



УКРАЇНА

(19) UA

(11) 111504

(13) C2

(51) МПК

G01P 3/36 (2006.01)

G01P 5/01 (2006.01)

ДЕРЖАВНА СЛУЖБА
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ
УКРАЇНИ**(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВІНАХІД**

(21) Номер заявки: а 2014 04090

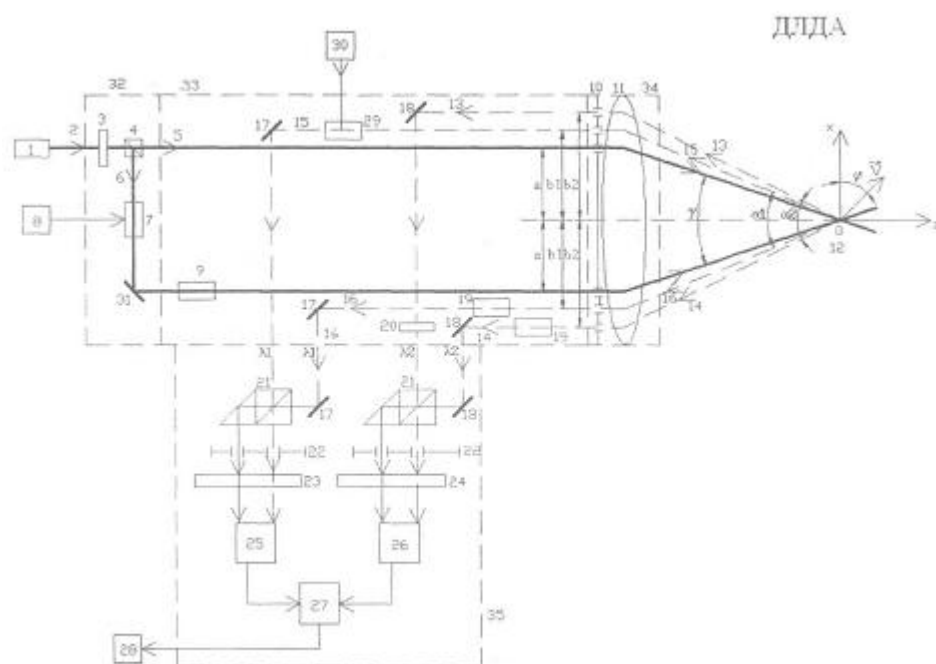
(22) Дата подання заявки: 16.04.2014

(24) Дата, з якої є чинними
права на винахід: 10.05.2016(41) Публікація відомостей
про заяву: 25.12.2015, Бюл.№ 24(46) Публікація відомостей
про видачу патенту: 10.05.2016, Бюл.№ 9(72) Винахідник(и):
Землянський Володимир Михайлович
(UA),
Гусєв Михайло Олегович (UA)(73) Власник(и):
НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ,
пр. Комарова, 1, м. Київ, 03680 (UA)(56) Перелік документів, взятих до уваги
експертизою:
UA a201111749, 10.08.2012
UA 41625 A, 17.09.2011
SU 1093978 A, 23.05.1984
US 3966324 A, 29.06.1976
US 4940330 A, 10.07.1990
GB 2073985 A, 21.10.1981
Землянський В.М. Измерение скорости
потоків лазерним доплеровским методом.
– К.: Вища школа, 1987, С.- 7-17
Дубнищев Ю.Н., Ринкевичюс Б.С. Методы
лазерной доплеровской анемометрии. – М.:
Наука, 1982, С.- 67-69**(54) ДВОХВИЛЬОВИЙ ЛАЗЕРНИЙ ДОПЛЕРІВСЬКИЙ АНЕМОМЕТР**

(57) Реферат:

Двохвильовий лазерний доплерівський анемометр (ДЛДА) складається з лазера на двох довжинах хвиль λ_1 і λ_2 , блока формування паралельних пучків, оптичного блока часових затримок, датчика та вимірювального двоканального блока з двома фотоприймачами, які через диференціальний підсилювач підключені до входу вимірювача доплерівської частоти. За допомогою запропонованого двохвильового лазерного анемометра досягається високе значення відношення сигнал/шум та забезпечується заглушення сигналів-перешкод.

UA 111504 C2



Фиг. 1

Винахід належить до вимірювальної техніки і може бути використаний для виміру великих швидкостей повітряних і газових потоків.

Відомий лазерний доплерівський анемометр (ЛДА) [1], що включає в себе лазер, фокусуючий об'єктив, апертурну діафрагму, змішувач, фотоприймач і вимірювач доплерівської частоти. Проте, відомий ЛДА має невисокі співвідношення сигнал/шум при прийомі розсіяного назад випромінювання.

Найбільш близьким технічним рішенням є ЛДА [2], що складається з оптично узгоджених лазера, випромінюючого на довжинах хвиль λ_1 і λ_2 , блока формування паралельних пучків, який включає двохвильовий розщеплювач, пристрій зсуву частоти, з підключенням до генератора високої частоти, дзеркало, оптичного пристрою часових затримок, який включає три лінії затримок, причому одна встановлена на шляху одного з зондуючих пучків, а два інші на шляху розсіяння пучків відповідно на довжинах хвиль λ_1 і λ_2 , а також фазорегулятора з блоком живлення на шляху одного із зондуючих пучків, двох селективних дзеркал відповідно на довжинах хвиль λ_1 і λ_2 ; датчика, який включає фокусуючий об'єктив; а також приймального блока, який включає фотоприймач та вимірювач доплерівської частоти.

Відомий ЛДА має недолік, який полягає в тому, що на виході фотоприймача, окрім корисного доплерівського сигналу, формується також низькочастотна перешкода, частотні спектри яких можуть перекриватися, викликаючи зниження співвідношення сигнал/шум і точності виміру.

В основу винаходу поставлено задачу компенсації низькочастотної перешкоди, що дозволяє підвищити відношення сигнал/шум. Це досягається шляхом формування доплерівських сигналів в протифазі від розсіяних пучків на довжинах хвиль λ_1 і λ_2 , а також при застосуванні двоканальної схеми прийому розсіяного вимірювання, відповідно на довжині хвилі λ_1 і λ_2 .

Поставлена задача вирішується тим, що в двохвильовому лазерному доплерівському анемометрі, що складається з оптично узгоджених лазера, випромінюючого на довжинах хвиль λ_1 і λ_2 , блока формування паралельних пучків, який включає двохвильовий розщеплювач, блок зсуву частоти з генератором високої частоти, дзеркало; оптичного блока часових затримок, який включає три лінії затримок, причому одна встановлена на шляху одного із зондуючих пучків, а дві інші на шляху розсіяних пучків відповідно на довжинах хвиль λ_1 і λ_2 , а також фазорегулятор з блоком живлення на шляху одного із розсіяних пучків, два селективні дзеркала відповідно на довжинах хвиль λ_1 і λ_2 ; датчика, який включає фокусуючий об'єктив; а також вимірювального блока, який включає фотоприймач і вимірювач доплерівської частоти, причому два селективні дзеркала оптично узгоджені з першим і третім входом вимірювального блока, а вихід другої і третьої лінії затримки з другим і четвертим входом вимірювального блока, крім того, кут α_2 , між розсіяними пучками, що приймаються, на довжині хвилі λ_2 , пов'язаний з кутом γ між зондуючими пучками, що перетинають в зоні виміру, та кут α_1 між розсіяними пучками, що приймаються, на довжині хвилі λ_1 , наступним співвідношенням:

$$\alpha_2 = 2 \cdot \arcsin \left[\frac{\frac{\lambda_2}{\lambda_1} \sin \alpha_1}{2} + \frac{\left(\frac{\lambda_1 - \lambda_2}{\lambda_1} \right) \sin \gamma}{2} \right],$$

додатково встановлені, смуговий світлофільтр на вході двохвильового розщеплювача, півхвильова пластинка на шляху одного з розсіяних пучків, апертурна діафрагма з шістьма отворами, два селективні складові змішувачі на довжинах хвиль λ_1 і λ_2 , дві діафрагми з двома отворами, два інтерференційних світлофільтри, один на довжині хвилі λ_1 , а інший - λ_2 , фотоприймач, диференціальний підсилювач, причому селективний змішувач на λ_1 , діафрагма з двома отворами і інтерференційний світлофільтр на λ_1 , встановлені перед першим фотоприймачем, а селективний змішувач на λ_2 , інтерференційний світлофільтр на λ_2 , встановлені перед другим фотоприймачем, виходи двох фотоприймачів через

диференціальний підсилювач сполучені з вимірювачем доплерівської частоти, а апертурна діафрагма встановлена у фокальній площині фокусуємого об'єктива.

Двохвильовий лазерний доплерівський анемометр (ДЛДА) включає (Фіг. 1): лазер 1, випромінюючий пучок 2 на двох потужних лініях випромінювання λ_1 і λ_2 , смуговий світлофільтр 3, який пропускає випромінювання на довжинах хвиль λ_1 і λ_2 , двухвильовий світлорозподільувач 4, що ділить пучок 2, на два пучки 5 і 6 однакової інтенсивності, як на довжині хвилі λ_1 , так і λ_2 , пристрій зсуву частоти 7 з генератором високої частоти 8, лінію затримки 9, апертурну діафрагму 10 з шістьма круглими отворами, фокусуєчий об'єктив 11, зону виміру 12, в якій два пучки 5 і 6 перетинаються у 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 затримки 19, півхвильову пластину 20, однохвильові складові змішувачі 21 на довжині хвиль λ_1 та λ_2 , діафрагми 22 з двома отворами, фотоприймачів 25 та 26, диференційного підсилювача 27, вимірювача доплерівської частоти 28, фазорегулятора 29 з блоком живлення 30, дзеркала 31; а також блок формування двох паралельних пучків 32, який включає елементи та пристрої: 3, 4, 7 та 31; оптичний блок часових затримок 33, який включає відповідно: 9, 17, 18, 19, 20 та 29; датчик, який включає відповідно: 21, 22, 23, 24, 25, 26 та 27.

ДЛДА працює наступним чином. Лазер 1 випромінює пучок 2 на двох потужних довжинах хвиль λ_1 і λ_2 , який розщеплюється світлорозподільувачем 4 на два пучки 5 та 6 однакової потужності:

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

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

Пучок 6 зміщується по частоті на фіксовану величину Ω_m пристроєм зсуву частоти 7 і потім, відбившись від дзеркала 31, проходить лінію затримки 9 і далі поширюється, як і пучок 5, паралельно і симетрично відносно оптичній осі схеми OZ. Пучки 5 і 6, після проходження отворів діафрагми 10, фокусуються об'єктивом 11 в зоні виміру 12, в якій вони перетинаються під кутом γ (Фіг. 1). Пучки 5 і 6 мають узгоджені поляризації, проте в зоні виміру вони не інтерферують, оскільки ці пучки не когерентні, через затримку пучка 6 на відповідний час $\tau_3 \geq \tau_{ki}$

(τ_{ki} - максимальний з двох час когерентності випромінювання, що відповідає довжині хвилі λ_i).

При проходженні через зону виміру 12 мікрочасток, що рухаються із швидкістю потоку \vec{V} , 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, розташованій в фокальній площині об'єктива 11. Розсіяний пучок 15, після проходження фазорегулятора 29 і віддзеркалення від селективного дзеркала 17 на довжині хвилі λ_1 , далі спрямовується на перший вхід селективного змішувача 21 на довжині хвилі λ_1 .

Розсіяний пучок 16, після проходження лінії затримки 19, спрямовується на другий вхід цього змішувача 21. Час затримки пучка 16 вибирається таким, щоб при оптичному змішуванні пучків 15 і 16 модуль комплексної міри тимчасової 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 23, спрямовуються на фотоприймач 25. В результаті оптичного змішування двох розсіяних пучків на довжині хвилі λ_1 , на виході фотоприймача 25 формується високочастотний корисний доплерівський сигнал на частоті пропорційної проекції швидкості V_x :

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

де α_1 - кут між розсіяними пучками 15 і 16 (Фіг. 1), а сигнали - перешкоди автоматично пригнічуються через прояв ефектів когерентності.

Розсіяний пучок 13, після віддзеркалення від селективного дзеркала 18 на довжині хвилі λ_2 , проходить півхвильову пластину 20 та спрямовується на перший вхід селективного змішувача 21 на довжині хвилі λ_2 . Розсіяний пучок 14, після проходження лінії затримки 19, спрямовується на другий вхід цього змішувача 21. Час затримки пучка 14 вибирається таким, щоб при оптичному змішуванні пучків 13 і 14 модуль комплексної міри часової когерентності $|\gamma_{\lambda_2}(\tau_3)| = 1$. З виходу змішувача 21 розсіяні пучки спрямовуються через діафрагму 22 та інтерференційний світлофільтр 24 на довжині хвилі λ_2 далі на вхід фотоприймача 26, на вході якого формується корисний доплерівський сигнал на частоті:

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

де α_2 - кут між розсіяними пучками 13 і 14 (Фіг. 1), а сигнали - перешкоди автоматично пригнічуються через прояв ефектів когерентності.

Вихідні доплерівські сигнали (1) та (2) мають однакові частоти, якщо геометрія зондування і прийому розсіяного випромінювання виконана відповідно до умови:

$$\alpha_2 = 2 \cdot \arcsin \left[\frac{\frac{\lambda_2}{\lambda_1} \sin \lambda_1}{2} + \frac{\left(\frac{\lambda_1 - \lambda_2}{\lambda_1} \right) \sin \gamma}{2} \right], \quad (3)$$

а також однакові фази при відповідному налаштуванні фази за допомогою фазорегулятора 29, в тому випадку якщо відсутня півхвильова фаза пластини 20. Якщо півхвильова пластина 20 встановлена, то доплерівські сигнали (1) і (2) знаходяться в протифазі. Ці сигнали з виходів фотоприймачів 25 і 26 подаються на вхід диференціального підсилювача 27, на вході якого спостерігається пригнічення низькочастотної складової сигналів фотоприймачів 25 і 26, а корисний доплерівський сигнал далі подається на вимірювач доплерівської частоти 28, який

видає інформацію про модуль і знак проекції швидкості \bar{V}_x .

У розробленому ДЛДА усунені недоліки властиві прототипу і відомим пристроям. У ДЛДА забезпечується пригнічення не лише високочастотних перешкод, але і компенсація низькочастотної складової сигналу - перешкоди, що призводить до підвищення відношення сигнал-перешкоди і точності виміру швидкості. Це досягається за рахунок двоканальної схеми прийому розсіяного випромінювання відповідно на довжинах хвиль λ_1 і λ_2 і такої геометрії зондування і прийому на довжинах хвиль λ_1 і λ_2 , при яких спостерігається пригнічення високочастотних перешкод на основі прояву ефектів когерентності випромінювання, а також пригнічення низькочастотних перешкод на основі формування сигналів в протифазі. ДЛДА відрізняється низькою чутливістю, тому сфера застосування поширюється на вимір дуже великих швидкостей (VM000 м/с).

Джерела інформації:

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

2. Багатохвильовий лазерний доплерівський анемометр. Землянський В.М., Гусев М.О. Заявка на винахід, подана в Держпатент України: 05.10.2011 р., № а 201111749

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

ФОРМУЛА ВИНАХОДУ

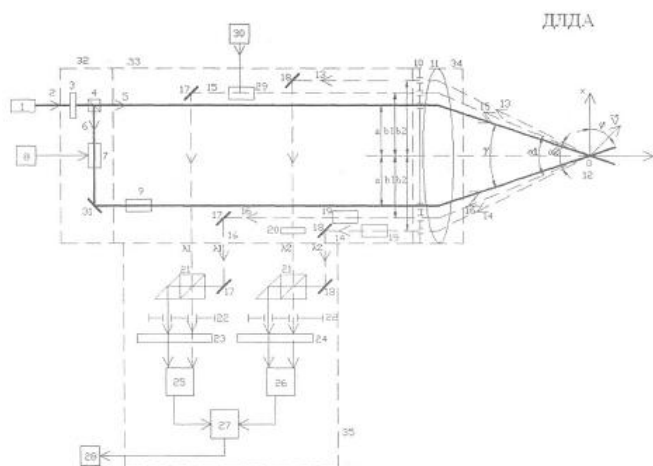
Двоканальний доплерівський анемометр, що складається з оптично узгоджених: лазера, випромінюючого на довжинах хвиль λ_1 і λ_2 , блока формування паралельних пучків, який включає двохвильовий розщеплювач, пристрій зсуву частоти з генератором високої частоти, дзеркало; оптичного блока часових затримок, який включає три лінії затримок, причому одна встановлена на шляху одного із зондуючих пучків, а дві інші на шляху розсіяних пучків відповідно на довжинах хвиль λ_1 і λ_2 , а також фазорегулятор з блоком живлення на шляху одного із розсіяних пучків, два селективні дзеркала відповідно на довжинах хвиль λ_1 і λ_2 ;

- датчика, який включає фокусуєчий об'єктив; а також вимірювального блока, який включає фотоприймач і вимірювач доплерівської частоти, причому два селективні дзеркала оптично узгоджені з першим і третім входом вимірювального блока, а вихід другої і третьої лінії затримки з другим і четвертим входом вимірювального блока, крім того, кут α_2 , між розсіяними пучками, що приймаються на довжині хвилі λ_2 , пов'язаний з кутом γ між зондуючими пучками, що перетинаються в зоні виміру, та кутом α_1 між розсіяними пучками, що приймаються на довжині хвилі λ_1 , наступним співвідношенням:

$$\alpha_2 = 2 \cdot \arcsin \left[\frac{\frac{\lambda_2}{\lambda_1} \sin \alpha_1}{2} + \frac{\left(\frac{\lambda_1 - \lambda_2}{\lambda_1} \right) \sin \gamma}{2} \right],$$

10

- який **відрізняється** тим, що додатково встановлені: смуговий світлофільтр на вході двоххвильового розщеплювача, напівхвильова пластина на шляху одного з розсіяних пучків, апертурна діафрагма з шістьма отворами, два селективні складові змішувачі на довжинах хвиль λ_1 і λ_2 , дві діафрагми з двома отворами, два інтерференційних світлофільтри, один на довжині хвилі λ_1 , а інший - λ_2 , фотоприймач, диференціальний підсилювач, причому селективний змішувач на λ_1 , діафрагма з двома отворами і інтерференційний світлофільтр на λ_1 , встановлені перед першим фотоприймачем, а селективний змішувач на λ_2 , інтерференційний світлофільтр на λ_2 , встановлені перед другим фотоприймачем, виходи двох фотоприймачів через диференціальний підсилювач з'єднані з вимірювачем доплерівської частоти, а апертурна діафрагма встановлена у фокальній площині фокусуєчого об'єктива.
- 15
- 20



Фіг. 1

Комп'ютерна верстка Л. Бурлак

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