



ДЕРЖАВНА СЛУЖБА
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ
УКРАЇНИ

УКРАЇНА

(19) UA

(11) 111533

(13) C2

(51) МПК

G01P 3/36 (2006.01)

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВІНАХІД

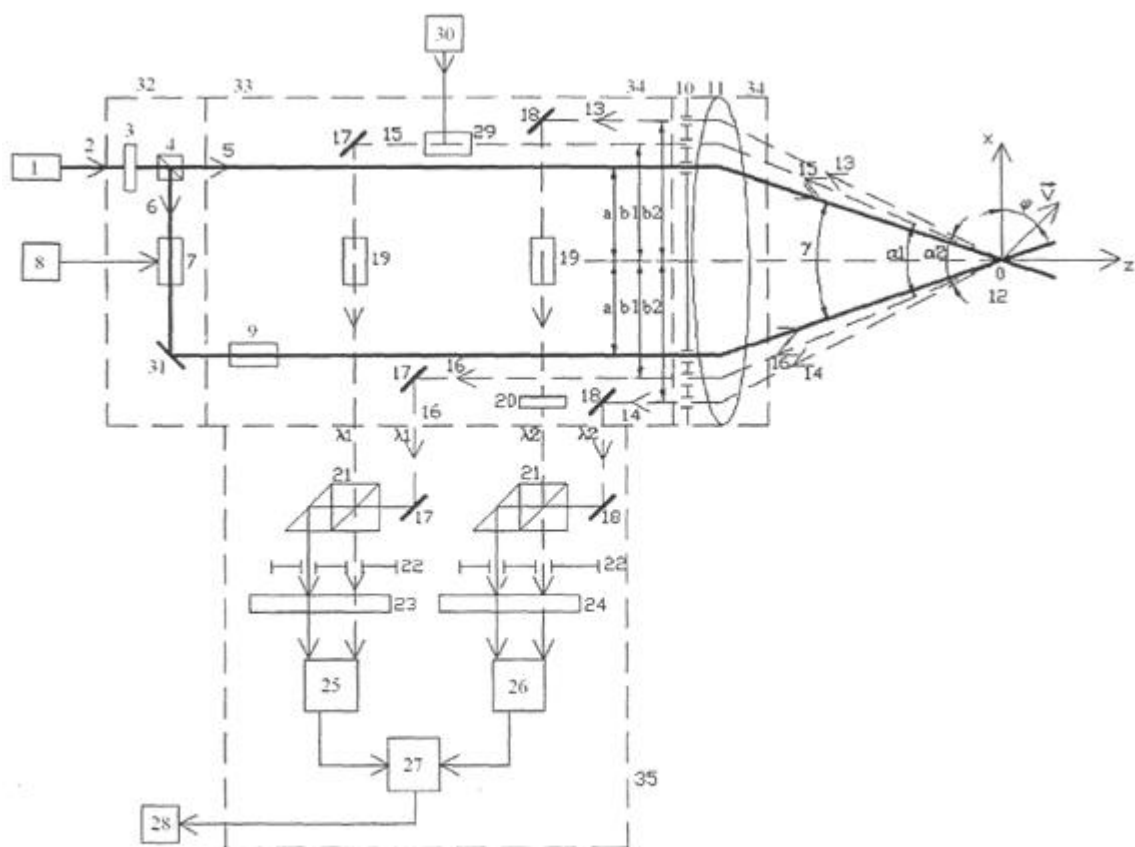
| | | | |
|---|---------------------|--|--|
| (21) Номер заявки: | а 2014 10959 | (72) Винахідник(и): | Землянський Володимир Михайлович (UA), Гусєв Михайло Олегович (UA), Хімін Віктор Михайлович (UA), Кудояр Павло Володимирович (UA) |
| (22) Дата подання заявки: | 07.10.2014 | (73) Власник(и): | НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ, пр. Комарова, 1, м. Київ, 03680 (UA) |
| (24) Дата, з якої є чинними права на винахід: | 10.05.2016 | (56) Перелік документів, взятих до уваги експертизою: | UA 99838 C2, 10.10.2012 US 4940330 A, 10.07.1990 US 4974960 A, 04.12.1990 US 3966324 A, 29.06.1976 UA 102646 C2, 25.07.2013 |
| (41) Публікація відомостей про заяву: | 11.04.2016, Бюл.№ 7 | | |
| (46) Публікація відомостей про видачу патенту: | 10.05.2016, Бюл.№ 9 | | |

(54) ДВОХВИЛЬОВИЙ ЛАЗЕРНИЙ ДОППЛЕРІВСЬКИЙ АНЕМОМЕТР

(57) Реферат:

Двохвильовий лазерний доплерівський анемометр складається з оптично узгоджених лазера, який випромінює на довжинах хвиль λ_1 і λ_2 , блока формування паралельних пучків, який включає смуговий світлофільтр, двухвильовий розщеплювач, пристрій зсуву частот з генератором високої частоти, дзеркало; оптичного пристрою часових затримок, який включає три лінії затримок, причому одна з них встановлена на шляху зонduючого пучка, фазорегулятора з блоком живлення, напівхвильову пластину, два селективних дзеркала; датчика, котрий включає фокусувальний об'єктив; приймального блока, який включає два селективних змішувачі, дві діафрагми з двома отворами, два інтерференційних світлофільтри відповідно на довжинах хвиль λ_1 і λ_2 , два фотоприймачі, диференційний підсилювач і вимірювач доплерівської частоти, причому виходи фотоприймачів через диференційний підсилювач з'єднані з вимірювачами доплерівської частоти. Додатково встановлена діафрагма з отворами, розміщеними симетрично відносно оптичної осі схеми в площині зонduючих пучків. Одна пара отворів з відстанню між ними $2a$ пропускає два зонduючих пучки. Друга пара отворів з відстанню між ними $2b_1$, пропускає два розсіяних пучки, що відповідають прийманню випромінювання на довжині хвилі λ_1 . Третя пара отворів, призначена для приймання випромінювання на довжині хвилі λ_2 , виконується з відстанню між ними $2b_2$. Винахід дозволяє підвищити чутливість при збереженні високого відношення сигнал/шум.

UA 111533 C2



Фиг. 1

Винахід належить до вимірювальної техніки і може бути використаний для вимірювання швидкості повітряного потоку чи газу.

Відомий лазерний доплерівський анемометр (ЛДА) [1], що включає лазер, фокусувальний об'єктив, апертурну діафрагму, змішувач, фотоприймач і вимірювач доплерівської частоти.

5 Проте відомий ЛДА має невисоку чутливість та відношення сигнал/шум при прийманні розсіяного назад випромінювання.

Найбільш близьким за технічним рішенням є ЛДА [2], який складається з: оптично узгодженого лазера, що випромінює на довжинах хвиль λ_1 і λ_2 ; блока формування паралельних пучків, котрий включає смуговий світлофільтр, двохвильовий розщеплювач, пристрій зсуву частоти і дзеркало; оптичного пристрою часових затримок, яке включає три лінії затримок, фазорегулятор, напівхвильову пластину, два селективних дзеркала; датчика, який включає фокусувальний об'єктив; приймального блока, який включає два селективних змішувачі, дві діафрагми з двома отворами, два інтерференційних світлофільтри, два фотоприймачі, диференційний підсилювач і вимірювач доплерівської частоти.

15 Відомий ЛДА має відносно низьку чутливість і тому не може бути використаний для точного вимірювання дуже малих швидкостей.

В основу винаходу поставлена задача підвищення чутливості схеми ЛДА при збереженні високого відношення сигнал/шум. Це досягається за рахунок встановлення апертурної діафрагми з трьома парами отворів, розташованих симетрично оптичній осі схеми ОЗ. При цьому параметри цієї діафрагми вибрані такими, що чутливість схеми ЛДА збільшується на порядок і більше.

Поставлена задача вирішується тим, що в двохвильовому лазерному доплерівському анемометрі, який складається з оптично узгодженого лазера, що випромінює на довжинах хвиль λ_1 і λ_2 ; блока формування паралельних пучків, який включає смуговий світлофільтр, двохвильовий розщеплювач, пристрій зсуву частот з генератором високої частоти, дзеркало; оптичного пристрою часових затримок, яке включає три лінії затримки, причому одна із них встановлена на шляху зонduючого пучка, фазорегулятора з блоком живлення, напівхвильову пластину, два селективних дзеркала; датчика, котрий включає два селективних змішувачі, дві діафрагми з двома отворами, два інтерференційних світлофільтри відповідно на довжинах хвиль λ_1 і λ_2 , два фотоприймачі, диференційний підсилювач і вимірювач доплерівської частоти, причому виходи фотоприймачів через диференційний підсилювач з'єднані з вимірювачами доплерівської частоти, додатково встановлена діафрагма з отворами, розташованими симетрично відносно оптичній осі схеми в площині зонduючих пучків, причому одна пара отворів з відстанню між ними $2a$ пропускає два зонduючих пучки, друга пара отворів з відстанню між ними $2b_1$, пропускає два розсіяних пучки, що відповідають прийманню випромінювання на довжині хвилі λ_1 , а третя пара отворів, призначена для приймання випромінювання на довжині хвилі λ_2 , виконується з відстанню між ними $2b_2$, котрі визначаються зі співвідношення:

$$b_2 = F \operatorname{tg} \left\{ \arcsin \left[\frac{\lambda_2}{\lambda_1} \sin \left(\operatorname{arctg} \frac{b_1}{F} \right) - \left(\frac{\lambda_1 - \lambda_2}{\lambda_1} \right) \sin \left(\operatorname{arctg} \frac{a}{F} \right) \right] \right\},$$

40 де F - фокусна відстань фокусувального об'єктива, крім того, ця діафрагма встановлена в фокальній площині об'єктива, а дві лінії затримок, встановлені на шляху розсіяних пучків, що відповідають довжинам хвиль λ_1 і λ_2 , а їх виходи узгоджені з першими входами двох селективних змішувачів, а другі входи цих змішувачів узгоджені з отворами апертурної діафрагми.

Двохвильовий лазерний доплерівський анемометр (ДЛДА) включає (креслення): лазер 1, що випромінює пучок 2, на двох потужних лініях випромінювання λ_1 і λ_2 , смуговий світлофільтр 3, що пропускає випромінювання на довжинах хвиль λ_1 і λ_2 , двохвильовий світлоподільник 4, який ділить пучок 2 на два пучки 5 і 6 рівної інтенсивності як на довжинах хвиль λ_1 , так і λ_2 , пристрій зсуву частот 7 з генератором високої частоти 8, лінії затримок 9, апертурну діафрагму 10 з шістьма круглими отворами, фокусувальний об'єктив 11, зону вимірювання 12, в якій два пучки 5 і 6 перетинаються в фокусі об'єктива 11 під кутом γ , розсіяні пучки 13, 14, 15 і 16, селективні дзеркала 17 для довжини хвилі λ_1 , селективні дзеркала 18 для довжини хвилі λ_2 , лінії затримок 19, напівхвильову пластину 20, двохвильові складені змішувачі 21 для довжин хвиль λ_1 і λ_2 , діафрагми 22 з двома отворами, фотоприймачі 25 і 26, диференційний підсилювач 27, вимірювач доплерівської частоти 28, фазорегулятор 29 з блоком живлення 30, дзеркало 31; а також блок формування двох паралельних пучків 32, який включає елементи і пристрої: 3, 4, 7 і 31; оптичний пристрій часових затримок 33, який включає відповідно: 9, 17, 18, 19, 20 і 29; датчик, що включає відповідно: 21, 22, 23, 25, 26 і 27.

ДЛДА працює наступним чином. Лазер 1 випромінює пучок 2 на двох довжинах хвиль λ_1 і λ_2 , який проходить світлофільтр 3 і ділиться світлоподільником 4 на два пучки 5 і 6 рівної потужності:

$$P_5 = P_6 = P_{\lambda_1} + P_{\lambda_2},$$

де P_{λ_i} - потужність випромінювання на довжинах хвиль λ_i ($i = 1, 2$).

Пучок 6 зміщується по частоті на фіксовану величину Ω_m пристроєм зсуву частоти 7 і потім, після віддзеркалення від зеркала 31, проходить лінію затримки 9 і далі поширюється, як і пучок 5, паралельно і симетрично відносно оптичної осі схеми OZ. Пучки 5 і 6, після проходження отворів діафрагми 10, фокусуються об'єктивом 11 в зоні вимірювання 12, в якій вони перетинаються під кутом γ (креслення). Пучки 5 і 6 мають узгоджені поляризації, однак в зоні вимірювання вони не інтерферують, так як пучки некогерентні через часову затримку пучка 6 на час $\tau_3 > \tau_{kl}$ (τ_{kl} - максимальний із двох часток когерентності випромінювання, відповідний довжині хвилі λ_i). При проходженні через зону вимірювання 12 рухомих зі швидкістю потоку \bar{V} мікрочасток, розсіяне назад випромінювання в напрямках 13, 14, 15 і 16, розташованих симетрично відносно осі схеми OZ, збирається об'єктивом 11 в межах малих отворів апертурної діафрагми 10, розміщеної в фокальній площині об'єктива 11.

Розсіяний пучок 15, після проходження фазорегулятора 29 і відбиття від селективного дзеркала 17 на довжині хвилі λ_1 і лінії затримок 19, далі прямує на перший вхід селективного змішувача 21 на довжині хвилі λ_1 . Розсіяний пучок 16 прямує на другий вхід цього змішувача 21. Час затримки пучка 16 τ_{λ_1} вибирається таким, щоб при оптичному змішуванні пучків 15 і 16 модуль комплексного ступеня часової когерентності $|\gamma_{\lambda_1}(\tau'_3)| = 1$. На виході змішувача 21 формуються два пучки, які після проходження діафрагми 22 і інтерференційного світлофільтра на довжині хвилі λ_1 , спрямовуються на фотоприймач 25. В результаті оптичного змішування двох розсіяних пучків на довжині хвилі λ_1 , на виході фотоприймача 25 формується високочастотний потужний доплерівський сигнал, на частоті, пропорційній проекції швидкості V_x :

$$\omega_{\lambda_1} = \Omega_m + \frac{8\pi}{\lambda_1} \left[\sin\left(\frac{\gamma + \alpha_1}{4}\right) \cos\left(\frac{\gamma - \alpha_1}{4}\right) \right] V_x, \quad (1)$$

де α_1 - кут між розсіяними пучками 15 і 16 (фіг. 1), а сигнали - завади автоматично приглушуються через відповідний прояв ефектів когерентності.

Розсіяний пучок 13, після відбиття від селективного дзеркала 18 на довжині хвилі λ_2 , проходить лінію затримок 19, напівхвильову пластину 20 на довжині хвилі λ_2 і далі прямує на перший вхід селективного змішувача 21 на довжині хвилі λ_2 . Розсіяний пучок 14 спрямовується на другий вхід цього змішувача 21. Час затримки цього пучка 14 τ_{λ_2} вибирається таким, щоб при оптичному змішуванні пучків 13 і 14 модуль комплексного ступеня часової когерентності $|\gamma_{\lambda_2}(\tau'_3)| = 1$. З виходу змішувача 21 розсіяні пучки прямують через діафрагму 22 і інтерференційний світлофільтр 24 на довжині хвилі λ_2 на вхід фотоприймача 26. В результаті оптичного змішування двох розсіяних пучків на довжині хвилі λ_2 , на виході фотоприймача 26 формується корисний доплерівський сигнал на частоті:

$$\omega_{\lambda_2} = \Omega_m + \frac{8\pi}{\lambda_2} \left[\sin\left(\frac{\gamma + \alpha_2}{4}\right) \cos\left(\frac{\gamma - \alpha_2}{4}\right) \right] V_x, \quad (2)$$

де α_2 - кут між розсіяними пучками 13 і 14 (фіг. 1), а сигнали - завади автоматично приглушуються через відповідний прояв ефектів когерентності.

Вихідні доплерівські сигнали (1) і (2) мають однакові частоти $\omega_{\lambda_1} = \omega_{\lambda_2}$, якщо геометрія зондування і приймання розсіяного випромінювання виконана у відповідності за умови:

$$b_2 = F \operatorname{tg} \left\{ \arcsin \left[\frac{\lambda_2}{\lambda_1} \sin \left(\arctg \frac{b_1}{F} \right) - \left(\frac{\lambda_1 - \lambda_2}{\lambda_1} \right) \sin \left(\arctg \frac{a}{F} \right) \right] \right\}, \quad (3)$$

де F - фокусна відстань об'єктива 11;

a - відстань від осі схеми OZ до зондуючих пучків 5 і 6;

b_1 - відстань від осі схеми OZ до розсіяних пучків 15 і 16 (фіг. 1);

b_2 - відстань від осі схеми OZ до розсіяних пучків 13 і 14; а також однакові фази за відповідного налаштування фази за допомогою фазорегулятора 29, а також за відсутності напівхвильової фазової пластини 20.

Якщо напівхвильова пластина 20 встановлена, то доплерівські сигнали (1) і (2) знаходяться в протифазі. Ці сигнали з виходів фотоприймачів 25 і 26 подаються на вхід диференційного підсилювача 27, на виході якого спостерігається приглушення низькочастотної складової сигналу фотоприймачів 25 і 26, а корисний доплерівський сигнал далі подається на вимірювач

5 доплерівської частоти 28, який видає інформацію про модуль та знак проекції швидкості V_x .
В розробленому ДЛДА забезпечується приглушення не тільки високочастотних завад, але і компенсація низькочастотної складової, сигналу - завади, що призводить до підвищення відношення сигнал/шум і точності вимірювання швидкості. Це досягається за рахунок двоканальної схеми приймання розсіяного випромінювання відповідно на довжинах хвиль λ_1 і λ_2

10 і такій геометрії зондування і приймання на довжинах хвиль λ_1 і λ_2 , за яких спостерігається приглушення завад на основі в рахування ефектів когерентності випромінювання, а також придушення низькочастотних завад на основі формування протифазних сигналів. ДЛДА відрізняється від прототипу високою чутливістю, котра дорівнює:

$$S_x \left[\frac{\Gamma_c}{M} \right] = \frac{4}{\lambda_1} \sin \left(\frac{\gamma + \alpha_2}{4} \right) \cos \left(\frac{\gamma - \alpha_2}{4} \right)$$

15 може бути більше на порядок і більше, ніж в прототипі. ДЛДА призначений для вимірювання дуже малих $V < \text{мм/с}$.

Література

1. Дубнищев Ю.Н., Ринкевичюс Б.С., Методы лазерной доплеровской анемометрии. - М. Наука, 1982, стр. 67-69.

20 2. Землянський В.М., Гусев М.О. Двоххвильовий лазерний доплерівський анемометр. Заявка на винахід, подана в Держпатент України від 16.04.14 а 201404090.

3. Землянський В.М. Измерение скорости потоков лазерным доплеровским методом. - К.: Вища школа, 1987. - 177 с.

25 ФОРМУЛА ВИНАХОДУ

Двоххвильовий лазерний доплерівський анемометр, що складається з оптично узгоджених лазера, який випромінює на довжинах хвиль λ_1 і λ_2 ; блока формування паралельних пучків, який включає смуговий світлофільтр, двуххвильовий розщеплювач, пристрій зсуву частот з генератором високої частоти, дзеркало; оптичного пристрою часових затримок, який включає

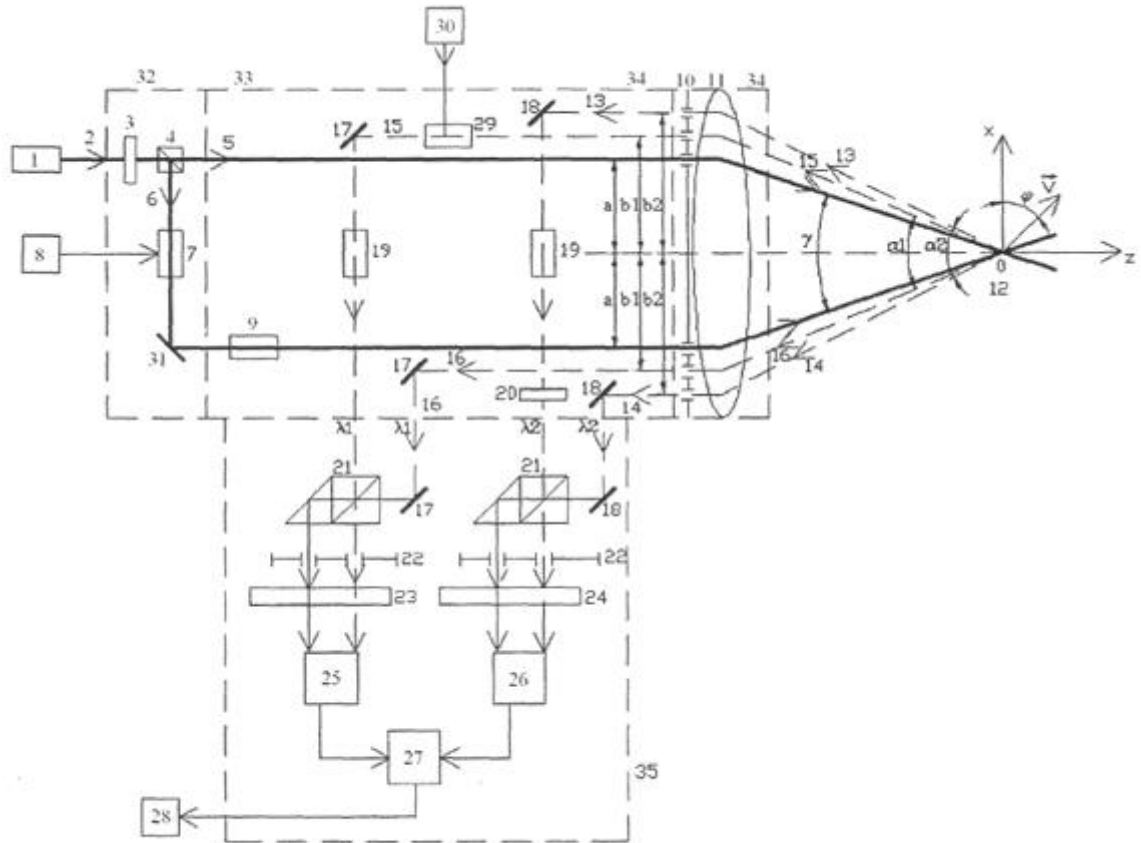
30 три лінії затримок, причому одна з них встановлена на шляху зондуемого пучка, фазорегулятора з блоком живлення, напівхвильову пластину, два селективних дзеркала; датчика, котрий включає фокусувальний об'єктив; приймального блока, який включає два селективних змішувачі, дві діафрагми з двома отворами, два інтерференційних світлофільтри

35 відповідно на довжинах хвиль λ_1 і λ_2 , два фотоприймачі, диференційний підсилювач і вимірювач доплерівської частоти, причому виходи фотоприймачів через диференційний підсилювач з'єднані з вимірювачами доплерівської частоти, який **відрізняється** тим, що в ньому додатково встановлена діафрагма з отворами, розміщеними симетрично відносно оптичної осі схеми в площині зондуемых пучків, причому одна пара отворів з відстанню між ними $2a$ пропускає два зондуемых пучки, друга пара отворів з відстанню між ними $2b_1$,

40 пропускає два розсіяних пучки, що відповідають прийманню випромінювання на довжині хвилі λ_1 , а третя пара отворів, призначена для приймання випромінювання на довжині хвилі λ_2 , виконується з відстанню між ними $2b_2$, які визначаються зі співвідношення:

$$b_2 = F \operatorname{tg} \left\{ \arcsin \left[\frac{\lambda_2}{\lambda_1} \sin \left(\arctg \frac{b_1}{F} \right) - \left(\frac{\lambda_1 - \lambda_2}{\lambda_1} \right) \sin \left(\arctg \frac{a}{F} \right) \right] \right\},$$

45 де F - фокусна відстань фокусувального об'єктива, крім того, ця діафрагма встановлена в фокальній площині об'єктива, а дві лінії затримок, встановлені на шляху розсіяних пучків, що відповідають довжинам хвиль λ_1 і λ_2 , при цьому їх виходи узгоджені з першими входами двох селективних змішувачів, а другі входи цих змішувачів узгоджені з отворами апертурної діафрагми.



Комп'ютерна верстка А. Крулевський

Державна служба інтелектуальної власності України, вул. Василя Липківського, 45, м. Київ, МСП, 03680, Україна

ДП "Український інститут інтелектуальної власності", вул. Глазунова, 1, м. Київ – 42, 01601