

РЕФЕРАТ

Лазерний трикомпонентний доплерівський вимірювач швидкості, який складається з оптично узгодженого лазера, розщеплювача променя лазера на три , фокусуючого і збираючого об'єктивів, апертурних і фонових діафрагм, трьох оптичних затворів, до яких підключений контролер імпульсів, фотоприймачів та вимірювачів доплерівських частот, який відрізняється тим, що в ньому додатково встановлені апертурні та фонові діафрагми, об'єктив, три дзеркала, одне з яких напівпрозоре, два електричних ключі та фотоприймач.

ЗМІСТ

| | |
|--|----|
| Вступ..... | 6 |
| 1. Загальні відомості..... | 7 |
| 1.1. Загальні відомості про лазери та їх застосування..... | 7 |
| 2. Лазерні доплерівські вимірювачі швидкості..... | 11 |
| 2.1. Доплерівський метод..... | 11 |
| 2.2. Принцип дії доплерівського вимірювача швидкості..... | 12 |
| 2.3. Лазерний доплерівський вимірювач швидкості..... | 14 |
| 2.4. Лазерний доплерівський вимірювач швидкості диференційного типу.... | 23 |
| 2.5. Лазерний двокомпонентний доплерівський вимірювач швидкості..... | 26 |
| 3. Розробка лазерного трикомпонентного доплерівського вимірювача швидкості..... | 33 |
| 3.1. Загальні відомості..... | 33 |
| 3.2. Сутність винаходу..... | 34 |
| 3.3. Принцип побудови пристрою..... | 36 |
| 3.4. Принцип дії..... | 38 |
| 3.5. Формула корисної моделі..... | 42 |
| 4. Охорона праці..... | 44 |
| 4.1. Положення про охорону праці..... | 44 |
| 4.2 Охорона праці, техніка безпеки і небезпечні виробничі фактори при виробництві лазерних приладів..... | 46 |
| 4.3 Охорона здоров'я та забезпечення безпеки місцевого населення..... | 50 |
| 4.4 Охорона праці і техніка безпеки..... | 51 |
| 5. Охорона навколишнього середовища..... | 53 |
| 5.1. Загальні відомості про охорону навколишнього середовища..... | 53 |
| 5.2. Аналіз факторів техногенних чинників які впливають на клімат..... | 54 |
| 5.3 Характерні для галузі види несприятливого впливу і боротьба з ними..... | 56 |
| Висновок..... | 70 |
| Список джерел..... | 71 |

ВСТУП

Сучасний етап розвитку авіації характеризується кількісною і якісною зміною авіаційної техніки, збільшенням інтенсивності і швидкості польотів, що вимагає підвищення ефективності функціонування систем забезпечення польотів.

Розробка складних радіотехнічних систем вимагає зіставлення різних варіантів реалізації для вибору оптимального з них.

В авіаційній, суднобудівній та інших галузях для дослідження потоків газу та рідини застосовують лазерні вимірювальні пристрої. До них належать лазерні доплерівські вимірювачі швидкості (ЛДВШ) потоків рідини або газів, які дозволяють вимірювати швидкість в діапазоні $10^{-3} - 10^3$ м/с.

РОЗДІЛ 1

ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ

1.1 Загальні відомості про лазери та їх застосування

Лазер — джерело когерентного, монохроматичного і вузькоспрямованого електромагнітного випромінювання оптичного діапазону, котре характеризується великою густиною енергії. Є газові лазери, рідинні та на твердих тілах (діелектричних кристалах, склі, напівпровідниках). В лазері має місце перетворення різних видів енергії в енергію лазерного випромінювання. Головний компонентом лазера — активне середовище, для створення якого використовують: вплив світла, електричний розряд у газах, хімічні реакції, бомбардування електронним пучком та інші методи накачування. Активне середовище знаходиться між дзеркалами, які утворюють оптичний резонатор. Існують лазери неперервної та імпульсної дії.

Лазери складаються з трьох основних компонентів:

Активного (робочого) середовища;

Системи накачування (джерело енергії);

Оптичного резонатора (може бути відсутнім, якщо лазер працює в режимі підсилювача).

Кожен з них забезпечує для роботи лазера виконання певних функцій

Лазер — джерело світла. У порівнянні з іншими джерелами світла лазер має певну кількість унікальних властивостей, пов'язаних з когерентністю і високою спрямованістю його випромінювання. Випромінювання «нелазерних» джерел не має цих особливостей.

«Серце лазера» — його активний елемент. В одних лазерів це кристалічний або скляний стержень циліндричної форми. В інших — запаяна скляна трубка, всередині якої знаходиться спеціально підібрана газова суміш.

| | | | | | | | |
|------------------|------------------|--|--|---------------------|----------------|------|---------|
| Кафедра авіоніки | | | | НАУ 20 04 16 000 ПЗ | | | |
| Виконав. | Коваль Д.А. | | | Загальні відомості | Літ. | Арк. | Аркушів |
| Керівник | Землянський В.М. | | | | | 7 | 46 |
| Консульт. | Землянський В.М. | | | | 173 «Авіоніка» | | |
| Н. Контр. | Левківський В.В. | | | | | | |
| Зав. каф. | Павлова С. В. | | | | | | |

В третіх — всередині якої знаходиться спеціально підібрана газова суміш. В третіх — кювета зі спеціальною рідиною. Тому розрізняють лазери твердотільні, газові й рідинні.

При нагріванні тіло починає випромінювати тепло. Однак випромінювання теплового джерела поширюється в усіх напрямках, тобто заповнює тілесний кут 4π стерадіан. Формування спрямованого пучка від цього джерела, здійснюване за допомогою системи діафрагм або оптичних систем, що складаються з лінз і дзеркал, супроводжується втратою енергії. Ніяка оптична система не дозволяє отримати на поверхні освітлюваного об'єкта потужність випромінювання більшу, ніж у самому джерелі світла.

Робота лазера

Збуджений атом може мимовільно (спонтанно) перейти на один з нижчих рівнів енергії, випромінивши при цьому квант світла. Світлові хвилі, випромінені нагрітими тілами, формуються саме в результаті таких спонтанних переходів атомів і молекул. Спонтанне випромінювання різних атомів некогерентне. Однак, крім спонтанного випромінювання, існують випромінювальні акти іншого роду. Щоб створити лазер або оптичний квантовий генератор — джерело когерентного світла необхідно:

робоча речовина з інверсною заселеністю. Тільки тоді можна одержати підсилення світла за рахунок вимушених переходів.

робочу речовину слід помістити між дзеркалами, які здійснюють зворотний зв'язок. Підсилення дає робоча речовина, а отже, число збуджених атомів або молекул у робочій речовині повинне бути більшим від певного порогового значення, що залежить від коефіцієнта відбиття напівпрозорого дзеркала.



Рис.1.1.1

Види лазерів

Рубіновий лазер працює в імпульсному режимі. Існують також лазери неперервної дії. У газових лазерах цього типу робочою речовиною є газ. Атоми робочої речовини збуджуються електричним розрядом. Застосовуються й напівпровідникові лазери безперервної дії. Вони вперше створені в Україні. В них енергія для випромінювання запозичиться від електричного струму. Створені дуже потужні газодинамічні лазери неперервної дії на сотні кіловатів. У цих лазерах «перенаселеність» верхніх енергетичних рівнів створюється при розширенні й адіабатному охолодженні надзвукових газових потоків, нагрітих до декількох тисяч Кельвін.

Застосування лазерів

Великі можливості відкриваються перед лазерною технікою в біології й медицині. Лазерний промінь застосовується не тільки в хірургії (наприклад, при операціях на сітківці ока) як скальпель, але й у терапії. Інтенсивно розвиваються методи лазерної локації й зв'язку. Локація Місяця за допомогою рубінових лазерів і спеціальних кутових відбивачів, доставлених на Місяць, дозволила збільшити точність виміру відстаней Земля — Місяць до декількох см. Отримано обнадійливі результати в спрямованому стимулюванні хімічних реакцій. За допомогою лазерів можна вибірково збуджувати одне із власних коливань молекули. Виявилося, що при цьому молекули здатні вступати в реакції, які не можна або важко стимулювати звичайним нагріванням. За допомогою лазерної техніки інтенсивно розробляються

оптичні методи обробки, передачі й зберігання інформації, методи голографічного запису інформації, кольорове проєкційне телебачення.

Поява лазерів відразу вплинула і продовжує впливати на різні галузі науки і техніки із застосуванням лазерів для вирішення конкретних наукових і технічних завдань. Дослідження підтвердили можливість значного покращення багатьох оптичних приладів і систем і привели до створення принципово нових пристроїв (підсилювачі яскравості, квантові гігрометри, швидкодіючі оптичні схеми тощо). Сформувались нові наукові й технічні напрями – голографія, нелінійна та інтегральна оптика, лазерні технології, лазерна хімія, використання лазерів для керованого термоядерного синтезу та інших задач енергетики. Висока монохроматичність і когерентність лазерного випромінювання забезпечують успішне застосування лазерів у спектроскопії, ініціюванні хімічних реакцій, у поділі ізотопів, в системах вимірювання лінійних і кутових швидкостей, у всіх додатках, основаних на використанні інтерференції, в системах зв'язку та голографії.

РОЗДІЛ 2

ЛАЗЕРНІ ДОПЛЕРІВСЬКІ ВИМІРЮВАЧІ ШВИДКОСТІ

2.1 Доплерівський метод

Цей ефект полягає в тому, що при зближенні або віддаленні випромінювача (передавача) і приймача частота коливань, що приймається, відрізнятиметься від частоти випромінюваних коливань. При цьому байдуже, що саме рухається – випромінювач або приймач; важливо їх відносний рух, тобто зміна відстані між ними. (Це справедливо у разі нехтування релятивістськими, тобто пов'язаними з теорією відносності, ефектами, якими у всіх що цікавлять нас випадках можна нехтувати через малу частку швидкості руху в порівнянні з швидкістю світла). Якщо, скажімо, випромінювач віддаляється від нерухомого приймача, то останній прийматиме в одиницю часу менше хвиль в порівнянні з випадком незмінної відстані між випромінювачем і приймачем. Тобто довжини хвиль збільшуються, а частота відповідно зменшується. У разі наближення випромінювача до приймача картина міняється на зворотну – в одиницю часу сприймається більше хвиль, тобто хвилі стають коротшими і частота збільшується.

Таким чином, частота, що приймається, відрізняється від випромінюваної на величину звану доплерівським зсувом (або зсувом) частоти, або просто доплерівською частотою.

Окрім випадку з випромінюванням радіохвиль, доплерівський зсув має місце і в оптичному діапазоні, зокрема, при віддзеркаленні світла від дзеркала, що рухається, при роботі лазерних інтерферометрів переміщень. В цьому випадку світло від лазера з частотою ν перш ніж потрапити в приймач, проходить подвійну відстань – до дзеркала (відбивача), що рухається, і назад.

| | | | | | | | |
|------------------|------------------|--|--|---|----------------|------|---------|
| Кафедра авіоніки | | | | НАУ 20 04 16 000 ПЗ | | | |
| Виконав. | Коваль Д.А. | | | ЛАЗЕРНІ ДОПЛЕРІВСЬКІ ВИМІРЮВАЧІ ШВИДКОСТІ | Літ. | Арк. | Аркушів |
| Керівник | Землянський В.М. | | | | | 11 | 72 |
| Консульт. | Землянський В.М. | | | | 173 «Авіоніка» | | |
| Н. Контр. | Левківський В.В. | | | | | | |
| Зав. каф. | Павлова С. В. | | | | | | |

2.2. 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 відрізнятись 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 відрізнятись 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 багатопроменевими 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.

2.3 Лазерний доплерівський вимірювач швидкості

Лазерний доплерівський вимірювач швидкості складається з двох лазерів, блока формування пучків, датчика, прийомного блока, блока часових затримок, а також електрооптичного пристрою та оптичного фазорегулятора. Зона вимірювання формується пучками, які мають взаємноортогональні поляризації, а на виході фотоприймача формуються два синфазних доплерівських сигнали. Пристрій забезпечує заглушення високочастотних сигналів-перешкод при прийомі розсіяного назад випромінювання і підвищення відношення сигнал/шум.

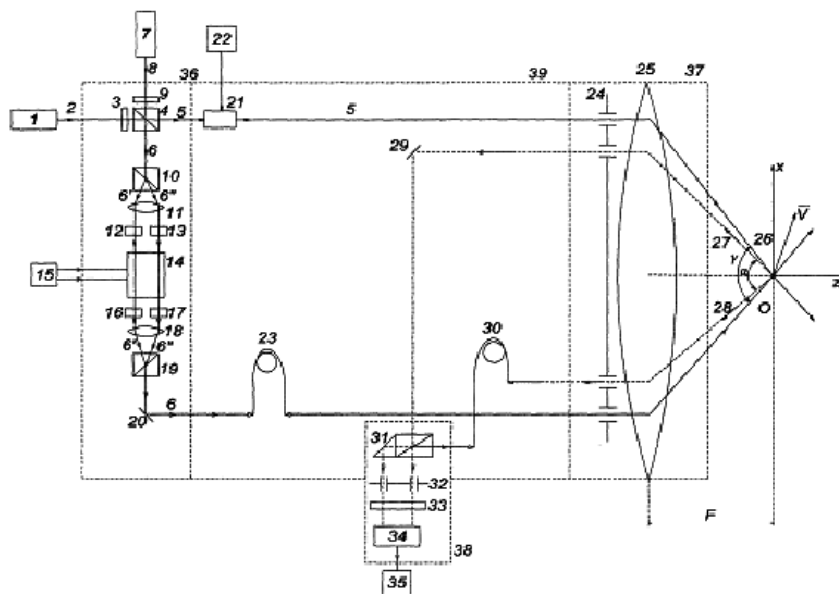


Рис.2.3.1

Винахід належить до вимірювальної техніки і може бути використаний для виміру швидкості газових і рідинних потоків.

Близьким технічним рішенням є вимірювач, що має у своєму складі оптично узгоджений лазер, блок формування двох паралельних лазерних пучків, до якого входять дзеркало і світлоділник, оптичний пристрій створення тимчасових затримок одного зондуєчого і одного з розсіяного пучків; датчик, що містить фокусуючий об'єктив і діафрагму з чотирма отворами; а також приймальний блок, що включає складовий змішувач, діафрагму з двома отворами, інтерференційний світлофільтр, фотоприймач, вихід якого підключений до вимірювача доплерівської частоти.

Вимірювач при вимірі високошвидкісних потоків має відносно невисоке співвідношення сигнал/шум, що зменшує точність вимірювання. Потужність корисного сигналу в ньому обмежується як потужністю використовуваного одномодового газового лазера (не більше 100 мВт), так і тим, що потужність розсіяного назад випромінювання на декілька порядків менше потужності розсіяного вперед випромінювання і істотно зменшується із збільшенням дальності дії ЛДВШ. В основу винаходу поставлено задачу підвищити відношення сигнал/шум, а також дальність дії за рахунок використання двох одномодових лазерів однієї довжини хвилі, що формують пучки з лінійними взаємно ортогональними поляризаціями і забезпечення фазового узгодження корисних доплерівських сигналів, що формуються від цих пучків. В цьому випадку на виході фотоприймача відношення сигнал/шум в два рази більше, ніж у відомому вимірювачі, що дозволяє збільшити дальність дії і точність вимірювання швидкості.

Поставлена задача досягається тим, що в лазерному доплерівському вимірювачі швидкості, що складається з оптично узгоджених лазера, блока формування двох паралельних лазерних пучків, який включає світлоділник і дзеркало; оптичного пристрою створення тимчасових затримок зонduючого і одного з розсіяних пучків; датчика, який включає фокусуючий об'єктив і діафрагму з чотирма отворами, а також приймального блока, що включає складовий змішувач, діафрагму з двома отворами, інтерференційний світлофільтр, фотоприймач, вихід якого підключений до вимірювача доплерівської частоти, додатково введені другий лазер, дві півхвильові пластини, оптичний фазорегулятор з блоком живлення, а також електрооптичний пристрій, що складається з оптично узгоджених і послідовно встановлених першої призми Волластона, лінзи, двох чвертьхвильових пластин, електрооптичного кристала, на який подається півхвильова напруга від квадратурного генератора високої частоти, двох чвертьхвильових пластин, лінзи і другої призми Волластона, причому в блоці формування пучків встановлено дві півхвильові пластини на входах світлоділника, а також електрооптичний пристрій на шляху одного з сформованих пучків; фазорегулятор, встановлений на шляху

одного із зондуючих пучків оптичного пристрою створення тимчасових затримок, крім того другий лазер оптично узгоджений з другим входом світлодільника блока формування пучків.

На рис. 2.3.1 представлена блок-схема ЛДВШ для виміру високошвидкісних потоків; на рис. 2.3.2 блок-схема ЛДВШ для виміру малих швидкостей; на рис. 2.3.3 і 2.3.4 - геометрія зондуючих і розсіяних пучків відповідно для ЛДВШ рис. 2.3.1 і рис. 2; на рис. 5 блок-схема волоконно-оптичного ЛДВШ.

ЛДВШ (рис. 2.3.1, 2.3.2, 2.3.5) включає: лазер 1 в одномодовому режимі, випромінюючий лінійно поляризований пучок на довжині хвилі λ_1 , півхвильову пластину 3, світлодільник 4, що розділяє пучок 2 на два пучки 5 і 6 рівної інтенсивності, одномодовий лазер 7, випромінюючий лінійно поляризований пучок 8 на довжині хвилі λ_1 , півхвильову пластину 9, призму Волластона 10, лінзу 11, чвертьхвильові фазові пластини 12, 13, електрооптичний кристал 14, наприклад з ніобату літію, на дві пари граней якого подаються дві півхвильових напруги в квадратурі від генератора 15 квадратурних сигналів ($U \cos \omega t$ і $U \sin \omega t$) і чвертьхвильових пластин 16 і 17, лінзи 18, призми Волластона 19, дзеркала 20, оптичного фазового регулятора 21 з блоком живлення 22, лінії затримки 23, діафрагми з чотирма отворами 24, об'єктиву 25, зони виміру 26, розсіяних пучків 27 і 28, дзеркала 29, лінії затримки 30, складового змішувача 31, діафрагми з двома отворами 32, інтерференційного світлофільтру 33, фотоприймача 34, вимірювача доплерівської частоти 35; блока формування двох паралельних пучків, в який входять оптичні елементи 3, 4, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 16, 17, 18, 19, 20; оптичного пристрою тимчасових затримок 39, в який входять 21, 23, 29, 30; а для схеми ЛДВШ на рис. 5 так само одномодові світловоди 5 10 15 20 25 30 35 40, 41, 42, 43; датчика 37, в який входять - 24, 25; приймального блока 38, в який входять - 31, 32, 33, 34.

ЛДВШ працює таким чином. Газовий лазер 1, що працює на довжині хвилі λ_1 в одномодовому режимі, випромінює лінійно поляризований пучок 2. За допомогою півхвильової пластини 3 цей пучок 2 перетворюється у вертикально поляризований з азимутом $\alpha_2 = 90^\circ$ і далі ділиться світлодільником 4 на два пучки 5' і 6' рівної інтенсивності. Другий одномодовий лазер 7 випромінює лінійно поляризований

пучок 8, який за допомогою півхвильової пластини 9 перетвориться в горизонтально поляризований пучок з азимутом $\alpha_8 = 0^\circ$. Цей пучок ділиться світлоділником 4 на два пучки 5" і 6" рівної інтенсивності. Оскільки пучки 5' і 5", а також 6" і 6" просторово поєднані, то результуючі пучки 5 і 6 є суперпозицією двох пучків з взаємно ортогональною лінійною поляризацією. Пучок 6 прямує на вхід поляризаційної призми Волластона 10 з азимутом $\alpha_{10} = 90^\circ$, тому на виході її формуються два пучки 6' і 6", які відповідно мають вертикальну і горизонтальну поляризацію. Пучок 6' після проходження чвертьхвильової пластини 12, з азимутом $\alpha_{12} = 135^\circ$ перетвориться в правоциркулярно поляризований пучок. Другий пучок 6" після проходження чвертьхвильової пластини 13 з азимутом швидкої осі $\alpha_{13} = 45^\circ$ також перетвориться в правоциркулярно поляризований пучок. Ці пучки 6' і 6" проходять електрооптичний кристал 14, на дві пари граней якого подається півхвильова напруга на частоті Ω_m в квадратурі, від генератора 15. Далі пучок 6' що має частоту $\omega_0 + \Omega_m$, (ω_0 - частота випромінювання лазера) перетворюється чвертьхвильовою пластиною 17 у вертикально поляризований пучок, а пучок 6", що має частоту $\omega_0 + \Omega_m$ перетворюється чвертьхвильовою пластиною 16 в горизонтально поляризований пучок. Пучки 6' і 6", спрямовуються лінзою 18 на вхід поляризаційної призми Волластона 19, на виході якої ці пучки просторово поєднуються, утворюючи пучок 6, який після віддзеркалення від дзеркала 20 і проходження по лінії затримки 23 і отвору діафрагми 24, прямує на вхід об'єктиву 25. Другий пучок 5 прямує на вхід фазорегулятора 21, підключеного до блока живлення 22. За допомогою фазорегулятора можливо регулювати фазове зміщення між пучками 5' і 5", що мають лінійні взаємно ортогональні поляризації. Фазорегулятор може бути виконаний, наприклад, з електрооптичного кристала, в цьому випадку різниця фаз між пучками на виході 21 лінійно залежить від напруги, що подається на кристал 14 від блока живлення 22.

Паралельні і симетричні відносно оптичної осі схеми OZ пучки 5 і 6 фокусуються об'єктивом р 25 в зону виміру 26, через яку рухається потік із швидкістю V . Розсіяне назад випромінювання 27 збирається об'єктивом 25 в межах отвору

діафрагми 24 і після віддзеркалення від дзеркала 29 прямує на вхід змішувача 31. На другий вхід змішувача прямує розсіяне назад випромінювання 28, після проходження діафрагми 25 і лінії затримки 30. Розсіяний пучок 27 складається з чотирьох розсіяних пучків: \vec{K}'_{s51} , \vec{K}''_{s51} , \vec{K}'_{s62} и \vec{K}''_{s62} , а пучок 28 складається з: \vec{K}'_{s52} , \vec{K}''_{s52} , \vec{K}'_{s61} и \vec{K}''_{s61} . Причому, оскільки розсіяні пучки 27 і 28 збираються в площині зондуючих пучків 5 і 6 - OXZ, то розсіяні пучки: \vec{K}'_{s51} , \vec{K}'_{s62} , \vec{K}'_{s52} и \vec{K}'_{s61} - мають вертикальну 40 поляризацію, а розсіяні пучки: \vec{K}''_{s51} , \vec{K}''_{s62} , \vec{K}''_{s52} и \vec{K}''_{s61} - горизонтальну поляризацію.

Розсіяні пучки 27 і 28, після їх просторового поєднання в змішувачі 31, проходження діафрагми 32 і інтерференційного світлофільтру 33, прямують на фотокатод фотоприймача 34. В результаті оптичного змішення 8-ми розсіяних пучків на виході фотоприймача 34 формується тільки два корисні високочастотні сигнали на рівних частотах (див. рис. 2.3.3)

$$\omega'_2 = \omega'_{s61} - \omega'_{s52} = \Omega_M + (\vec{K}'_{06} - \vec{K}'_{05})\vec{V} + (\vec{K}'_{s52} - \vec{K}'_{s61})\vec{V} = \Omega_M + (\vec{K}'_1 - \vec{K}'_3)\vec{V} = \Omega_M + \vec{K}'\vec{V}$$

$$\omega''_2 = \omega''_{s61} - \omega''_{s52} = \Omega_M + (\vec{K}''_{06} - \vec{K}''_{05})\vec{V} + (\vec{K}''_{s52} - \vec{K}''_{s61})\vec{V} = \Omega_M + (\vec{K}''_1 - \vec{K}''_3)\vec{V} = \Omega_M + \vec{K}''\vec{V}$$

$$\vec{K}'_5 = \vec{K}''_5$$

$$\omega'_2 = \omega''_2 = \omega_2 = \Omega_M + \frac{8\pi}{\lambda_1} \cos\left(\frac{\gamma + a}{4}\right) \sin\left(\frac{\gamma - a}{4}\right) V_x$$

де λ_1 - довжина хвилі випромінювання лазерів 1 і 7,

\vec{K}_{06} и \vec{K}_{05} - хвильові вектори зондуючих пучків 5 і 6,

\vec{K}_{s51} и \vec{K}_{s61} - хвильові вектори розсіяних пучків, що формуються від пучків 5 і 6,

$V_x = V \cos \varphi$ (рис. 3) - горизонтальна проекція швидкості потоку.

Частота сигналу ω_2 вимірюється вимірювачем доплерівської частоти 35, який видає інформацію про модуль і знак проекції швидкості V_x .

Перший сигнал на частоті ω'_2 формується від вертикально поляризованих розсіяних пучків, оскільки для цього сигналу модуль степені тимчасової когерентності $|\gamma'_2| = 1$, а також коефіцієнт поляризаційного узгодження змішуваних розсіяних хвиль

$K'_{n2}=1$. Другий сигнал на частоті ω''_2 формується від горизонтально поляризованих розсіяних пучків (для нього також $|\gamma''_2|=1$ і $K'_{n2}=1$). Інші 26 високочастотних сигналів-перешкод автоматично пригнічуються, оскільки для цих сигналів або модуль степені тимчасової когерентності дорівнює нулю, або коефіцієнт поляризаційного узгодження дорівнює нулю (оскільки пучки мають лінійні взаємно ортогональні поляризації).

Високочастотні сигнали не лише рівні по частоті, але також рівні по амплітуді через властивості симетрії оптичної схеми ЛДВШ. Проте ці сигнали можуть бути не сфазовані внаслідок того, що пучки, що мають горизонтальну і вертикальну поляризацію, проходять різний оптичний шлях при анізотропних властивостях оптичних матеріалів, з яких виготовлені оптичні елементи. Для синфазного прийому двох лазерних сигналів необхідно здійснити регулювання різниці фаз між пучками 5' і 5'' за допомогою фазорегулятора 21. Ця операція регулювання фази виконується при первинному юстируванні оптичної схеми ЛДВШ, а також при заміні в схемі окремих оптичних елементів.

Схема ЛДВШ (рис.2.3.1) має відносно низьку чутливість

$$S_x \left[\frac{\Gamma_{\text{ц}}}{M/c} \right] = \frac{4}{\lambda} \cos \left(\frac{\gamma+a}{4} \right) \sin \left(\frac{\gamma-a}{4} \right)$$

тому її доцільно використовувати при вимірі великих швидкостей, наприклад, гіперзвукових. При вимірі малих швидкостей потоків, наприклад, при броунівському русі, доцільно використовувати схему ЛДВШ (рис. 2.3.2). Ця схема відрізняється від схеми (рис.2.3.1), тим що в ній лінія затримки 30 розташована на шляху розсіяного пучка 27. В цьому випадку в результаті оптичного зміщення на фотокатоді фотоприймача 34 восьми розсіяних пучків: \vec{K}'_{s51} , \vec{K}''_{s51} , \vec{K}'_{s62} і \vec{K}''_{s62} , \vec{K}'_{s61} , \vec{K}''_{s61} , \vec{K}'_{s52} і \vec{K}''_{s52} , що мають різні доплерівські зміщення частот, міру когерентності і різні поляризації, на виході фотоприймача формується 26 високочастотних сигналів-перешкод, які автоматично пригнічуються (оскільки для цих сигналів $\gamma' = 0$ або $K_{ni} = 0$), а також два корисні високочастотні сигнали на частотах ω'_1 і ω''_1 , рівних за величиною і пропорційних проекції швидкості V_x (див. рис. 2.3.4)

$$\omega_1'' = \omega_{s62}'' - \omega_{s51}'' = \Omega_M + (\vec{K}_{06}'' - \vec{K}_{05}'')\vec{V} + (\vec{K}_{s51}'' - \vec{K}_{s62}'')\vec{V} = \Omega_M + (\vec{K}_1'' - \vec{K}_2'')\vec{V} = \Omega_M + \vec{K}_4''\vec{V}$$

$$\omega_1' = \omega_{s62}' - \omega_{s51}' = \Omega_M + (\vec{K}_{06}' - \vec{K}_{05}')\vec{V} + (\vec{K}_{s51}' - \vec{K}_{s62}')\vec{V} = \Omega_M + (\vec{K}_1' - \vec{K}_2')\vec{V} = \Omega_M + \vec{K}_4'\vec{V}$$

$$\omega_1' = \omega_1'' = \omega_1 = \Omega_M + \frac{8\pi}{\lambda_1} \cos\left(\frac{\gamma + a}{4}\right) \sin\left(\frac{\gamma - a}{4}\right) V_x$$

Схема (рис. 2.3.5) має високу чутливість

$$S_x \left[\frac{\Gamma_{\text{ц}}}{\text{М/с}} \right] = \frac{4}{\lambda} \sin\left(\frac{\gamma + a}{4}\right) \cos\left(\frac{\gamma - a}{4}\right)$$

що важливо при вимірі малих швидкостей. При вимірі швидкостей у важкодоступних зонах використовується варіант ЛДВШ (рис. 2.3.5) з використанням волоконно-оптичного пристрою тимчасових затримок 39, який складається з чотирьох світлопроводів 40, 41, 42, 43. На рис. 2.3.5 представлена схема ЛДВШ, яка працює в режимі максимальної чутливості. Для переходу в режим мінімальної чутливості необхідно на вході датчика 37 поміняти місцями кінці світлопроводів 42 і 43. У розробленому ЛДВШ усунені недоліки властиві прототипу і відомим приладам. У ЛДВШ забезпечується підвищення відношення сигнал/шум в два рази в порівнянні з відомими схемами. Крім того у ЛДВШ збільшується дальність дії при прийомі розсіяного назад випромінювання. ЛДВШ може використовуватися як при вимірі малих, так і надзвукових швидкостей.

ФОРМУЛА ВИНАХОДУ

Лазерний доплерівський вимірювач швидкості, що складається з оптично узгоджених лазера, блока формування двох паралельних лазерних пучків, який включає світлодіодник і дзеркало; оптичного пристрою створення тимчасових затримок одного з зондуючих і одного з розсіяних пучків; датчика, який включає фокусуючий об'єктив і діафрагму з чотирма отворами, а також приймальний блок, що включає складовий змішувач, діафрагму з двома отворами, інтерференційний світлофільтр, фотоприймач, вихід якого підключений до вимірювача доплерівської частоти, який відрізняється тим, що в нього додатково введені

другий лазер, дві півхвильові пластини, оптичний фазорегулятор з блоком живлення, а також електрооптичний пристрій, що складається з оптично узгоджених і послідовно встановлених першої призми Волластона, першої лінзи, двох чвертьхвильових пластин, електрооптичного кристала, на який подається півхвильова напруга квадратурного генератора високої частоти, других двох чвертьхвильових пластин, лінзи і призми Волластона; причому в блоці формування променів встановлено дві півхвильові пластини на входах світлодільника, а також електрооптичний пристрій на шляху одного з сформованих пучків, крім того, фазорегулятор встановлений на шляху одного із зондуєчих пучків оптичного пристрою створення тимчасових затримок; а другий лазер оптично узгоджений з другим входом світлодільника блока формування пучків.

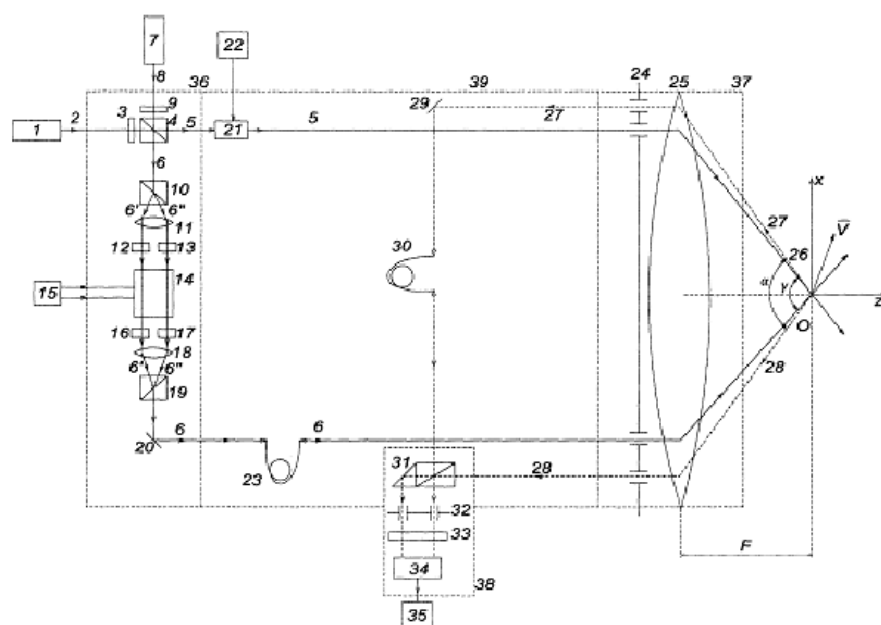


Рис.2.3.2

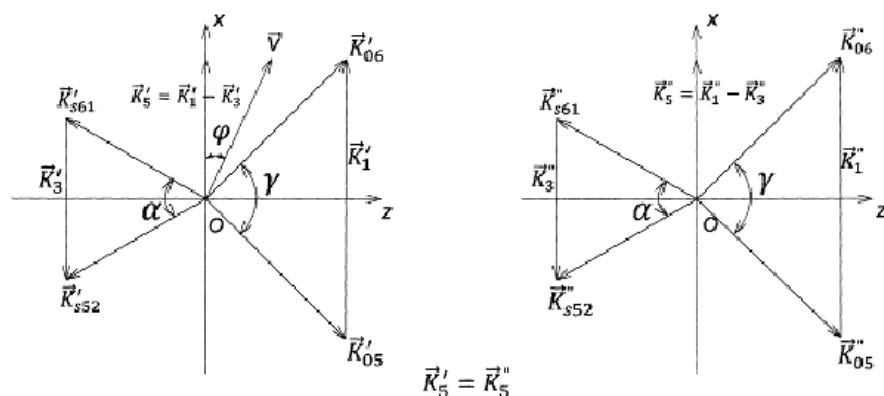


Рис.2.3.3

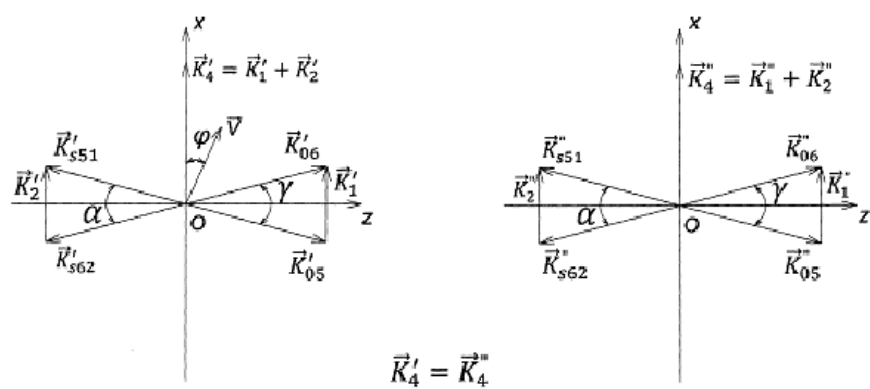


Рис.2.3.4

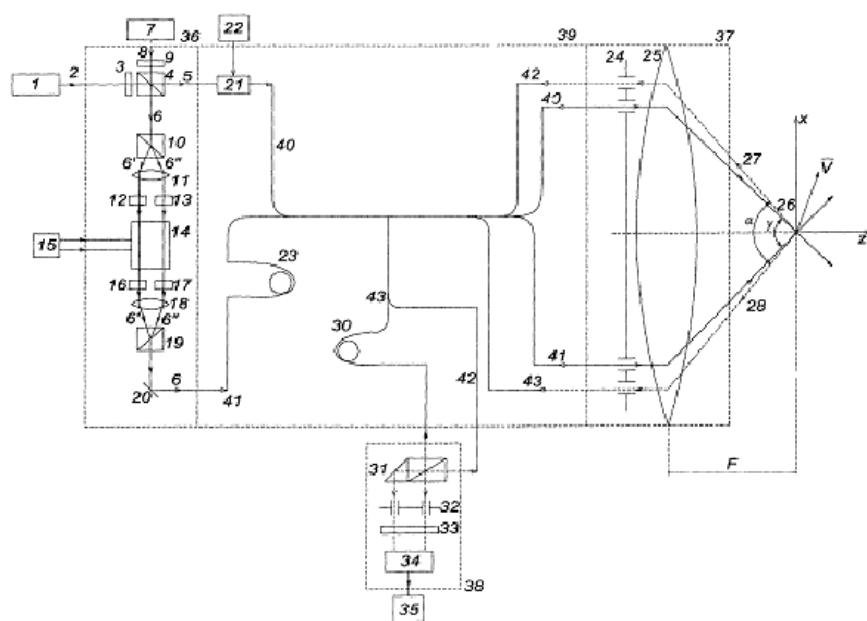


Рис.2.3.5

2.4 Лазерний доплерівський вимірювач швидкості диференційного типу

Найчастіше застосовують оптичну схему ЛДВШ диференціального типу. У ній зона вимірювання формується двома лазерними променями, що спрямовуються в потік, який досліджується. Залежно від досліджуваного об'єкта приймання розсіяного випромінювання може здійснюватись вперед або назад. В оптичній схемі з прийманням розсіяного випромінювання вперед оптичні елементи розташовуються по обидва боки потоку (рис. 2.4.1).

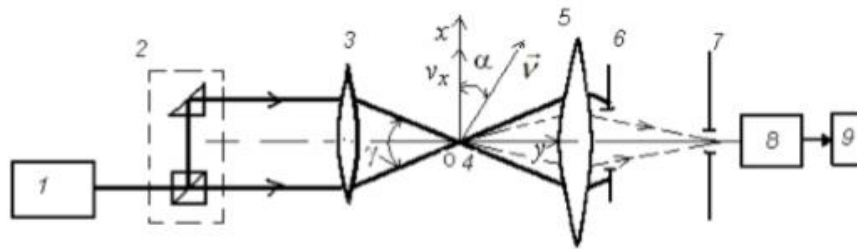


Рис. 2.4.1

Схема диференціального ЛДВШ з прийманням розсіяного вперед випромінювання: 1 – лазер; 2 – оптичний розгалужувач; 3 – передавальний об'єктив; 4 – зона вимірювання; 5 – приймальний об'єктив; 6 – апертурна діафрагма; 7 – фонова діафрагма; 8 – фотоприймач; 9 – електронна схема обробки та вимірювання частоти доплерівського сигналу; \vec{V} – вектор швидкості потоку; v_x – складова вектора швидкості потоку, яку вимірює ЛДВШ

У схемі з прийманням розсіяного назад випромінювання (рис. 2.4.2) оптична частина приладу розташовується з одного боку потоку та об'єднана в одному блоці, що є перевагою такої побудови ЛДВШ.

Перевагою схеми з прийманням розсіяного випромінювання вперед є те, що інтенсивність розсіяного вперед випромінювання залежно від діаметра мікрочастинок у $10 - 10^3$ раз більше, ніж інтенсивність розсіяного назад випромінювання. За такого варіанта побудови оптичної схеми можна застосовувати лазер меншої потужності, що особливо важливо для дослідження аеродинамічних потоків.

Електронна частина ЛДВШ складається з фотоприймача та електронної схеми обробки і вимірювання частоти доплерівського сигналу.

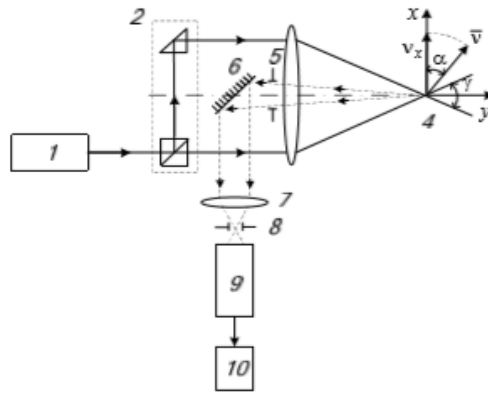


Рис. 2.4.2

Схема диференціального ЛДВШ з прийманням розсіянного назад випромінювання: 1 – лазер; 2 – оптичний розгалужувач; 3 – об’єктив; 4 – зона вимірювання; 5 – апертурна діафрагма; 6 – дзеркало; 7 – приймальний об’єктив; 8 – фонова діафрагма; 9 – фотоприймач; 10 – електронна схема обробки та вимірювання частоти доплерівського сигналу; \bar{V} – вектор швидкості потоку; v_x – складова вектора швидкості потоку, яку вимірює ЛДВШ. Доплерівський сигнал за умови розміщення в зоні вимірювання тільки однієї мікрочастинки (одночастинковий режим роботи ЛДВШ) являє собою імпульс, форма якого визначається характером зміни інтенсивності лазерних променів у зоні вимірювання. Цей імпульс заповнено змінною доплерівською складовою (рис. 3)

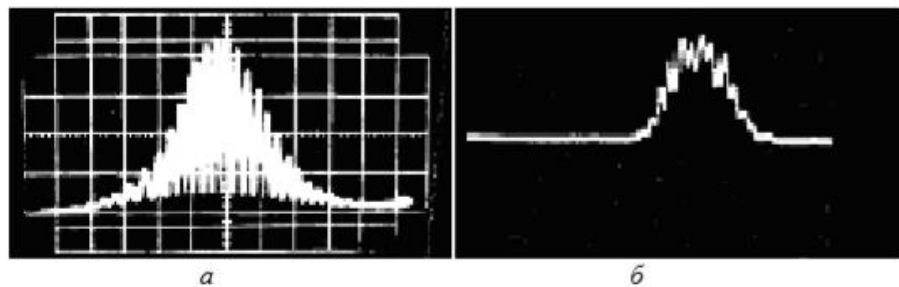


Рис. 2.4.3

Фотографії осцилограм доплерівського сигналу на виході фотоприймача: а – коефіцієнт $V=1$; б – коефіцієнт $V=0,1$

Виміряти частоту такого сигналу досить складно, особливо під час дослідження аеродинамічних потоків, коли тривалість імпульсу може становити 10^{-9} – 10^{-10} с. Доплерівський сигнал має постійну складову, що визначається інтенсивністю лазерних променів, які перехрещуються в зоні вимірювання та змінною складовою.

Відношення змінної складової до постійної складової сигналу визначається коефіцієнтом:

$$V = k_a k_p k_\phi,$$

де k_a , k_p , k_ϕ – відповідно коефіцієнти амплітудного, поляризаційного та фазового узгоджень, значення яких може змінюватися від 0 до 1.

Коефіцієнти амплітудного, поляризаційного та фазового узгоджень залежать від діаметра і показника заломлення мікрочастинки, а також від напрямку приймання розсіяного випромінювання. Якщо підвищити значення k_a , k_p та k_ϕ , то збільшується значення коефіцієнта V , що, в свою чергу, зумовлює підвищення відношення сигнал/шум і точності вимірювання. Розглянемо, яким чином можна збільшити відношення змінної до постійної складових сигналу ЛДВШ з прийманням розсіяного вперед випромінювання. Під час розсіювання вперед під кутами до 10° на мікрочастинках 1 – 20 мкм ступінь поляризаційного узгодження розсіяних хвиль від двох лазерних променів достатньо високий. У праці для підвищення ступеня амплітудного узгодження розсіяних хвиль запропоновано замість апертурної діафрагми встановлювати фільтр. Форму фільтра розраховують таким чином, що для кожного напрямку приймання розсіяних хвиль виконувалась умова

$$k_{ai} \geq k_{ai\text{зад}},$$

де k_{ai} – коефіцієнт амплітудного узгодження розсіяних хвиль в i -му напрямку приймання розсіяного випромінювання; $k_{ai\text{зад}}$ – задане значення коефіцієнта амплітудного узгодження. Таким чином, фільтр забезпечує надходження на фотоприймач розсіяних хвиль, які не суттєво відрізняються за інтенсивністю. Але на сигнал ЛДВШ впливає також ступінь узгодження за фазою «елементарних» доплерівських сигналів, які утворюються під час приймання розсіяного випромінювання в різних напрямках.

2.5 Лазерний двокомпонентний доплерівський вимірювач швидкості

Корисна модель належить до вимірювальної техніки і може бути використаний для вимірювання двох складових вектора швидкості потоку рідини або газу. Відомий лазерний доплерівський вимірювач швидкості (ЛДВШ), який складається з лазера, розщеплювача променя, об'єктива, двох приймальних блоків. Приймальні блоки складаються з об'єктива, поляризаційного розщеплювача та двох фотоприймачів.

Недоліком такого ЛДВШ є те, що в ньому застосовується двохвильовий лазер, що ускладнює оптичну схему вимірювача та її юстирування.

Крім того, в такому ЛДВШ розсіяне лазерне випромінювання мікрочастинками, що рухаються разом з потоком рідини або газу, збирається в невеликій кутовій апертурі, що призводить до низького відношення сигнал до завади. Відомий також двокомпонентний ЛДВШ, який складається з лазера, розщеплювача лазерного променя, об'єктива, що фокусує, та двох об'єктивів, що збирають випромінювання, апертурної діафрагми з двома круглими отворами, двох фотоприймачів та двох вимірювачів доплерівської частоти.

Але цьому ЛДВШ властиві наступні недоліки.

По-перше в зону вимірювання одночасно направляються три променя. За рахунок інтерференції опорних лазерних променів та розсіяних променів на виходах фотоприймачів утворюються не тільки сигнали, що пропорційні двом складовим вектора швидкості потоку, але також сигнали перехресних високочастотних завад, спектри яких можуть накладатися на спектри корисних сигналів. В такому випадку складно виділити корисні сигнали, що пропорційні складовим вектора швидкості потоку.

По-друге прийом розсіяного випромінювання у такому ЛДВШ здійснюється у відносно маленькій кутовій апертурі, що призводить до низького відношення сигнал/завада доплерівського сигналу.

Відомий ЛДВШ (прототип), в якому в зону вимірювання одночасно направляються три лазерних променя на шляху яких встановлені три оптичних затвора. Такий ЛДВШ складається з ЛДВШ диференціального типу та ЛДВШ на зустрічних

променях. Недоліком такого ЛДВШ є те, що за його допомогою неможливо вимірювати V_y - складову вектора швидкості потоку.

В основу корисної моделі поставлена задача вдосконалення ЛДВШ за рахунок поєднання схем побудови ЛДВШ двох типів - ЛДВШ диференціального типу та ЛДВШ з опорним променем.

Задача вирішується за рахунок того, що в ЛДВШ, який містить оптично узгоджений лазер, об'єктив, що фокусує лазерні промені та об'єктив, що збирає розсіяне випромінювання, апертурну та фонову діафрагми, оптичний затвор, що підключений до генератора імпульсів, фотоприймач та вимірювач доплерівської частоти, згідно з винаходом встановлений розщеплювач лазерного променя на два промені, додатково встановлені апертурна та фонові діафрагми, об'єктив, три дзеркала, одне з яких напівпрозоре, два електричних ключа та фотоприймач.

Застосування схеми з опорним променем дозволяє проводити вимірювання V_y - складової вектора швидкості, що неможливо у прототипі.

В такому ЛДВШ так же як і у прототипі, застосовується розділення каналів вимірювання у часі. Для цього на шляху одного з променів, що направляються в зону вимірювання встановлений оптичний затвор, який підключений до генератора імпульсів.

Двокомпонентний ЛДВШ, який вимірює V_x та V_y - ортогональні складові вектора швидкості потоку, схема якого зображена на рис. 1, складається з схеми ЛДВШ з опорним променем та ЛДВШ диференціального типу.

За допомогою диференційного ЛДВШ вимірюється V_x - складова вектора швидкості потоку.

Схема ЛДВШ з опорним променем призначена для вимірювання V_y - складової вектора швидкості.

Лазерний доплерівський вимірювач швидкості, що пропонується, працює наступним чином (див. рис. 2.5.1).

Випромінювання лазера 1 за допомогою напівпрозорого дзеркала 2 та дзеркала 3 поділяється на два променя 4 та 5.

Лазерний промінь 4 проходить оптичний затвор 6. До оптичного затвору 6 підключений генератор імпульсів 7.

У тому випадку, коли імпульс на виході генератора 7 відсутній, оптичний затвор 6 відкритий. В той же час ключ 23 закритий і сигнал з виходу фотоприймача 22 не поступає на вхід вимірювача доплерівської частоти 25.

Ключ 24 відкритий і сигнал від фотоприймача 14 може потрапити на вхід вимірювача доплерівської частоти 25.

За допомогою оптичного затвору 6, генератора імпульсів 7 та ключів 23, 24 проводиться розділення каналів вимірювання у часі.

Лазерні промені 4 та 5 за допомогою об'єктива 8 фокусуються в зону вимірювання 9, через яку зі швидкістю \bar{V} рухається потік рідини або газу.

Розсіяне мікрочастинками, що рухаються з потоком, випромінювання 10 збирається в межах апертурної діафрагми 11 за допомогою об'єктива 12 та далі направляється на фотоприймач 14. Для зменшення фонового освітлення перед фотоприймачем 14 встановлена діафрагма 13.

Розсіяне випромінювання попадає на фотоприймач 14, на виході якого утворюється електричний сигнал, який має постійну та змінну складові. Змінна доплерівська складова вихідного сигналу фотоприймача 14 пропорційна V_x компоненті вектора швидкості потоку.

На рис.2.5.2. представлена геометрія лазерних та розсіяних променів у схемі ЛДВШ диференціального типу.

На рис.2.5.2 зображені: $\overline{K_1}$, $\overline{K_2}$ - хвильові вектори лазерних променів, що направляються в зону вимірювання 9; $\overline{K_s}$ - хвильовий вектор різниці векторів.

$$\overline{K_s} = \overline{K_1} - \overline{K_2} ; |\overline{K_s}| \approx |\overline{K_1}| \approx |\overline{K_2}| = \frac{2\pi}{\lambda_0}$$

Частота доплерівського сигналу на виході фотоприймача буде дорівнювати:

$$f_{dx} = \frac{2n_c |\bar{V}|}{\lambda_0} * \cos \beta * \sin \gamma / 2$$

де: n_c - показник заломлення середовища, потоку що досліджується; λ_0 - довжина хвилі лазерного променя у вакуумі; β - кут між вектором швидкості та різницеvim

вектором $|\overline{K_s}| \approx |\overline{K_1}| \approx |\overline{K_2}|$; γ - кут між лазерними променями, що об'єктивом 8 направляються в зону вимірювання 9.

Вихідний сигнал фотоприймача 14 поступає на вимірювач частоти доплерівського сигналу 25, за допомогою якого визначається значення V_x складової вектора швидкості \overline{V} .

Схема ЛДВШ з опорним променем вимірює V_y складову вектора швидкості.

ЛДВШ з опорним променем утворений об'єктивом 8, який направляє опорний промінь 5 в зону вимірювання 9, апертурною та фоновою діафрагмами 16 та 21, об'єктивом 17, дзеркалами 18, 19, 20 та фотоприймачем 22.

Коли на виході генератора імпульсів 7 формується імпульс, він поступає на оптичний затвор 6. Оптичний затвор 6 не пропускає промінь 4 в зону вимірювання 9. Таким чином впродовж тривалості імпульсу τ у зону вимірювання 9 направляється тільки один опорний промінь 5.

Одночасно імпульс від генератора 7 поступає на ключ 24 та закриває його. Тоді сигнал з фотоприймача 14 не може потрапити на вхід вимірювача доплерівської частоти 25. В той же час імпульс від генератора імпульсів 7 відкриває ключ 23.

Випромінювання, яке розсіяне мікрочастинками, що рухаються разом з потоком зі швидкістю збирається під кутом α в межах апертурної діафрагми 16 об'єктивом 17 та направляється на \overline{V} фотоприймач 22.

Опорний промінь 5 відбивається від дзеркала 18, проходить напівпрозоре дзеркало 19, відбивається від дзеркала 20 та знову відбивається від напівпрозорого дзеркала 19 і направляється на фотоприймач 22. Перед фотоприймачем 22 для зменшення фонового освітлення встановлена діафрагма 21.

Для того, щоб така схема ЛДВШ з опорним променем вимірювала V_y складову вектора швидкості потоку \overline{V} , необхідно дотримуватися наступної умови. Опорний промінь 5 після проходження зони вимірювання 9 та розсіяний промінь 15 повинні знаходитись у площині, що перпендикулярна площині O_{xz} .

В результаті оптичного гетеродинування опорного та розсіяного променів на виході фотоприймача утворюється електричний сигнал, що має постійну та змінну складові.

На рис. 2.5.3 зображена геометрія опорного та розсіяного променів у ЛДВШ з опорним променем.

На рис. 2.5.3 зображено: \vec{K} - хвильовий вектор опорного променя; \vec{K}_s - хвильовий вектор розсіяного променя; $\vec{K}_s - \vec{K}$ - різницевий хвильовий вектор між розсіяним та опорним променями.

Змінна доплерівська складова вихідного сигналу фотоприймача 20 пропорційна V_y складовій вектора швидкості та дорівнює:

$$f_{\text{ду}} = \frac{2n_c |\vec{V}|}{\lambda_0} * \cos \varphi * \sin \alpha,$$

де: n_c - показник заломлення середовища, потоку що досліджується; λ_0 - довжина хвилі лазерного променя у вакуумі; φ - кут між вектором швидкості та віссю Oy ; α - кут між розсіяним променем 15 та опорним променем 5.

Імпульс від генератора 7 поступає не тільки на оптичний затвор 6, а і одночасно на ключ 23. На період тривалості імпульсу τ ключ 23 відкривається. У цей час вихідний сигнал фотоприймача 22 поступає на вимірювач частоти доплерівського сигналу 25.

Таким чином у ЛДВШ, що заявляється, реалізована схема з опорним променем, яка вимірює V_y складову вектора швидкості.

Двокомпонентний ЛДВШ, що пропонується, може знайти застосування під час дослідження характеру течії у різного типу гідравлічних систем а також під час дослідження моделей літальних апаратів та їх елементів у аеродинамічних трубах.

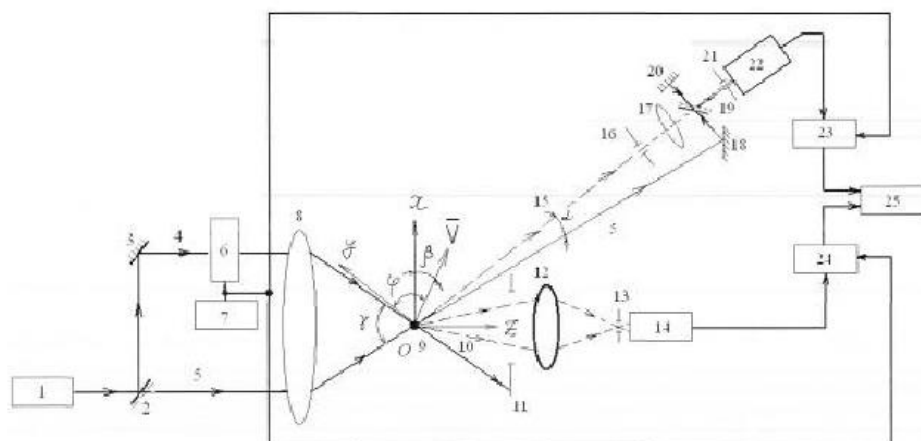


Рис.2.5.1

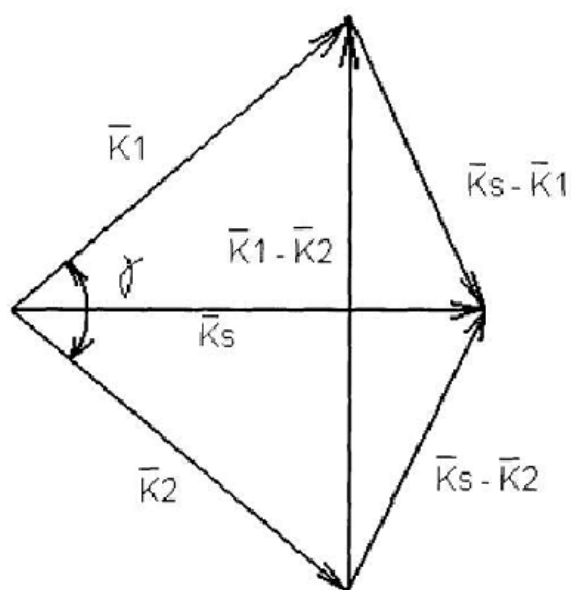


Рис.2.5.2

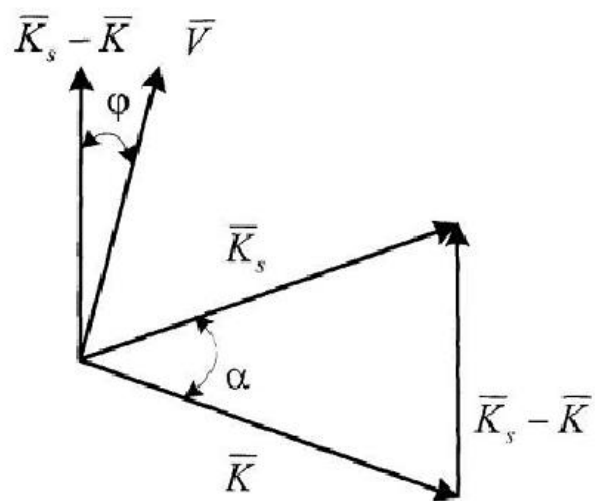


Рис.2.5.3

РОЗДІЛ 3

ЛАЗЕРНИЙ ТРИКОМПОНЕНТНИЙ ДОППЛЕРІВСЬКИЙ ВИМІРЮВАЧ ШВИДКОСТІ

3.1. Загальні відомості

Лазерний трикомпонентний доплерівський вимірювач швидкості, складається з оптично узгодженого лазера, розщеплювача лазерного променя на три промені, фокусуєного та збираєного об'єктивів, апертурної та фонової діафрагми, трьох оптичних затворів, до яких підключений генератор імпульсів, фотоприймача та вимірювача доплерівської частоти, який відрізняється тим, що в ньому додатково встановлені апертурна діафрагма та фонова діафрагми, об'єктив, три дзеркала, одне з яких напівпрозоре, два електричних ключі та фотоприймач.

| | | | | | | | |
|------------------|------------------|--|--|--|----------------|------|---------|
| Кафедра авіоніки | | | | НАУ 20 04 16 000 ПЗ | | | |
| Виконав. | Коваль Д.А. | | | ЛАЗЕРНИЙ ТРИКОМПОНЕНТНИЙ ДОППЛЕРІВСЬКИЙ ВИМІРЮВАЧ ШВИДКОСТІ | Літ. | Арк. | Аркушів |
| Керівник | Землянський В.М. | | | | | 33 | 72 |
| Консульт. | Землянський В.М. | | | | 173 «Авіоніка» | | |
| Н. Контр. | Левківський В.В. | | | | | | |
| Зав. каф. | Павлова С. В. | | | | | | |

3.2. Сутність винаходу

Лазерний трикомпонентний доплерівський вимірювач швидкості, який складається з оптично узгодженого лазера, розщеплювача лазерного променя на три промені, фокусуєчого та збираючого об'єктивів, апертурної та фонові діафрагми, трьох оптичних затворів, до яких підключений генератор імпульсів, фотоприймача та вимірювача доплерівської частоти, який відрізняється тим, що в ньому додатково встановлені апертурна діафрагма та фонові діафрагми, об'єктив, три дзеркала, одне з яких напівпрозоре, два електричних ключі та фотоприймач.

Корисна модель належить до вимірювальної техніки і може бути використана для вимірювання трьох складових вектора швидкості потоку рідини або газу.

Відомий лазерний доплерівський вимірювач швидкості (ЛДВШ), який складається з лазера, розщеплювача лазерного променя, об'єктива, що фокусує, та двох об'єктивів, що збирають випромінювання, апертурної діафрагми з двома круглими отворами, двох фотоприймачів та двох вимірювачів доплерівської частоти.

Але цьому ЛДВШ властиві наступні недоліки. По-перше в зону вимірювання одночасно направляються три промені. За рахунок інтерференції опорних лазерних променів та розсіяних променів на виходах фотоприймачів утворюються не тільки сигнали, що пропорційні складовим вектора швидкості потоку, але також сигнали перехресних високочастотних завад, спектри яких можуть накладатися на спектри корисних сигналів. В такому випадку складно виділити корисні сигнали, що пропорційні складовим вектора швидкості потоку. По-друге прийом розсіяного випромінювання у такому ЛДВШ здійснюється у відносно маленькій кутовій апертурі, що приводить до низького відношення сигнал/завада доплерівського сигналу. Такий ЛДВШ не може вимірювати три складові вектора швидкості потоку.

Відомий ЛДВШ (прототип), в якому в зону вимірювання одночасно направляються три лазерних променя, на шляху яких встановлені три оптичних затвора. Такий ЛДВШ складається з ЛДВШ диференціального типу

та ЛДВШ на зустрічних променях. Недоліком такого ЛДВШ є те, що за його допомогою не можливо вимірювати три складові вектора швидкості потоку.

3.3. Принцип побудови пристрою

В основу корисної моделі поставлена задача вдосконалення ЛДВШ за рахунок поєднання схем побудови ЛДВШ трьох типів - ЛДВШ диференціального типу, ЛДВШ з опорним променем та ЛДВШ на зустрічних променях.

Задача вирішується за рахунок того, що в ЛДВШ, який містить оптично узгоджений лазер, розщеплювач лазерного променя на три промені, об'єктив, що фокусує лазерні промені, та об'єктив, що збирає розсіяне випромінювання, апертурної та фонові діафрагми, три оптичні затвори, до яких підключений генератор імпульсів, фотоприймач та вимірювач доплерівської частоти, згідно з корисною моделлю, додатково встановлені апертурна діафрагма та фонові діафрагми, об'єктив, три дзеркала, одне з яких напівпрозоре, два електричних ключі та фотоприймач.

Схема з опорним променем, що додатково використовується у ЛДВШ, який заявляється, дозволяє проводити вимірювання третьої V_y складової вектора швидкості, що не можливо у прототипі.

В такому ЛДВШ, так само як і у прототипі, застосовується розділення каналів вимірювання у часі. Для цього на шляху трьох лазерних променів, що направляються в зону вимірювання, встановлені оптичні затвори, які підключені до імпульсного генератора кодових послідовностей.

Трикомпонентний ЛДВШ, який вимірює V_x , V_y та V_z ортогональні складові вектора швидкості потоку, схема якого зображена на рис. 1, складається з схеми ЛДВШ з опорним променем, ЛДВШ диференціального типу та ЛДВШ на зустрічних променях.

Схема ЛДВШ з опорним променем призначена для вимірювання V_y складової вектора швидкості.

За допомогою диференційного ЛДВШ вимірюється V_x складова вектора швидкості потоку.

Схема ЛДВШ на зустрічних променях дозволяє визначити V_z складову вектора швидкості потоку.

Лазерний доплерівський вимірювач швидкості, що пропонується, працює наступним чином (див. рис. 1).

Випромінювання лазера 1 за допомогою напівпрозорих дзеркал 2, 3 та непрозорого дзеркала 4 поділяється на три променя 5, 6 та 7. Розділення каналів вимірювання у часі проводиться за рахунок застосування оптичних затворів, що встановлюються на шляху лазерних променів, які направляються у зону вимірювання. До оптичних затворів підключений імпульсний генератор кодових послідовностей 8.

На рис. 2 зображена часова діаграма вихідних сигналів, що генеруються та подаються на оптичні затвори 9, 10 та 11.

Генератор 8 має три виходи А, В та С, що підключені відповідно до оптичних затворів 9, 10 та 11.

3.4. Принцип дії

Цикл роботи генератора поділяється на три підцикли. В першому на виходах А та В з'являються імпульси, що мають тривалість τ , та закривають оптичні затвори 9 та 10. У другому, який починається через час τ , імпульс формується тільки на виході В. В третьому підциклі імпульси формуються на виходах А та С. Через інтервал часу T цикл вимірювання повторюється.

У першому підциклі роботи ЛДВШ продовж тривалості імпульсу τ відкритий тільки оптичний затвор 11 і в зону вимірювання направляється тільки промінь 7. Таким чином в цей період часу працює тільки схема з опорним променем та вимірюється V_y складова вектора швидкості потоку.

Лазерний промінь 7 за допомогою об'єктива 12 фокусується в зону вимірювання 13, через яку зі швидкістю \bar{V} рухається потік рідини або газу.

Випромінювання 20, яке розсіяне мікрочастинками, що рухаються разом з потоком зі швидкістю \bar{V} , збирається під кутом α в межах апертурної діафрагми 21 об'єктивом 22 та направляється на фотоприймач 27. Опорний промінь 7 відбивається від дзеркала 23, проходить напівпрозоре дзеркало 24, відбивається від дзеркала 25 та знову відбивається від напівпрозорого дзеркала 24 і направляється на фотоприймач 27. Перед фотоприймачем 27 для зменшення фонового освітлення встановлена діафрагма 26.

Для того, щоб така схема ЛДВШ з опорним променем вимірювала V_y складову вектора швидкості потоку \bar{V} , необхідно дотримуватися наступної умови. Опорний промінь 7 після проходження зони вимірювання 13 та розсіяний промінь 20 повинні знаходитись у площині, що перпендикулярна площині O_{xz} . В результаті оптичного гетеродинування опорного та розсіяного променів на виході фотоприймача утворюється електричний сигнал, що має постійну та змінну складові.

На рис. 3 зображена геометрія опорного та розсіяного променів у ЛДВШ з опорним променем. На рис. 3 зображено: \bar{K} - хвильовий вектор опорного

променя; $\overline{K_s}$ - хвильовий вектор розсіяного променя; $\overline{K_s} - \overline{K}$ - різницевий хвильовий вектор між розсіяним та опорним променями.

Змінна доплерівська складова вихідного сигналу фотоприймача 27 пропорційна V_y складовій вектора швидкості та дорівнює:

$$f_{dy} = \frac{2nc|\overline{V}|}{\lambda_0} * \cos \varphi * \sin \alpha,$$

де: n - показник заломлення середовища, потоку що досліджується; λ_0 - довжина хвилі лазерного променя у вакуумі; φ - кут між вектором швидкості та віссю O_y ; α - кут між розсіяним променем 20 та опорним променем 7.

Імпульсний генератор кодових послідовностей 8 має четвертий вихід, з якого подається цифровий сигнал на електронні ключі 28 та 30. Ключ 28 відкритий, коли на нього поданий код 1 1 0, а ключ 30 відкривається за умови наявності на його вході кодів 1 0 1 та 0 1 0.

Тому в першому підциклі вимірювання ключ 28 відкритий, а ключ 30 закритий. На вимірювач доплерівської частоти надходить тільки сигнал з фотоприймача 27, що містить доплерівський сигнал, пропорційний V_y складовій вектора швидкості.

В другому підциклі роботи ЛДВШ оптичний затвор 10 закритий, тому в зону вимірювання 13 направляються промені 5 та 7. В цьому підциклі роботи реалізована диференціальна схема ЛДВШ, яка дозволяє визначити V_x складову вектора швидкості потоку.

Розсіяне мікрочастинками, що рухаються з потоком, випромінювання 14 збирається в межах апертурної діафрагми 15 за допомогою об'єктива 16 та далі направляється на фотоприймач 19. Для зменшення фонового освітлення перед фотоприймачем 19 встановлена фонова діафрагма 18.

Розсіяне випромінювання попадає на фотоприймач 19, на виході якого утворюється електричний сигнал, який має постійну та змінну складові.

Змінна доплерівська складова вихідного сигналу фотоприймача 19 пропорційна V_x компоненті вектора швидкості потоку. На рис. 4. представлена

геометрія лазерних та розсіяних променів у схемі ЛДВШ диференціального типу.

На рис. 4 зображені: $\overline{K_1}$, $\overline{K_2}$ - хвильові вектори лазерних променів, що направляються в зону вимірювання 13; $\overline{K_s}$ -хвильовий вектор різниці векторів $\overline{K_s} = \overline{K_1} - \overline{K_2}$; $|\overline{K_s}| \approx |\overline{K_1}| \approx |\overline{K_2}| = \frac{2\pi}{\lambda_0}$

Частота доплерівського сигналу на виході фотоприймача буде дорівнювати:

$$f_{\text{ду}} = \frac{2n_c |\vec{V}|}{\lambda_0} * \cos\beta * \sin\gamma / 2,$$

де: n_c - показник заломлення середовища, потоку що досліджується; λ_0 - довжина хвилі лазерного променя у вакуумі; β - кут між вектором швидкості та різницеvim вектором $\overline{K_s} = \overline{K_1} - \overline{K_2}$; γ - кут між лазерними променями, що об'єктивом 12 направляються в зону вимірювання 13.

Відповідно до цифрових сигналів, що подаються на ключі 28 та 30, ключ 28 закритий, а ключ 30 відкритий.

Тому вихідний сигнал фотоприймача 19 надходить на вимірювач частоти доплерівського сигналу 29, за допомогою якого визначається значення V_x складової вектора швидкості \vec{V} .

У наступному підциклі роботи ЛДВШ на виході генератора оптичні затвори 9 і 11 закриті, а затвор 10 відкритий. Тому промінь 6 проходить область вимірювання 13, об'єктив 16 та відбивається від дзеркала 17. Відбитий від дзеркала 17 промінь також направляється в зону вимірювання 13. Таким чином в область вимірювання направляються два зустрічних лазерних промені.

В цьому під циклі вимірювання реалізована схема ЛДВШ на зустрічних променях.

Мікрочастинки, які рухаються разом з потоком рідини або газу, розсіюють лазерне випромінювання. Це розсіяне випромінювання 14 збирається об'єктивом 16 в межах апертурної діафрагми 15 та направляється на фотоприймач 19. Для зменшення завад, що виникають під дією стороннього фонового випромінювання перед фотоприймачем 21 встановлена діафрагма 20.

Змінна, доплерівська складова вихідного сигналу фотоприймача 21, пропорційна V_z компоненті вектора швидкості та дорівнює:

$$f_{\text{ду}} = \frac{2n_c |\bar{V}|}{\lambda_0} * \cos \alpha$$

де: n_c - показник заломлення середовища, потоку, що досліджується; λ_0 - довжина хвилі лазерного променя у вакуумі; α - кут між вектором швидкості та лазерним променем 6.

Відповідно до цифрових сигналів, що подаються на ключі 28 та 30, ключ 28 закритий, а ключ 30 відкритий. Тому вихідний сигнал фотоприймача 19 надходить на вимірювач частоти доплерівського сигналу 29, за допомогою якого визначається значення V_z складової вектора швидкості потоку V .

На цьому цикл роботи ЛДВШ закінчується. Через інтервал часу T (рис. 2) починається новий цикл роботи ЛДВШ.

Трикомпонентний ЛДВШ, що пропонується, може знайти застосування під час дослідження характеру течії у різного типу гідравлічних систем, а також під час дослідження моделей літальних апаратів та їх елементів у аеродинамічних трубах

3.5 Формула корисної моделі

Лазерний трикомпонентний доплерівський вимірювач швидкості, який складається з оптично узгодженого лазера, розщеплювача лазерного променя на три промені, фокусуючого та збираючого об'єктивів, апертурної та фонової діафрагми, трьох оптичних затворів, до яких підключений генератор імпульсів, фотоприймача та вимірювача доплерівської частоти, який відрізняється тим, що в ньому додатково встановлені апертурна діафрагма та фонові діафрагми, об'єктив, три дзеркала, одне з яких напівпрозоре, два електричних ключі та фотоприймач.

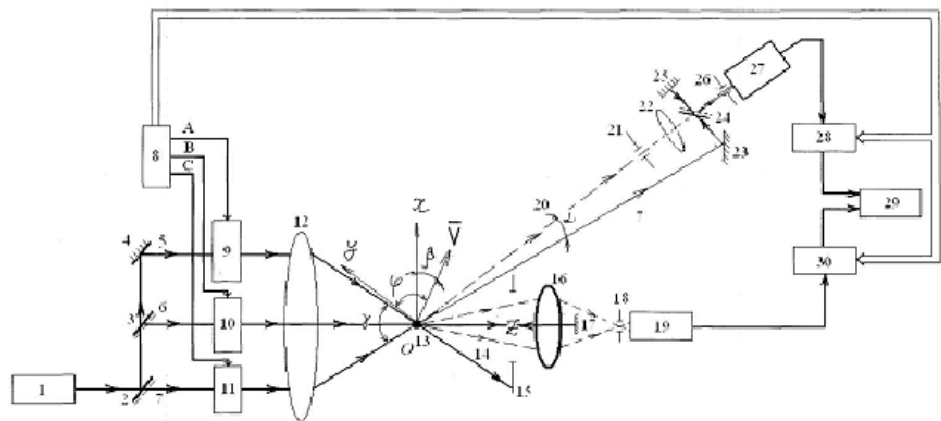


Рис.1

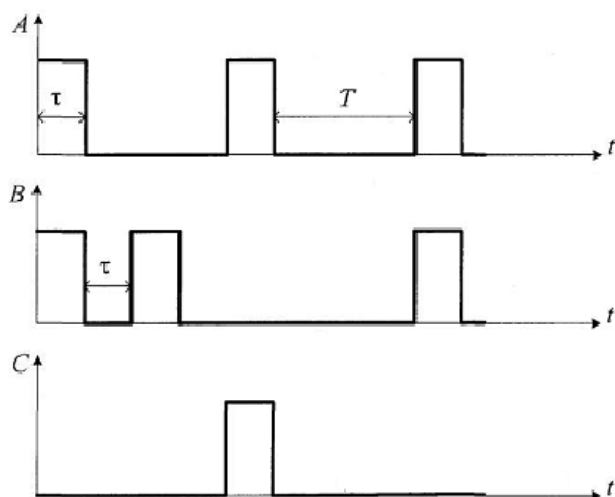


Рис.2

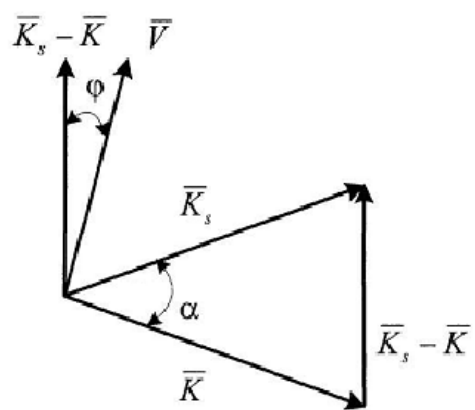


Рис.3

РОЗДІЛ 4

ОХОРОНА ПРАЦІ

4.1. Положення про охорону праці

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

Охорона праці спирається державні законодавчі акти. Загальними законами України, що визначають основні положення щодо охорони праці і спираються на Конституцію України, Закон України “Про охорону праці”, Кодекс законів про працю, Закон України “Про пожежну безпеку”, Закон України “Про забезпечення санітарного та епідемічного благополуччя населення”, Закон України “Про загальнообов’язкове державне соціальне страхування від нещасного випадку на виробництві які сприяли втраті працездатності” та підзаконні акти щодо охорони праці.

Згідно статті 8 Конституції України - головним правовим документом України є Конституція України. Конституція України має найбільшу юридичну силу. Закони і інші нормативно-правові акти приймаються на основі Конституції України і повинні відповідати їй. На підставі Конституції України прийнятий Закон України “про охорону праці”.

| | | | | | | | |
|------------------|-----------------|--|--|---------------------|----------------|------|---------|
| Кафедра авіоніки | | | | НАУ 20 04 16 000 ПЗ | | | |
| Виконав | Коваль Д.А. | | | ОХОРОНА ПРАЦІ | Літ. | Арк. | Акрушів |
| Керівник | Землянський В.М | | | | | 44 | 72 |
| Консульт. | | | | | 173 «Авіоніка» | | |
| Н-контр. | Левківський В.В | | | | | | |
| Зав. каф. | Павлова С.В. | | | | | | |

Козлімкін О.О.

Охорона праці - це система правових, соціально-економічних, організаційно-технічних заходів, а так само санітарно-гігієнічних і лікувально-профілактичних засобів, направлених на збереження здоров'я і працездатності людини в процесі праці. (згідно закону України "про охорону праці" ст.1)

Згідно ст.2. закону «про охорону праці» дія Закону "про охорону праці" розповсюджується на всі підприємства, організації і установи не залежно від форми власності і видів їх діяльності, на всіх громадян, які працюють, а також привернуті до праці на цих підприємствах.

Згідно ст 4. Закона України «про охороні праці» державна політика в області охорони праці визначається відповідно Конституції України Верховною Радою України і направлена на створення належних, безпечних і здорових умов трудової діяльності, запобігання нещасним випадкам і професійним захворюванням.

За не дотримання законів і інших нормативно-правових актів про охорону праці, перешкоджанні роботі посадовчих органів державного нагляду за охороною праці, а також представників профспілок, їх організацій і об'єднань звинувачені особи притягуються до кримінальної, дисциплінарної, адміністративної, матеріальної, відповідальності згідно закону (ст. 44 Закону "про охорону праці").

4.2 Охорона праці, техніка безпеки і небезпечні виробничі фактори при виробництві лазерних приладів

Охорона праці і техніка безпеки і небезпечні виробничі фактори при виробництві лазерних приладів і в інших процесах електронних виробництв насамперед включають наступне:

- вплив матеріалів, що виділяються під час технологічної обробки або при механічних операціях;
- вплив небезпечних хімічних речовин, що використовуються в процесах, включаючи металеві порошки;
- фізичні небезпечні чинники і вплив енергетичних небезпечних факторів (кінетичних, електричних, пневматичних і гідравлічних);
- вплив іонізуючих і неіонізуючих випромінювань і випромінювання лазера.

Крем'яні підкладки напівпровідникових приладів (з діоксиду кремнію) не є токсичними, проте пил, що утворюється при їх виробництві та використанні, може бути небезпечною.

Підкладки з GaAs і фосфіду індію (InP) чинять сильніший вплив на стан здоров'я, а також більш сильні фізичні впливу.

Найпростіший шлях потрапляння GaAs і InP в організм людини - це вдихання відповідних твердих частинок.

Через високу токсичність миш'яку і індію обидва цих речовини мають низькі гранично допустимі концентрації на робочому

місці. InP є легкозаймистою речовиною, він може вступати в реакцію з водяною парою і кислотами, утворюючи фосфін - токсичний, легкозаймистий становить небезпеку при шліфовці, різанні і полірування.

Для запобігання цих небезпек і їх контролю використовують організаційні і технічні заходи з охорони працівників. Зазвичай використовуються такі запобіжні заходи:

- застосування місцевої витяжної вентиляції при шліфовці і мокрому поліруванні. Ці операції повинні виконуватися у вологому стані, а залишки повинні ретельно змиватися. Слід уникати сухої шліфовки або поліровки GaAs;
- при всіх процесах обробки їх підкладок, включаючи операції різання, шліфування, полірування і травлення, повинні використовуватися витяжка і вентиляція;
- необхідно періодично чистити одяг, щоб запобігти її забруднення, слід заохочувати використання належної практики виробничої гігієни;
- слід ретельно уникати перегріву і можливого контакту з сильними кислотними відновлювачами, тому що в цих випадках можливе утворення дуже токсичних газів - арсину або фосфіну;
- вихідна сировина для отримання арсину і фосфіну має зберігатися в контейнерах при зниженому тиску.

Небезпечні хімічні речовини, що використовуються в технологічних процесах

В процесі виробництва напівпровідникових приладів та електронної апаратури можуть використовуватися різні потенційно небезпечні хімічні речовини. При виробництві пасивних компонентів і магнітних приладів також можуть

використовуватися металеві порошки. Необхідно розробити і реалізувати спеціальні програми хімічного захисту від даного матеріалу. Робітник повинен бути захищений від впливу при роботі з хімічними речовинами, включаючи, крім іншого, такі речовини: кислоти, підстави, розчинники, металеві порошки та містящий метали осад, а також токсичні, криогенні і легкозаймисті гази. Додаткові спеціальні рекомендації для даної галузі промисловості включають:

- заміну небезпечних речовин, таких як ефіри етиленгліколю, менш небезпечними матеріалами при виробництві напівпровідникових приладів;
- якщо силан (SiH_4) або інші потенційно небезпечні гази (наприклад, HF або H_2) використовуються при виробництві лазерних приладів, то необхідно встановити комплексні системи аварійної сигналізації, які мають систему газосигналізаторів і пристрої аварійної сигналізації, налаштовані на загальні або галузеві гранично допустимі концентрації газів;
- використання ізольованих автоматизованих виробничих систем для запобігання впливу на працівників, якщо заміна небезпечного хімічного реактиву неможлива при виробництві лазерних приладів;
- в приміщеннях, де здійснюється виробництво лазерних приладів, повинні застосовуватися витяжні та вентиляційні системи для видалення знаходяться в повітрі частинок речовин з робочої ділянки.

Фізичні та енергетичні небезпечні чинники

Фізичні небезпечні чинники, потенційно присутні при виробництві лазерних приладів та електронної апаратури, включають переміщення важких об'єктів і готових упакованих

продуктів, а також роботу поблизу автоматизованого обладнання. Загальні рекомендації для запобігання і управління фізичними та енергетичними небезпечними чинниками (включаючи кінетичні, електричні, пневматичні і гідравлічні) на робочому місці представлені в Загальному керівництві по охороні праці.

Іонізуючі і неіонізуючі випромінювання і лазери

Виробничий процес може включати використання джерел іонізуючого випромінювання здійснюватиме, таких як рентгенівські промені, гамма-промені, альфа- і бета-частинки, які мають коротку довжину хвилі і володіють великою енергією. Потенційні типи неіонізуючого випромінювання у виробничому процесі можуть включати радіочастотне випромінювання (використовується в обладнанні для створення плазми), ультрафіолетове випромінювання, інфрачервоне випромінювання і видиме світло. Неіонізуюче випромінювання може створюватися деякими типами нагрівачів високої потужності, випробувальної апаратури і антенами, розрахованими на високий рівень потужності.

Лазери класифікуються за здатністю завдати шкоди очам або шкірі. Якщо направити випромінювання лазера або його відображення на об'єкт, то воно може частково поглинатися, підвищувати температуру і викликати зміни в опромінюється матеріалі.

Для запобігання негативного впливу джерел випромінювання слід використовувати захисні корпусу і пристрої блокування устаткування, мають джерела випромінювання, а також проінформувати працівників про важливість використання цих корпусів і пристроїв блокування і навчити роботі з ними.

Додаткова інформація про вплив радіації представлена в загальному керівництві по охороні праці.

Для запобігання небезпеки використання лазерів необхідно використовувати системи інженерного контролю, наприклад захисний кожух з блокуванням, встановити захисні фільтри і блокування системи.

4.3 Охорона здоров'я та забезпечення безпеки місцевого населення

Заходи з охорони здоров'я місцевого населення і вплив на безпеку під час експлуатації, будівництва та виведення з експлуатації заводів з виробництва лазерних приладів та іншої електронної апаратури аналогічні заходам, що вживаються щодо більшої частини промислових підприємств, і обговорюються в загальному керівництві по охороні праці.

4.4 Охорона праці і техніка безпеки

Вказівки з охорони праці та техніки безпеки

Дотримання норм охорони праці і техніки безпеки слід оцінювати на підставі опублікованих міжнародних рекомендацій за показниками впливу шкідливих виробничих факторів, прикладами яких є, зокрема, вказівки по граничним граничних значень (TLV®) впливу на робочому місці і показниками біологічного впливу (BEIS®), публікуються Американської конференцією державних фахівців з гігієни праці (ACGIH), Кишеньковий довідник за джерелами хімічної небезпеки, що публікується Національним інститутом гігієни і

охорони праці (NIOSH) Сполучених Штатів Америки, показники допустимих рівнів впливу (PELs), що публікуються управлінням охорони праці (OSHA) Сполучених Штатів Америки, індикативні показники гранично допустимої концентрації в повітрі робочої зони, що публікуються країнами - членами Європейського союзу або дані з інших аналогічних джерел.

Показники травматизму і частота нещасних випадків зі смертельними наслідками

Виконавцям проектів слід прагнути до повного викорінення нещасних випадків на виробництві за участю зайнятих у проекті працівників (найнятих безпосередньо виконавцями проекту або субпідрядниками), особливо нещасних випадків, здатних привести до втрати робочого часу, інвалідності різного ступеня тяжкості або навіть смертельного результату.

Показники частоти нещасних випадків на об'єкті можна зіставляти з опублікованими показниками підприємств даної галузі в розвинених країнах, які можна отримати з таких джерел, як, наприклад, Бюро трудової статистики США і Інспекція промислової гігієни та охорони праці Сполученого Королівства.

Моніторинг дотримання норм охорони праці і техніки безпеки
Слід вести моніторинг робочого середовища на наявність шкідливих виробничих факторів, характерних для

даного проекту. Процес моніторингу повинні розробляти і здійснювати уповноважені фахівці в рамках програми моніторингу дотримання норм охорони праці і техніки безпеки. Підприємствам слід також вести журнали обліку випадків виробничого травматизму і професійних захворювань, а також

небезпечних пригод і нещасних випадків. Додаткові вказівки за програмами моніторингу дотримання норм охорони праці і техніки безпеки містяться в загальних керівництвах по охороні праці.

РОЗДІЛ 5

ОХОРОНА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

5.1. Загальні відомості про охорону навколишнього середовища

Закон України «Про охорону навколишнього природного середовища» - це закон України, що унормовує економічні, правові, соціальні основи організації охорони природи навколишнього середовища для блага нинішнього та майбутніх поколінь...

Одне з головних завдань закону про охорону навколишнього природного середовища є врегулювання відносин у галузі охорони та використання природних ресурсів, дотримання екологічної безпеки, уникання негативного впливу господарської та інших діяльностей на навколишнє природне середовище, підтримування природних ресурсів, ландшафтів та різноманітних природних угідь, унікальних місць пов'язаних з історичною та культурною спадщиною України.

Вивчення впливу науково-технічного прогресу на біосферу є однією з головних проблем. Головною метою сучасності в пізнанні впливу на навколишню біосферу науково-технічного прогресу – це захист і покращення навколишнього середовища для подальшого життєзабезпечення теперішнього і майбутнього поколінь.

Заходами бля збереження навколишнього середовищами є:

Зменшення та обмеження різноманітних викидів в атмосферу та гідросферу насамперед сміття та газів; заснування, створення та підтримання природних комплексів, заповідників, національних парків, лісів; введення заборон та обмежень на полювання, рибальство з метою

збереження вимираючих та певних видів тварин, а також живих організмів і все, що входить в живу та неживу природу.

Фролов В.Ф.

5.2. Аналіз факторів техногенних чинників які впливають на клімат

Дані від екологічних і гідрометеорологічних служб станом на 2020 рік вказують на стрімке зростання економічних та екологічних несталих в економічній та соціальній сфері даних про всесвітнє забруднення навколишнього середовища, глобального потепління та загальної зміни клімату. Забруднення навколишнього середовища виникає внаслідок потрапляння парникових газів, таких як вуглекислий газ, метан, озон, хлорфторвуглеводні та оксид азоту, вони затримують тепло та розсіюють випромінювання сонця. Внаслідок чого виникає підвищення температури, яке згодом викличе глобальне потепління, що пагубно впливатиме на клімат. Це в свою чергу порушуватиме баланс життєдіяльності екосистем, призведе до їх зникнення. Буде супроводжуватися нескінченною кількістю техногенних катастроф, а також стихійних лих, що призведуть до масштабних економічних збитків.

Наслідками масштабної зміни клімату в нашій країні є збільшення середньорічної температури як взимку, так і влітку. Середньодобова температура в зимовий період становить $-1 -2^{\circ}\text{C}$, середньорічна температура піднялась на $0,8^{\circ}\text{C}$, що призвело до температурних коливань у вигляді повеней, перетворення степів на пустелі, затоплення прибережних частин окремих регіонів та нестачі питної води в деяких регіонах України.

Зміна кліматичного широтного поля на території України призводить до нівелювання поля середньомісячної температури поверхні. Протягом місяців, що відзначались відносно високими температурами, вона не

змінювалась і була відносно низькою - підвищувалася. Головною особливістю континентальності клімату є амплітуда сезонного ходу поверхневої температури. Аналіз інструментальних метеорологічних спостережень показав, що амплітуда сезонного ходу поверхневої температури повітря знизилася приблизно на $0,4^{\circ}\text{C}$, а середньомісячна норма амплітуди температури, становила близько 12°C , що характеризує деконтенталізацію клімату. Це визначає особливості циркуляції атмосфери, що призводить до різкого і загального зменшення середньорічної інтенсивності опадів. Одним з головних рушіїв таких кліматичних змін є значне збільшення викидів парникових газів штучного походження. За останні два роки на енергетичний сектор припадало майже 69% загальних викидів парникових газів. Далі - 22% загальних викидів парникових газів - сектор промислових технологій. Внесок сектору відходів у 2015-2016 рр. Складає в середньому 2,3%.

На основі прогнозу паливного балансу країни, який відображений в енергетичній стратегії, буде визначена загальна динаміка викидів парникових газів, і до 2030 року Україна не перевищить викидів 1990 року за будь-яким сценарієм економічного розвитку. У перший період відповідальності (2017-2018), згідно базового сценарію, річні викиди становитимуть між 48-54% базових річних викидів. Згідно з дослідженням, коливання глобального потепління від 1-2 градусів майже дорівнюють річній кількості опадів, що може бути сприятливим для української економіки. Тому щорічні опади зменшаться на 10-15% на південному сході та на 5-10% на північному заході. Отже, можна взяти до уваги, що антропогенні компоненти градусів зміни клімату визначаються енергоємними технологіями, що створюють парниковий ефект і погіршують якість навколишнього середовища. Тому існує потреба у створенні екологічно чистих енергозберігаючих технологій. Першочергово у вирішенні питання підвищення екологічності енергоємних підприємств, що займаються твердим паливом та

енерговиробництвом, є створення інтегрованої схеми виробництва та розвитку ресурсно-товарної технології на основі моделі прогнозування енергоресурсів та енергоспоживання.

Для того, щоб визначити загальний потік забруднень, необхідно визначити кількість речовини, яка належить до основної стадії виробництва та реалізації продукту.

5.3 Характерні для галузі види несприятливого впливу і боротьба з ними

У цьому розділі наводиться огляд проблем охорони навколишнього середовища, пов'язаних з об'єктами з виробництва лазерів та інших комплектуючі, які виникають на етапах виробництва та експлуатації, а також рекомендації щодо їх вирішення. Рекомендації щодо вирішення проблем охорони навколишнього середовища, характерних для більшості підприємств.

Охорона навколишнього середовища

Проблеми впливу на навколишнє середовище при здійсненні проектів з виробництва лазерних приладів та інших комплектуючих насамперед включають таке:

- використання небезпечних матеріалів і збір та поводження з відходами;
- атмосферні викиди;
- стічні води;
- використання енергії;
- зміни загальних технологічних процесів.

Небезпечні матеріали та відходи

Майже всі технологічні процеси в ході виробництва лазерів та інших комплектуючих пов'язані з утворенням небезпечних або потенційно небезпечних відходів, таких як відпрацьована деінізована вода (що містить неорганічну кислоту), відпрацьовані розчинники і проявники (наприклад, ізопарафіновані вуглеводи), відпрацьовані миючі розчини, шлами, утворилися при очищенні стічних вод, відпрацьовані епоксидні матеріали (при виробництві друкованих плат [ДП] і при виробництві лазерних приладів), відпрацьовані розчини ціанідів (гальванічні покриття), залишки флюсу для паяння та залишки металів (монтаж друкованих плат [МДП]).

модифікації і заміну технологічних процесів, які перераховані нижче:

- удосконалення технологій або заміна обладнання,

включаючи:

- о відновлення гальванічних ванн шляхом фільтрації через, активоване вугілля для видалення накопичених органічних забруднювачів, що знижує кількість підлягають видаленню гальванічних ванн і зменшує потребу в нових хімічних речовин;

- о використання автоматизованих систем газових камер для управління неорганізованими викидами газів з газових балонів, особливо під час їх заміни;

- о використання заміників свинцевих припоїв, наприклад сплавів на основі олова і інших що не містять свинець припоїв;

- заміну або припинення використання сировини, наприклад заміна ціанідних розчинів для нанесення покриття (для електролітичного золочення при виробництві друкованих плат) кислими сульфатами міді і сульфитом золота і нанесення нікелевих покриттів методом хімічного відновлення; заміну

гальванічних ванн з шестивалентного хромом гальванічними ваннами з тривалентним хромом (при виробництві друкованих плат, хоча використання хромових ванн вважається застарілим способом);

- виділення, поділ та підготовку небезпечних речовин і відходів, наприклад виділення з осаду стічних вод металевих забруднювачів, що сприяє рекуперації відходів; зберігання використовуваних для металізації хімічних речовин окремо від несумісних з ними речовин, наприклад зберігання ціанідів окремо від кислот і зберігання окислювачів окремо від займистих речовин;

- відновлення і повторне використання металів, перш за все в секторах виробництва напівпровідникових приладів і монтажу друкованих плат, наприклад відновлення міді і дорогоцінних металів за допомогою електролітичної технології; видалення і відновлення міді та олова з друкованих плат шляхом електролізу і хімічного осадження; відновлення миш'яку і галію шляхом обробки відходів арсеніду галію (GaAs) (використовуючи теплове поділ твердих відходів арсеніду галію і відновлення з відходів від полірування GaAs);

- скорочення викидів сульфонатів перфтороктана (PFOS) при виробництві лазерів шляхом припинення некритичних видів використання речовин на основі PFOS, таких як деякі суміші для травлення, для яких є заміна. Коли для критичних видів застосування PFOS немає ніяких альтернатив заміни, таких як технології з застосуванням хвиль меншої довжини, використовуваних при виробництві лазерних приладів, слід вести контроль поводження з відходами, особливо в разі спалювання.

Звернення з небезпечними матеріалами обговорюється в Загальному керівництві по охороні навколишнього середовища.

Спеціальні заходи для цієї галузі промисловості включають таке:

- необхідно регулярно перевіряти місця зберігання використовуваних хімічних речовин з метою виявлення їх можливих витоків;
- в підземних трубопроводах необхідно використовувати подвійні труби і засоби виявлення витоків з внутрішньої труби;
- трубопроводи, по яких подаються небезпечні матеріали, повинні бути виготовлені з сумісних матеріалів, вони повинні бути досить міцно закріплені, чітко позначені, мати високоякісні з'єднання. Трубопровід повинен бути сконструйований так, щоб забезпечити злив в нижніх точках, мати вентиля у верхніх точках і ізолюючі клапани максимум через кожні 30 метрів;
- необхідно використовувати піддони для збору пролитих і розсипаних відходів.

Поводження з твердими і небезпечними відходами розглядається в Загальному керівництві по охороні навколишнього середовища. В цьому розділі розглядаються всі відходи, що володіють небезпечними властивостями (серед інших такі речовини, як відпрацьована деінізована вода, відпрацьовані розчинники, відпрацьовані очищаючі розчини, шлами, отримані в процесі очищення стічних вод, відпрацьовані епоксидні матеріали і відпрацьовані розчини ціанідів); вони повинні бути чітко марковані, повинні зберігатися окремо від загальних відходів в хімічно стійкою герметичній тарі в спеціальних зонах зберігання. Безпечне

зберігання і герметизація є важливими факторами через високу хімічну активність і токсичність промислових відходів і побічних продуктів, про що йдеться в наступному розділі, присвяченому охорони праці та техніки безпеки.

Атмосферні викиди

Найбільшу тривогу викликають викиди, які утворюються в секторі виробництва лазерних приладів та електронної апаратури, які містять парникові гази, токсичні, хімічно активні і призводять до корозії речовини (наприклад, пари кислот, легуючі домішки, що чистять гази і летючі органічні сполуки [ЛОС]), які утворюються в ході процесів дифузії, очищення і травлення.

Існують три типи систем, які використовуються для зменшення викидів токсичних і небезпечних газів:

- системи для очищення на місці використання (ОМВ) відносно невеликі за розміром, зазвичай вони вузько спеціалізовані для певного технологічного інструменту. Ці системи здатні видаляти до 99,99% газів, що відходять. Наприклад, скруббер для ОМВ може знизити вміст арсину до менш ніж 50 частин на мільярд. Для очищення на місці газоподібних забруднювачів та забруднювачів, що містять тверді частинки, використовується шість основних видів технологій (включаючи очистку від перфторвуглеродів (ПФВ)):

- о мокра очистка в скруббері при виробництві лазерних приладів, хоча спектр такого очищення обмежений. Крім того, мокрі скруббери використовуються для очищення кислотних газів і побічних продуктів, що виникають в результаті горіння / окислювальному очищення;

- о гарячі шари хімічних реактивів при виробництві лазерних приладів;

о спалювання або окислення з використанням паливних пальників або камер з електричним нагрівом, які часто використовуються разом з мокрими скрубберами (виробництво напівпровідникових приладів і МДП);

о плазмові реактори при виробництві напівпровідникових приладів, хоча вони мають обмежений спектр очищення і вимагають установки додаткового газоочисного устаткування;

о холодні адсорбери в секторі МПП;

о пастки, фільтри, циклони і пиловловлювачі в секторі МПП, використовувані для видалення твердих частинок і конденсації пари з потоку газів, що відходять;

- цехові системи, які мають набагато більші розміри і розміщуються поза цехом (виробництва напівпровідникових приладів) і які здатні обробляти великі потоки відходів з різних джерел;

- скрубери для аварійних викидів, придатні для обробки великих раптових викидів токсичних газів, зазвичай мають вузьку спеціалізацію і використовуються в системі витяжної вентиляції складів газових балонів. Скрубери для аварійних викидів використовуються для запобігання некерованих викидів. Однак більшість токсичних газів можна ліквідувати в спеціальних камерах, вміст яких очищають або викидають в атмосферу після ретельного контролю за рівнем концентрації газів, щоб гарантувати їх безпеку для здоров'я людей і навколишнього середовища.

Перфторвуглеці і інші парникові гази

Перфторвуглеці (ПФУ), які включають CF_4 , C_2F_6 і C_3F_8 , трьохфтористий азот (NF_3), HFC-23 (CHF_3) і гексафторид сірки (SF_6), використовуються при виробництві

напівпровідникових приладів в якості засобів для газів в системах хімічного газофазного осадження (ГФО), при плазмовому травленні і перш за все при виробництві тонкоплівкових транзисторів для екранів рідкокристалічних дисплеїв (TFT-LCD). Головна проблема захисту навколишнього середовища, пов'язана з ПФВ, - це їх високий потенціал викликати глобальне потепління (ППП), що обумовлено їх тривалим періодом перебування в атмосфері.

Методи зниження і регулювання викидів ПФВ включають

- оптимізацію технологічних процесів, особливо процесів ГФО;
- заміну хімічного реактиву, наприклад використання $\text{c-C}_4\text{F}_8$ або NF_3 як адекватного альтернативного засобу для чищення газу для камери замість C_2F_6 в модифікованій камері ГФО з метою зведення до мінімуму викидів в атмосферу;
- зменшення, методом дисоціації молекул в що не містять ПФВ побічні продукти, шляхом спалювання, каталітичного розкладання або з використанням плазмових систем розкладання (останній спосіб застосовується тільки до установок для травлення підкладок, діаметр яких не перевищує 200 мм). Технологію термічного розкладання можна застосовувати до процесів очищення камер і процесам травлення всередині цеху (застосування ОМІ) або в масштабі всього виробництва (очищення в місці викиду);
- уловлювання та повторне використання ПФВ в потоках газів, що відходять, проте цей процес вимагає вирішення складних технічних та економічних проблем;
- додаткова інформація з управління парниковими газами приведена в Загальному керівництві по охорони навколишнього середовища.

Кислотні пари

Потенційна емісія кислотних парів (головним чином парів соляної кислоти і плавикової кислоти) пов'язана зі наступними процесами, використовуваними в виробництві напівпровідників і в секторі МДП:

- операції очищення, травлення і видалення фоторезиста при виробництві напівпровідникових приладів;
- травлення, під час якого можуть виділятися пари хлориду водню;
- очищення, підготовка поверхні, травлення хлоридом міді і нанесення гальванічних покриттів при виробництві друкованих плат.

Аерозольні викиди сірчаної кислоти також пов'язані з обробкою плат сумішами при травленні кислотою.

Найбільш часто використовується суміш, яка містить сірчану кислоту і перекис водню.

Викиди парів кислот зменшуються при використанні горизонтальних (перехресно-потоківих) мокрих скрубєрів або вертикальних (протиточних) мокрих скрубєрів.

Заходи запобігання забрудненню також включають:

- використання хімічного агента, що знижує формування туману на поверхнях розчину ванни і використання змочуючих речовин (поверхнево-активних речовин);
- переробку сірчаної кислоти, використаної при виробництві напівпровідникових пластин шляхом нагрівання і дистиляції, щоб очистити потік парів кислот, який вловлюють і знову перекачують на мокрі ділянки;
- установку кришок на ванни для нанесення електролітичних покриттів і установку сітчастих туманоуловітелі.

Леткі органічні сполуки

Леткі органічні сполуки (ЛОС) використовуються перш за все при виробництві напівпровідникових приладів та в секторі МДП. ЛОС можуть виділятися в ході більшості процесів очищення і фотолітографії, під час сушіння, прояви фоторезиста і під час операцій з видалення фоторезиста. Зазвичай виділені ЛОС поглинаються в системах, що містять активоване вугілля, для полегшення рекуперації та / або обробки термічними окислювачами. Застосовуються наступні методи боротьби із забрудненням або додаткове очисне обладнання для обмеження викидів:

- регенеративні термічні окислювачі, застосування яких зазвичай доцільно, якщо об'ємна витрата витяжної системи перевищує приблизно 85 м³ в хвилину;
- цеолітові обертаються концентратори з рекуперативними термічними окислювачами, які використовуються для концентрації розбавлених потоків ЛОС перед подачею їх в пристрій знищення або рекуперації;
- адсорбція в нерухомому шарі активованого вугілля з видаленням пара для рекуперації ЛОС (повторне використання або повторне використання поза об'єктом);
- адсорбція в псевдозрідженому шарі активованого вугілля з гарячою десорбцією азоту і рекуперацією ЛОС (повторне використання на підприємстві або утилізація поза об'єктом);
- адсорбція в псевдозрідженому шарі полімерів з регенерацією гарячим азотом і рекуперацією ЛОС (якщо це доцільно) або з використанням рекуперативних термічних окислювачів.

Оксиди азоту

Як і в інших галузях промисловості, викиди NO_x при

виробництві лазерів містять побічні продукти процесів горіння. Ці побічні продукти утворюються в результаті роботи котлів систем підігріву, аварійних електрогенераторів і термічних окислювачів, які зменшують викиди ЛОС. Відповідне технології запобігання і контролю освіти викидів представлені в Загальному керівництві по охорони навколишнього середовища.

Пил

Процеси свердління і формування доріжок при виробництві друкованих плат призводять до утворення значної кількості пилу, в той час як виробництво напівпровідникових приладів і МПП не є джерелами значних обсягів пилу. Невеликі обсяги пилу утворюються в ході лазерного різання, підгонки, хіміко-механічного полірування і шліфування зворотній поверхні пластини при виробництві напівпровідникових приладів, а також при виробництві магнітних пристроїв і пасивних компонентів. Рекомендовані заходи контролю включають:

- водні системи осадження;
- зменшення забруднення за допомогою рукавних фільтрів або електростатичних пиловловлювачів.

Споживання енергії

Велике число термічних процесів і високо механізованої обробки напівпровідникових пластин при виробництві напівпровідникових приладів веде до споживання великих обсягів енергії, в зв'язку з чим необхідна оптимізація енергоспоживання. Слід використовувати спеціалізоване обладнання, яке поєднує поліпшені робочі характеристики і енергоефективність, наприклад:

- обладнання для обробки повітря, яке контролює вологість і температуру і дозволяє економити до 25% енергії;
- високоефективні холодильні камери;
- регенероване тепло від оснащених теплообмінниками конденсаторів води може дозволити сучасному промисловому об'єкту заощадити до 40% його потреб в енергії.

Розробка передових технологій скорочення викидів також призводить до створення нового обладнання, що забезпечує скорочення великих обсягів викидів і більш низьке споживання енергії.

Стічні води

Стічні води виробничих процесів

Відводяться стічні води можуть містити органічні і неорганічні сполуки, наприклад метали, кислоти і луги, ціаніди і зважені тверді частинки. Щоб звести до мінімуму споживання води і можливий вплив скидів, промивальну воду слід рекуперировать для повторного використання очищеної води в виробничому процесі.

Технологічні стоки можуть містити органічні сполуки, перш за все нехлорована розчинники (наприклад, резисти на основі пиррола, аміну, фтору або ефіру, ізопропиловий спирт і гідроксид тетраметиламонію), що використовуються на ряді етапів виробництва напівпровідникових приладів та МПП для очищення, сушіння фоторезиста, прояви та видалення фоторезиста; метали, використовувані в процесах металізації і хіміко-механічного полірування; кислоти і луги в складі відпрацьованих очищувальних розчинів, технологічних операцій, таких як травлення, очищення, металізація та т. д. ; ціаніди, які використовуються в процесі металізації, і зважені

тверді частинки залишків плівки і металеві частинки (отримані в процесах фотолітографії, металізації, шліфування зворотного боку підкладки і різання).

Очищення технологічних стоків

Так як в технологічних операціях при виробництві напівпровідникових приладів та електронної апаратури використовується широкий спектр сировини, хімічних речовин і процесів, обробка стічних вод може зажадати використання відповідних типових операцій. Технології обробки промислових стоків, які використовуються в даній галузі, включають i) виділення джерела сильно забруднених стоків і попереднє очищення потоків стічних вод, що містять високі концентрації не піддаються біохімічному розкладу сполук, використовуючи такі методи поділу фаз, як регенерація розчинника, отгонка повітрям, хімічне окислення, адсорбційні процеси і т. д. ; ii) зниження вмісту важких металів за допомогою хімічного осадження, коагуляції і флокуляції, електрохімічного відновлення, іонного обміну і т. д. ; iii) хімічне окислення ціанідів; і iv) зневоднення і видалення відходів очищення стоків на спеціальні полігони для небезпечних відходів. Можуть знадобитися додаткові заходи інженерного контролю для i) додаткового видалення металів за допомогою мембранної технології або інших фізико-хімічних методів обробки, ii) вилучення незлаговуючих органічних сполук і галогенсодержащих органічних речовин, використовуючи активоване вугілля або вдосконалене хімічне окислення, iii) зниження токсичності частково очищених стічних вод за допомогою відповідної технології (наприклад, зворотного осмосу, іонного обміну, активованого вугілля і т. д.) і iv) вловлювання летких органічних сполук, які ви

видалили з різних типових процесів в системі очищення стічних вод. Звернення з промисловими стічними водами і приклади технологій очищення обговорюються в Загальному керівництві по охороні навколишнього середовища. При використанні цих технологій і методів належної практики збору та очистки стічних вод промислових об'єктів повинні дотримуватися нормативів скидання стічних вод, наведені у відповідній таблиці в розділі 2 цього документа для даної галузі промисловості. Інші джерела стічних вод і споживання води

Рекомендації щодо поводження з незабрудненими стоками допоміжних установок, незабруднених зливових вод і господарсько-побутових стічних вод містяться в загальних керівництвах по охороні навколишнього середовища.

Забруднені потоки повинні направлятися в систему очищення для технологічних стоків. Рекомендації щодо зниження споживання води, особливо в тих випадках, коли обсяги цього природного ресурсу обмежені, надані в Загальному керівництві по охороні навколишнього середовища.

Виробництво друкованих плат (ДП)

Було розроблено кілька заходів для запобігання забрудненню в процесі виробництва друкованих плат.

Приклади вдосконалення процесів, при яких знижується негативний вплив на навколишнє середовище, включають:

- виробництво друкованих плат:

- використання технології поверхневого монтажу (ПМ) замість технології металізованих наскрізних отворів;

- лиття під тиском і адитивного електролітичного осадження;

- очищення і підготовку поверхні:

використання очищувачів, що не утворюють хелати,
підвищення терміну використання ванни,
підвищення ефективності промивання,
протivotічне очищення і переробка / повторне використання
розчинів для очищення і рідин для промивки;

- формування малюнка і маскування:

притаманні в водних розчинах фоторезисти,
трафаретний друк замість фотолітографії,
струменевий друк,
сухий фоторезист,
переробка / повторне використання установок для видалення
фоторезиста,
поділ потоків і витяг металів;

- гальванічне покриття і покриття методом хімічного
відновлення:

заміна на механічне виготовлення друкованої плати, ванн, які
не використовують ціаніди,
підвищення терміну служби ванни, переробка / повторне
використання очищувачів і промивок,
підвищення ефективності промивання,
промивання в протivotіках, виділення потоків і відновлення
металів;

- травлення:

використання диференціальної металізації,
нехелатоутворюючих травильних розчинів і бесхромових
травильних розчинів,
формування малюнка замість металевого покриття,

аддитивна технологія замість субтрактивного способу і повторне використання травильних розчинів;

- виділення металів шляхом регенеративного електрохімічного вилучення і іонно-обмінними технологіями призводить до майже нульового скидання стічних вод для окремих потоків, що містять метали. Важкі метали відновлюються у вигляді металевих пластин, при цьому їх зміст в осаді знижується на 95%. Містять метали опади, не оброблені з метою вилучення металів, підлягають захороненню на екологічно безпечних полігонах поховання твердих відходів.

Висновок

В сучасній авіації на літаках встановлюється багато різних вимірювальних пристроїв. Це робиться для того щоб люди мали досить інформації про політ та технічний стан повітряного судна.

В цьому дипломному проекті ми розглянули лазерні доплерівські вимірювачі швидкості різних конструкцій. Ці пристрої використовуються для виміру швидкості потоку рідин та газів.

Основним об'єктом дослідження став лазерний трикомпонентний вимірювач швидкості, основною перевагою над подібними приладами є можливість виміру трьох складових виміру вектора швидкості потоку.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Дивнич Микола Полікарпович, Дивнич Василь Миколайович «UA 70873 U» (МПК G01P3/36) «Лазерний трикомпонентний доплерівський вимірювач швидкості» НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ, 2012
2. <https://uapatents.com/6-111504-dvokhvilovijj-lazernijj-doplerivskijj-anemometr.html>
3. Ключев Г.И. «Авиационные приборы и системы. Учебное пособие. Ульяновск. Ул.ГТУ, 2000, с113»
4. Землянский В.М. «Измерение скорости потоков лазерным доплеровским методом» - К., Вища Школа, 1987. – 177с.
5. Алексей Левин., Квантовый светоч: История одного из самых важных изобретений XX века – лазера (1 Июня 2006)
6. Конспект лекцій з дисципліни: «Інформаційно-вимірювальні пристрої та системи авіоніки»
7. Конспект лекцій з дисципліни: «Оптичні пристрої та лазерна електроніка»
8. Раздорозный А. А. Охрана труда и производственная безопасность: Учебно-методическое пособие — Москва: Изд-во «Экзамен», 2005. — 512 с. (Серия «Документы и комментарии»)
9. 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.
10. 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.
11. European Bank for Reconstruction and Development, «Руководство по экологическим и социальным вопросам по отраслям», - «Производство полупроводников».

12. Australian National Pollutant Inventory. 1999. Emission Estimation Technique annual for the Electronics and Computer Industry. Queensland, Australia.
13. US EPA. 2001. Proposed Air Toxics Rule for Semiconductor Manufacturing. Fact Sheet. Washington, DC
14. German Federal Government. 2002. First General Administrative Regulation Pertaining the Federal Immission Control Act (Technical Instructions on Air Quality Control – TA Luft). Berlin, Germany.
15. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 2000. Good Practice and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories.
16. Semiconductor Industry Association. 2000. Occupational Health System 2000 Annual Survey of Work Injuries and Illnesses. San Jose, California.