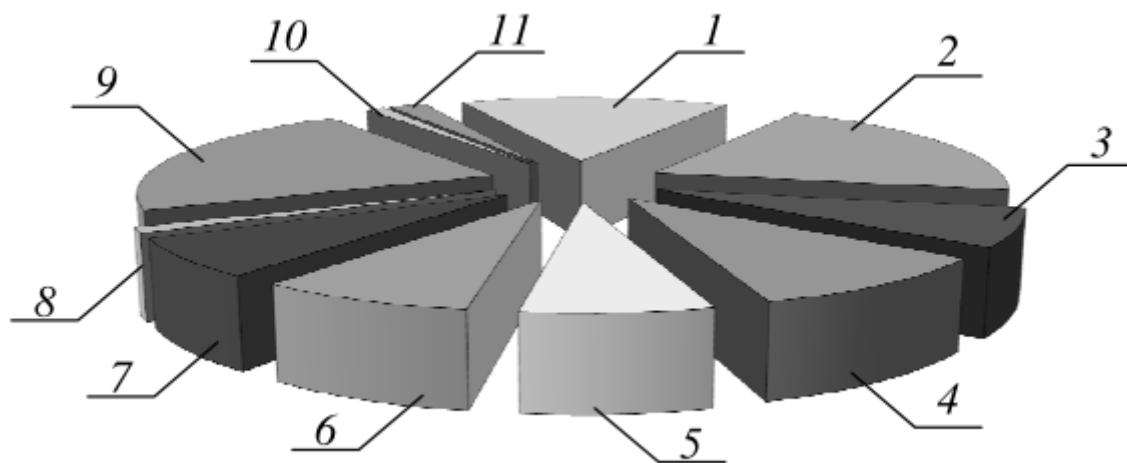


Рис. 6.1. Основні джерела створення парникових газів

1 – худоба; 2 – рисові поля; 3 – терміти; 4 – горіння біомаси;  
5 – вугільні шахти; 6 – природний газ; 7 – звалища; 8 – озера;  
9 – болота; 10 – метан-гідрати; 11 – океани.

На рис. 6.1 наведені дані щодо вкладу окремих складових викидів до сумарної кількості парникових газів, які надходять в атмосферу і призводять

до підвищення її температури. Наслідки глобальної зміни клімату стають все більш відчутними і в нашій країні. За минулі 20 років середньорічна температура зросла на  $0,8^{\circ}\text{C}$ , а середня температура січня і лютого -  $1-2^{\circ}\text{C}$ , що привело до змін в ритмі сезонних явищ - весняних паводків, початку цвітіння і випадання снігу. Зміна широтного кліматичного поля на території України призводить до вирівнювання поля середньої місячної приземної температури. Для місяців, для яких характерна порівняно висока температура, вона практично не змінилася, а де порівняно низька - підвищилася. Основною характеристикою континентальності клімату, амплітуда сезонного ходу приземної температури. Аналіз інструментальних метеорологічних спостережень показав, що амплітуда сезонного ходу температури приземного повітря зменшилася приблизно на  $0,4^{\circ}\text{C}$  а середня місячна норма амплітуди температури, приведеної до рівня моря, складає близько  $12^{\circ}\text{C}$ , що характеризує собою деконтиненталізацію клімату. Це зумовлює особливості циркуляції атмосфери, в результаті чого спостерігається різке та в цілому загальне зниження середньорічної інтенсивності опадів. Одним з основних факторів, що обумовлюють такі зміни клімату, є істотне збільшення обсягів викидів парникових газів техногенного походження. Найбільший внесок у сукупні викиди парникових газів в Україні вносить сектор енергетики. За минулі два роки частка цього сектора склала майже 69% від сумарних обсягів викидів парникових газів. Наступним за значимістю - 22% від сукупних викидів парникових газів, є сектор промислових технологій. Внесок сектора відходів в 2015-2016 рр. у середньому становить 2,3%.

Виходячи з прогнозних даних паливного балансу країни, що містяться в енергетичних стратегіях і загально визначають динаміку викидів парникових газів, Україна до 2030 року не перевищить обсяги викидів 1990 року в жодних сценаріях економічного розвитку. Щорічні викиди за базовим сценарієм в перший період відповідальності (2017-2018 рр.) були в межах 48-54% від обсягу викидів базового року. Результати досліджень свідчать про

те, що глобальне потепління в межах від 1 до 2 ° С може бути навіть сприятливо для економіки України, так як воно вирівнює в значній мірі поле річної кількості атмосферних опадів. Так, в Південно-Східних регіонах річна кількість опадів підвищиться на 10-15%, а в Північно-західних - знизиться на 5-10%. Тому можна взяти до уваги те, що антропогенні складові зміни клімату значень ступеня визначається енергоємними технологіями, що обумовлюють парниковий ефект і погіршення якості навколишнього середовища в цілому що показано на рис. 6.2. Тому проблема створення екологічно чистих енергозберігаючих технологій стає на перший план при плануванні сталого розвитку економіки та поліпшення стану довкілля України.

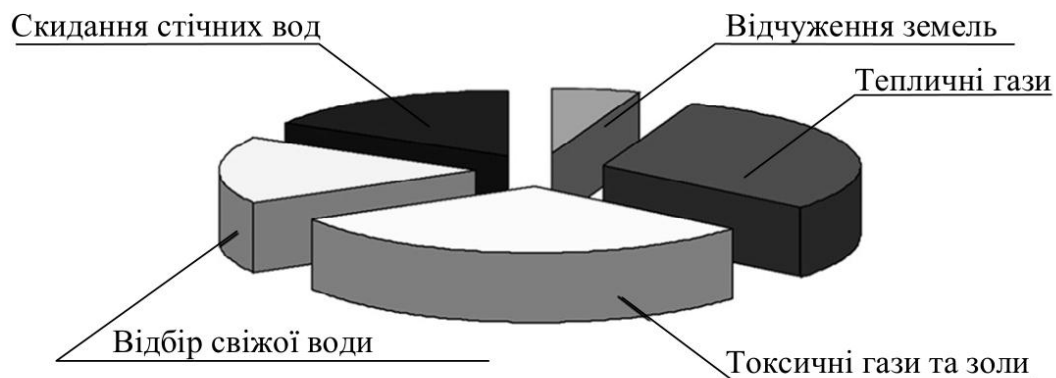


Рис. 6.2. Фактори шкідливого впливу техногенних чинників на біосферу

Першим кроком на шляху вирішення проблеми підвищення екологічної сумісності потужних твердопаливних, енергогенеруючих підприємств з навколишнього середовища є формування ресурсно-продуктової технологічної схеми комплексного виробництва й розробка на цій основі моделі прогнозування енергоресурсів та енергоспоживання що показано на рис 6.3.

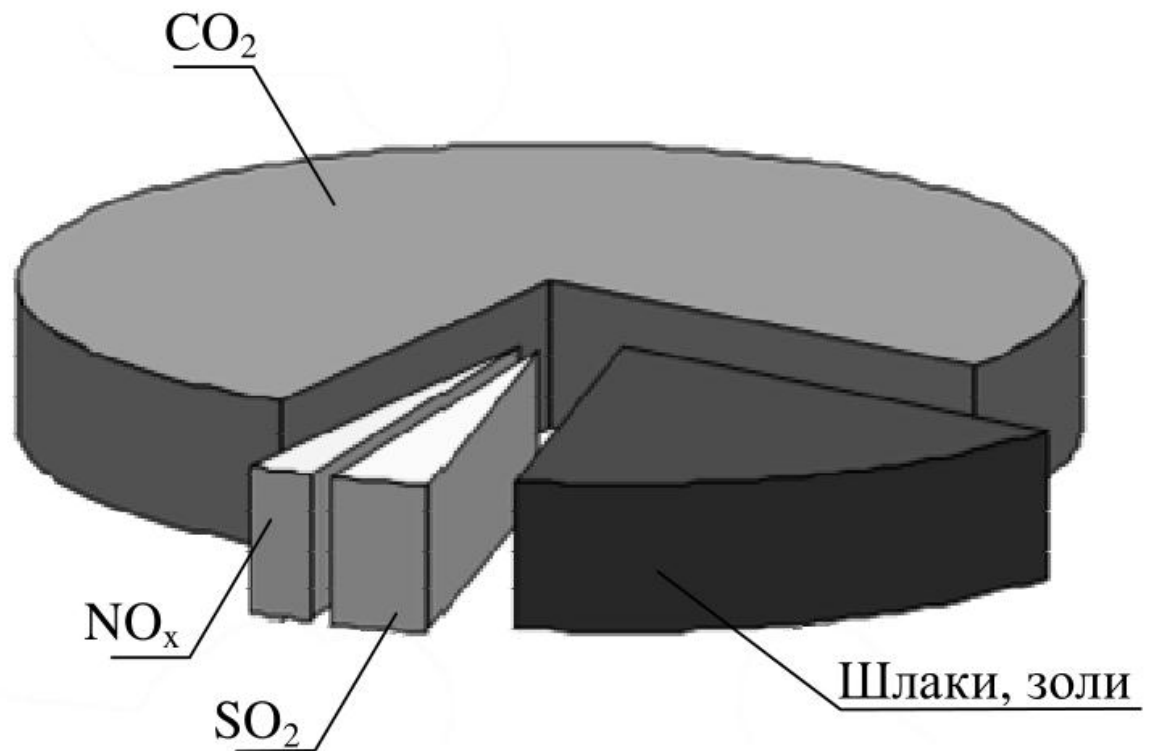


Рис. 6.3. Структура викидів матеріальних потоків енергогенеруючих підприємств

Це дозволяє оцінити вплив кожного напрямку інтеграційної технічної політики на ефективність виробництва, розрахувати можливі резерви економії ресурсів й зниження викидів шкідливих речовин порівняно з існуючим рівнем протягом «життєвого циклу» вхідного сировинного ресурсу.

Щоб визначити сумарні потоки речовин, що забруднюють довкілля, слід визначити кількість речовин, які задіяні на основних етапах виготовлення та реалізації продукції.

### 6.2.1. Визначення сумарного потоку забруднюючих речовин

Якщо  $M_i^{(1)}$  - кількість матеріалу  $i$  у вхідній сировині, тоді  $M_i^{(1)}$ ,  $M_i^{(2)}$ ,  $M_i^{(3)}$  визначають аналогічні величини в промисловому й споживчому секторах. Під «матеріалом» слід розуміти будь-яку речовину або набір речовин, обраних



для вирішення конкретного завдання з випуску продукції. У рамках системи «промисловість – споживчий сектор – навколишнє середовище» ці умови можна записати у вигляді рівняння матеріального балансу для величин  $M^{(1)}$ ,  $M^{(2)}$ ,  $M^{(3)}$

$$\begin{aligned} \frac{dM_i^{(1)}}{dt} &= \sum_{k=1}^m (-a_{ik} + b_{ik})x_k + \sum_{k=1}^l c_{ik}M_k^{(3)}; \\ \frac{dM_i^{(2)}}{dt} &= \sum_{k=1}^m (a_{ik} - b_{ik})x_k - \sum_{k=1}^n d_{ik}y_k + \sum_{k=1}^l e_{ik}M_k^{(3)}; \\ \frac{dM_i^{(3)}}{dt} &= \sum_{k=1}^n d_{ik}y_k - \sum_{k=1}^l (e_{ik} + c_{ik})M_k^{(3)}, (i = 1, \dots, l). \end{aligned} \quad (1)$$

У системі рівнянь (1) використано такі позначення:  $a_{ij}$  маса матеріалу  $i$ , необхідного для виробництва одиниці енергії  $j$ ;  $b_{ij}$  – маса матеріалу  $i$ , що міститься в промислових відходах при виготовленні одиниці енергії  $j$ ,  $c_{ij}$  маса матеріалу  $i$ , що міститься у відходах, які потрапляють до навколишнього середовища в одиницю часу з відходів, що утворюються в сфері споживання з одиниці маси палива типу  $j$ ;  $d_{ij}$  – маса палива  $i$ , необхідного для виробництва одиниці продукції типу  $j$ , що надходить до сектора споживання;  $e_{ij}$  – маса компонента  $i$ , що надходить за цикл в одиницю часу із сектора виробництва до сектора споживання у вторинній сировині, яка утворюється з одиниці маси матеріалу типу  $j$ .

Система рівнянь (1) дозволяє визначити параметри, які потрібно витримати, щоб зменшити масу або вид використовуваного ресурсу  $i$ , і як наслідок, зменшити техногенне навантаження на навколишнє середовище. За рахунок вдосконалювання технологічних процесів можуть бути зменшені обсяги промислових відходів, коефіцієнти  $b_{ij}$ . Це приведе до зменшення коефіцієнтів  $c_{ij}$ , що буде означати меншу кількість відходів, що надходять в одиницю часу в навколишнє середовище. Одним із шляхів зниження техногенних навантажень є збільшення частки матеріалів, що повертаються за цикл у вигляді вторинного сировинного ресурсу у виробничий сектор. Це

еквівалентно збільшенню значень коефіцієнтів  $e_{ij}$ . Аналогічне вдосконалювання всієї виробленої продукції  $x$  через відповідне зменшення коефіцієнтів  $a_{ij}$  приведе до зменшення витрати енергетичних і сировинних ресурсів  $i$ , як наслідок, зниження забруднення навколишнього середовища. Таким чином, з'являється можливість не тільки визначити зону технічно припустимих значень питомих витрат ресурсів, але й більш ретельно проаналізувати процес з погляду пошуку шляхів його енергетичного й екологічного вдосконалення.

У випадку, коли кінцевий продукт виробляється на основі декількох технологічних процесів, використовуються середньозважені показники:

$$I_{ijl1} = \sum_{p=1}^n i_{ijl1}^p M_{ijl} \beta_{ijl}^p ; \quad (2)$$

$$I_{ijlk} = \sum_{p=1}^n i_{ijlk}^p M_{ijl} \beta_{ijl}^p ;$$

де  $I_{ijlm}$  - витрати ресурсу  $k$  на виробництво одиниці продукції в  $l$  технології;

$\beta_{ijl}^p$  - частка  $p$  технології у виробництві продукції  $M_{ijl}$ ;  $n$  - кількість розглянутих технологій у процесі;  $i_{ijlk}$ ,  $l_{ijlk}$  - відповідно питома й повна витрата  $k$  ресурсу при виробництві продукту в  $l$  процесі на основі  $j$  технології;  $M_{ijl}$  - маса продукту який вироблено в  $l$  процесі, при одержанні одиниці кінцевого продукту;  $m$  - кількість розглянутих видів ресурсів;  $l_{ijl}$  - питома витрата ресурсу на виробництво продукту в  $l$  процесі на основі  $j$  технології.

Для інтегрованої технологічної схеми питоми витрати всіх видів ресурсів за всіма процесами підсумовуються. В цьому разі інтегральні витрати ресурсів на виробництво одиниці продукції по  $j$  технологічній схемі відповідають рівнянню:

$$I_{ij} = \sum_{k=1}^m \alpha_k \sum_{l=1}^N I_{ijlk} , \quad (3)$$

де  $l$  – індекс ланки технологічного ланцюга;  $N$  – кількість ланок. Якщо ввести цільову функцію величини питомого ресурсоспоживання на виробництво  $i$  продукту, а критерієм оптимальності його мінімум, то модель стає оптимізаційною. В цьому разі як показник ресурсу споживання слід обирати цільову функцію згідно з рівнянням:

$$I_i = \sum_{k=1}^m \alpha_k \sum_{j=1}^d \beta_{ij} \sum_{l=1}^N I_{ijkl} \rightarrow \min . \quad (4)$$

де  $I_{ijkl}$  – структура виробництва кінцевого продукту, що базується на реалізації ресурсних та енергозберігаючих заходів, пов'язаних з удосконалюванням технологічних процесів та устаткування, що забезпечують мінімум витрати ресурсів і як наслідок, зменшення питомих викидів, в процесі функціонування підприємств.

Результати техніко - економічних досліджень свідчать, що реалізація моделі індустріального симбіозу з інтеграції матеріальних та енергетичних потоків в межах територіально – промислового комплексу з енергогенеруючим підприємством забезпечує зменшення питомих витрат енергетичних та сировинних ресурсів у 2,2–3,5 рази. За окремими технологічними напрямами цей показник може сягати 3–4 кратного зменшення. Подібних результатів можна досягти і на об'єктах гірничо-металургійного та хіміко-технологічного профілю шляхом інтеграції енергетичних і матеріальних потоків та створення комплексного виробництва з максимальним коефіцієнтом використання вхідних ресурсів.

### **6.3. Аналіз впливу матеріалів, що застосовуються при виготовленні лазерного вимірювача**

Представлений у даній роботі прототип лазерного вимірювача кута атаки та ковзання, пропонується використовувати сучасний твердотільний лазер, у якому в якості робочої рідини використовуються напівпровідниковий кристал.

Напівпровідникові лазерні матеріали використовуються головним чином бінарні сполуки типу  $A^3B^5$ ,  $A^2B^6$ ,  $A^4B^6$  та їх суміші - тверді розчини. Всі вони - прямозонні напівпровідники, в яких міжзонна випромінювальна рекомбінація може відбуватися без участі фононів або інших електронів і тому має найбільшу ймовірність серед рекомбінаційних процесів.

Таблиця 6.1. Сучасні напівпровідникові елементи лазерних пристроїв (Е – накачка електронним пучком; О – оптична накачка; І – інжекційні лазери; П – накачка пробоем в електричному полі)

<b>Напівпровідник</b>	<b>Довжина хвилі випромінювання, мкм</b>	<b>Максимальна робоча температура, К</b>	<b>Спосіб накачки</b>
ZnS	0,32	77	Е
ZnO	0,37	77	Е
$Zn_{1-x}Cd_xS$	0,32—0,49	77	Е
ZnSe	0,46	77	Е
CdS	0,49—0,53	300	Е, О, П
ZnTe	0,53	77	Е
$CdS_{1-x}Se_x$	0,49—0,68	77	Е, О
CdSe	0,68—0,69	77	Е, О
CdTe	0,79	77	Е
GaSe	0,59	77	Е, О
$GaAs_{1-x}P_x$	0,62—0,9	300	Е, О, І
$Al_xGa_{1-x}As$	0,62—0,9	300	О, І
$In_xGa_{1-x}P$	0,60—0,91	77	О, І
GaAs	0,83—0,90	450	Е, О, І, П

InP	0,90—0,91	77	O, I, П
In <sub>x</sub> Ga <sub>1-x</sub> As	0,85—3,1	300	O, I
InP <sub>1-x</sub> As <sub>x</sub>	0,90—3,1	77	O, I
InAs	3,1—3,2	77	E, O, I
InSb	5,1—5,3	100	E, O, I
PbS	3,9—4,3	100	E, I
PbS <sub>1-x</sub> S <sub>x</sub>	3,9—8,5	77	O, I
PbTe	6,4—6,5	100	E, O, I
PbSe	8,4—8,5	100	E, O, I
Pb <sub>x</sub> Sn <sub>1-x</sub> Te	6,4—31,8	100	E, O, I

Крім перерахованих в таблиці 6.1. речовин, є ще кілька перспективних, але мало вивчених матеріалів, придатних для використання, наприклад інші тверді розчини. У твердих розчинах величина DE залежить від хімічного складу, завдяки чому можна виготовити лазер на будь-яку довжину хвилі від 0,32 до 32 мкм.

### **6.3.1. Технологічний процес та засоби контролю відходів**

У технологічному процесі виготовлення друкованих плат і напівпровідникових приладів застосовують різні хімічні матеріали, спеціальні технології й устаткування. Так як виробничі процеси включають в себе фактори ризику, необхідно організувати правильне поводження з хімічними побічними продуктами, відходами і викидами в повітря з метою забезпечення безпеки персоналу галузі та захисту навколишнього середовища в місцях розташування цих підприємств. У таблиці 6.2 представлені основні побічні продукти і відходи, при виготовленні напівпровідникових приладів. Крім того, в таблицях представлені типи

впливу технологічних процесів на навколишнє середовище і засоби ослаблення і контролю потоку відходів. Відходи головним чином впливають на якість повітря або в кращому випадку перетворюються в тверді відходи які в свою чергу можна переробити, тим самим зменшити вплив на біосферу.

Таблиця 6.2. Генерація відходів при виготовленні напівпровідникових елементів.

<b>Технологічний процес</b>	<b>Небезпечні відходи/матеріали</b>	<b>Вплив на навколишнє середовище</b>	<b>Міри контролю</b>
Літографія / травлення	Розчинники	Тверді відходи	Вторинна переробка / відновлення / спалювання Хімічне осадження рН нейтралізація
	Метали	Відпрацьована вода	
	Каустик	Відпрацьована вода	
	Корозійні речовини	Повітря	Очищення повітря (абсорбція) Вторинна переробка Хімічне осадження
	Сірчана кислота	Тверді відходи	
	Фтористі з'єднання	Відпрацьована вода	
Окислення	Розчинники	Тверді відходи	Вторинна переробка / відновлення / спалювання Хімічне
	Корозійні речовини	Відпрацьована вода	

			осадження рН нейтралізація
Легування	Отруйний газ (арсин, фосфін, диборан, тріфтористий бор, трихлористий бор і т.д.) Метали (миш'як, фосфор, бор)	Повітря	Заміна рідкими джерелами / спалювання
		Тверді відходи	Вторинна переробка/ відновлення
Хімічне парофазне осадження	Метали Корозійне осадження	Тверді відходи  Відпрацьована вода	Спалювання рН нейтралізація
Металізація	Розчинник/Метали	Тверді відходи	Вторинна переробка/відновлення
Випробовування	Метали	Тверді відходи Відпрацьована вода	Вторинна переробка, відновлення
Очищення	Фтористі з'єднання	Відпрацьована вода	Хімічне осадження

### 6.3.2. Вплив виробництва на біосферу

Світовому виробництву напівпровідників потрібні значні обсяги сировинних матеріалів, які видобуваються на гірничорудних підприємствах. У гірничодобувній галузі є свої питання, що стосуються охорони навколишнього середовища, охорони здоров'я та техніки безпеки, які описані в державних посібниках з гірської видобутку і переробці корисних копалин. До складу викидів, пов'язаних з виробництвом напівпровідників, зазвичай входять такі речовини: кислотні пари, леткі органічні сполуки включаючи бромистий метил, дуже небезпечні гази включаючи фосфін, тверді частинки і аміачні пари.

Для викидів з точкового джерела, швидше за все, потрібен дозвіл на викиди в атмосферу. Дозволи можуть знадобитися і для процесів нанесення покриттів, де використовуються леткі органічні розчинники.

З огляду на те, що на більшості промислових підприємствах використовується сучасне обладнання і що співвідношення використання енергії для виробничих цілей і для загального призначення дуже висока, можливості підвищення енергоефективності відносно невеликі. З високою енергоємністю виробництва напівпровідників нерозривно пов'язані вуглецеві викиди, які утворюються в результаті вироблення електроенергії. Такі викиди можуть в майбутньому підпасти під регулювання, засноване на схемах торгівлі квотами на викиди, які аналогічні в прийнятій ЄС системі торгівлі квотами на викиди, що може мати істотні фінансові наслідки.

#### **6.4. Аналіз заходів для зниження рівня негативного впливу заводів на екологічний стан планети**

До найбільш типових забруднюючих речовин відносяться хлоровані розчинники і метали особливо хром, селен і миш'як. Токсичні розчинники також можуть потрапити в ґрунт в разі течі підземних резервуарів-сховищ або в вигляді парів до повітря. Кожна з цих груп може мати суттєвий вплив на навколишнє середовище а також здоров'я людей та тварин.

##### **6.4.1. Захист ґрунтових вод**

У районах, де ресурси ґрунтових вод відіграють критичну роль, необхідно розглянути можливість установки поблизу підприємства «колодязів» для здійснення моніторингу ґрунтових вод і реалізації програми по регулярному контролю якості ґрунтових вод. Програма повинна включати, як мінімум, аналітичне тестування основних летючих органічних сполук, що використовуються на підприємстві, продуктів розкладання цих органічних сполук і деяких металів для розроблення подальшого плану усунення проблеми.

##### **6.4.2. Захист від небезпечних викидів до атмосфери**

Викиди в атмосферу можна знизити, встановивши очисне обладнання на всіх точках викиду, наприклад, газові колони-реактори на виробничих зонах і мокрі пиловловлювачі на великих баках для зберігання кислоти.



### **6.4.3. Раціональне регулювання енергоспоживання**

Виробництво напівпровідників, за своєю природою є енергоємним і поки що не може бути замінено альтернативними технологіями. Тому в більшості випадків поліпшення в управлінні енергоспоживанням на підприємстві не приведуть до значного скорочення споживання енергії. Однак, з огляду на величезний обсяг споживаної енергії, можна домогтися виправданою економією фінансових коштів навіть у разі незначного, всього на кілька відсотків, зниження потреб в використанні енергії. Залежно від місцевих особливостей може існувати потенціал вироблення відновлюваної енергії, наприклад, сонячної або вітрової енергії на самому промисловому об'єкті або закупівлі відновлюваної енергії у генеруючих компаній. Це матиме позитивний вплив на рівень вуглецевого виливу, що залишає підприємство в наслідок своєї діяльності, і зменшить деякі витрати, пов'язані з майбутньою участю в схемах торгівлі квотами на викиди.

### **6.4.5. Утилізація та відновлення відходів**

Потоки відходів повинні сортуватися для мінімізації обсягу забруднених матеріалів, які потребують очищення, і для оптимізації процесу їх переробки а також повторного використання.

Тверді відходи утворюються в невеликому обсязі, але мають високу цінність. Витяг дорогоцінних металів із мікросхем або плат, як правило, доцільно з фінансової точки зору, тому воно є важливим чинником створення систем утилізації продукції після закінчення терміну її експлуатації. Незважаючи на те, що таке вилучення дорогоцінних металів, швидше за все, здійснюється спеціалізованим підприємством з переробки відходів, виробники напівпровідників можуть грати тут деяку роль, проектуючи продукти, що дозволяють здійснювати відновлення матеріалів з низьким рівнем витрат, і використовуючи тим самим утилізовані матеріали.

## **6.5. Висновки до розділу**

В розділі був проведений аналіз небезпечних чинників що впливають на екологічний стан планети під час діяльності промислових об'єктів,

проведений аналіз з контролю технічних відходів які утворюються фабриками під час виготовлення напівпровідників, в тому числі які використовуються в потужних лазерах, тому можна зробити висновок, що світовому виробництву необхідно приділяти більше уваги центрам утилізації та подальшої переробки використаних матеріалів, а також якомога скорішого переходу до використання відновлюваних джерел електричної енергії.

## **ВИСНОВКИ**

У цій роботі в першому та другому розділі було розглянуто існуючі методи та прилади вимірювання кута атаки та ковзання, були перелічені їх переваги та недоліки.

В третьому розділі було описано прототип лазерного вимірювача кута атаки та ковзання за патентом «UA 122005 C2» з рядом усунутих недоліків які має відомий прототип.

Описаний пристрій в третьому розділі має ряд переваг в порівнянні з існуючим прототипом, а саме:

- Дозволяє вимірювати величину трьох ортогональних проекцій вектора швидкості, більша з яких направлена вздовж повздовжньої вісі ОХ літального апарату;
- Визначати знак, тобто напрямок цих трьох проекцій;
- Висока точність вимірювання  $V$ ,  $\alpha$ ,  $\beta$  досягається за рахунок того, що один прийомний оптичний блок виготовляється з високою точністю, окрім того використовується один (замість чотирьох в прототипі) зондуєчий лазерний пучок, який фокусується в зоні вимірювання на повздовжній вісі літака, більше того, його кутове положення по відношенню до його повздовжньої вісі ЛА не впливає на точність виміру.

Завдяки цим перевагам підвищується точність виміру та значно розширюються функціональні можливості пристрою.

У четвертому розділі представлена модифікація прототипу за патентом «UA 122005 C2» у вигляді Багатохвильового вимірювача кута атаки та ковзання, що складається з шести напівпровідникових лазерів, три з яких формують випромінювання у вертикальній площині поляризації на довжинах хвиль  $\lambda_1$ ,  $\lambda_2$  і  $\lambda_3$ , а інші три лазера формують випромінювання із горизонтальною поляризацією відповідно на довжинах хвиль  $\lambda_1$ ,  $\lambda_2$  і  $\lambda_3$ ,

чотирьох об'єктів, семи пристроїв зсуву частот, чотирьох фазорегуляторів, чотирьох селективних розщеплювачів та змішувачів випромінювання, чотирьох фотоприймачів поєднаних із відповідними доплерівськими вимірювачами, а також цифрового обчислювача, який надає із високою точністю інформацію про три параметри вимірювання а саме швидкості  $V$ , кута атаки  $\alpha$  та кута ковзання  $\beta$ .

Також цей пристрій може мати меншу вагу, так як в ньому можуть бути використані напівпровідникові лазери, що можуть випромінювати промені із високим ступенем часової і просторової когерентності випромінювання.

В п'ятому розділі була зазначена техніка безпеки при експлуатації прототипу пристроїв з лазерним випромінюванням, техніка безпеки під час його експлуатації та показано визначення гранично допустимого рівня опромінення очей та шкіри людини а також проведений розрахунок природного освітлення робочого персоналу.

У шостому розділі був проведений аналіз небезпечних чинників що впливають на екологічний стан планети під час діяльності промислових об'єктів, проведений аналіз з контролю технічних відходів які утворюються фабриками під час виготовлення напівпровідників, в тому числі які використовуються в потужних лазерах.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Землянський В.М, Гусєв М.О, Овенко А.В., Патент на винахід «UA 122005 C2» (МПК G01P5/00) «Пристрій для вимірювання повітряно-швидкісних параметрів літальних апаратів» НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ, 2018
2. Диплом на відкриття. Закономірність проявлення незалежності і частоти доплерівського сигналу від довжини хвилі ЕМ випромінювання (Ефект Землянського), від 30 жовтня 2017 р., м. Дніпро.
3. Землянський В.М, Чужа О.О., Патент на винахід (МПК G01H9/00) «Лазерний багатохвильовий трикомпонентний вимірювач вібрації», НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ, 2019
4. Клюев Г.И. «Авиационные приборы и системы. Учебное пособие. Ульяновск. Ул.ГТУ, 2000, с113»
5. Патент Российской Федерации RU№2314541 «Способ и устройство определения воздушно-скоростных параметров полета ЛА» Июл.№1,2008.
6. Землянский В.М. «Измерение скорости потоков лазерным доплеровским методом» - К., Вища Школа, 1987. – 177с.
7. Давыдов П. С., Сосновский А. А., Хаймович И. А. Авиационная радиолокация: Справочник. — М.; Транспорт, 1984
8. Гришин Ю.П., Ипатов В.П., Казаринов Ю.М. Радиотехнические системы — 1990
9. Н.Н. Макаров «Системы обеспечения безопасности функционирования бортового эргатического комплекса» Машиностроение 2009 г
10. Алексей Левин., [Квантовый светоч: История одного из самых важных изобретений XX века – лазера](#) (1 Июня 2006)

11. Конспект лекцій з дисципліни: «Інформаційно-вимірвальні пристрої та системи авіоніки»
12. Конспект лекцій з дисципліни: «Оптичні пристрої та лазерна електроніка»
13. Раздорожний А. А. Охрана труда и производственная безопасность: Учебно-методическое пособие — Москва: Изд-во «Экзамен», 2005. — 512 с. (Серия «Документы и комментарии»)
14. ГОСТ «Лазерная безопасность. Общие требования безопасности при разработке и эксплуатации лазерных изделий». — М.: 1996.
15. СанПиН 5804-91 «Санитарные нормы, правила устройства и эксплуатации лазеров». — М.: 1992.
16. Вейко В.П., Сербин А.И. Методические указания: «Определение предельно допустимых уровней облучения и расчет границ лазерноопасных зон». — Л.: ЛИТМО, 1986.
17. Маньковский В.И. Основы оптики океана. Методическое пособие. — НАН Украины, Морской гидрофизический институт. - Севастополь, 1996.
18. Об'єкти охорони навколишнього природного середовища, [Словник – довідник з екології](#) : навчальний посібник. О. Г. Лановенко, О. О. Остапішина. — Херсон : ПП Вишемирський В.С., 2013. — С. 131.
19. IPCC. Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change / Core Writing Team, R. K. Pachauri and L. A. Meyer (eds.). — Geneva: Switzerland, 2014. — 151 p.
20. European Bank for Reconstruction and Development, «Руководство по экологическим и социальным вопросам по отраслям», - «Производство полупроводников».