



ДЕРЖАВНА СЛУЖБА
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ
УКРАЇНИ

УКРАЇНА

(19) UA

(11) 108843

(13) C2

(51) МПК

G01P 3/36 (2006.01)

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВІНАХІД

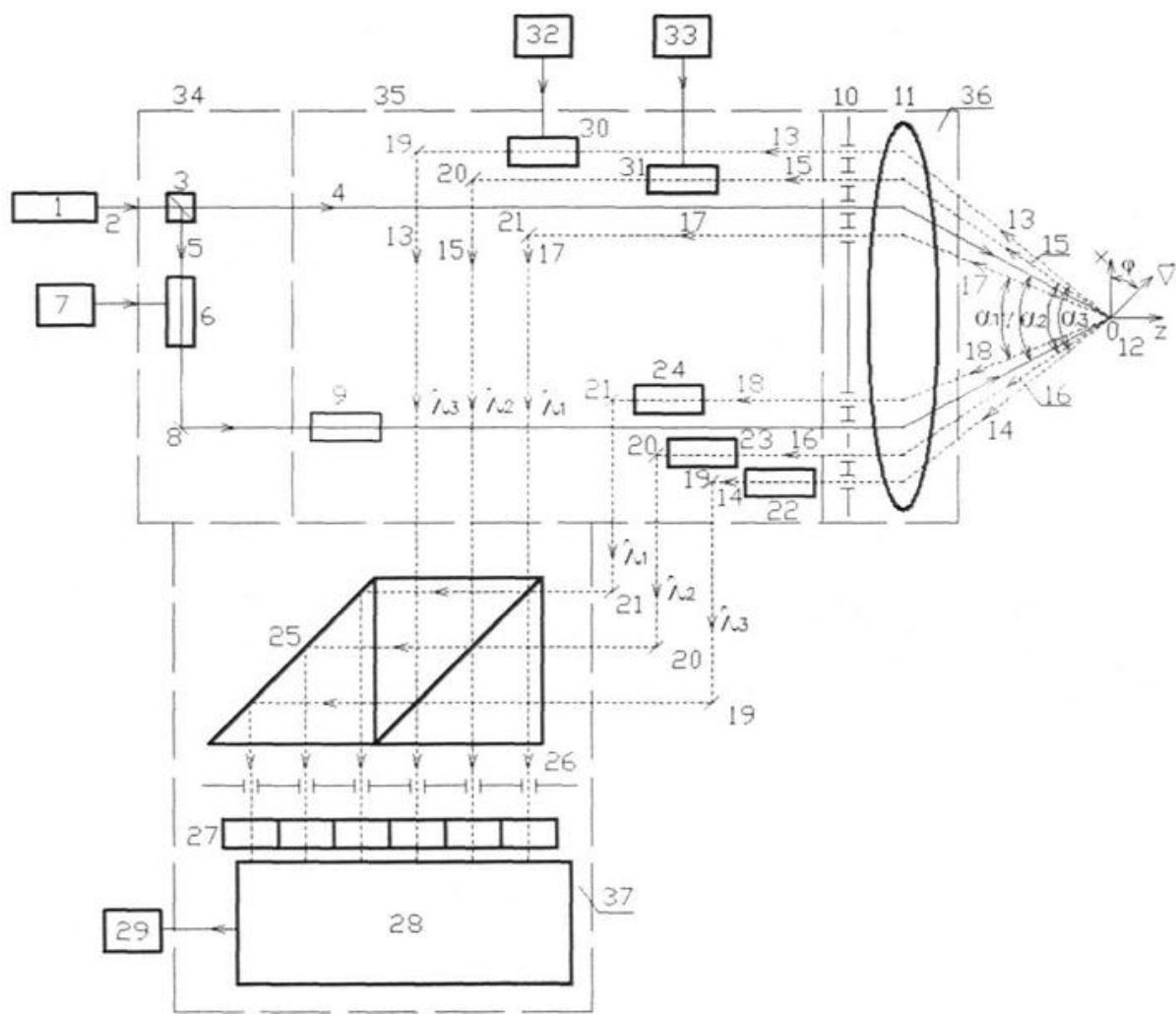
(21) Номер заявки:	а 2011 11749	(72) Винахідник(и):	Землянський Володимир Михайлович (UA), Гусєв Михайло Олегович (UA)
(22) Дата подання заявки:	05.10.2011	(73) Власник(и):	НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ, пр. Комарова, 1, м. Київ, 03680 (UA)
(24) Дата, з якої є чинними права на винахід:	25.06.2015	(56) Перелік документів, взятих до уваги експертизою:	UA 99838 A, 10.10.12, 6 стор. Дубнищев Ю.Н., Ринкевичус Б.С. Методы лазерной доплеровской анемометрии. - М.: Наука, 1982. UA 41625 A, 17.09.2001. UA 41610 A, 17.09.2001. UA 39445 A, 15.06.2001. UA 40902 A, 15.08.2001. US 4940330, Jul.10, 1990. SU 780654 A1, 10.03.1996.
(41) Публікація відомостей про заявку:	10.08.2012, Бюл.№ 15		
(46) Публікація відомостей про видачу патенту:	25.06.2015, Бюл.№ 12		

(54) БАГАТОХВИЛЬОВИЙ ЛАЗЕРНИЙ ДОПЛЕРІВСЬКИЙ АНЕМОМЕТР

(57) Реферат:

Багатохвильовий лазерний доплерівський анемометр (БЛДА) належить до вимірювальної техніки і може бути використаний для вимірювання високошвидкісних газових потоків. БЛДА заснований на зондуванні потоку двома пучками багатохвильового лазера, наприклад, аргонного, випромінюючого на трьох довжинах хвиль λ_1 , λ_2 і λ_3 . Геометрія зондування та прийому розсіяного випромінювання побудована таким чином, що на виході фотоприймача БЛДА формується потужний доплерівський сигнал, який представляє суперпозицію трьох синфазних високочастотних сигналів. БЛДА складається з блока формування паралельних пучків, оптичного пристрою тимчасових затримок, датчика, а також приймального блока. БЛДА забезпечує високе відношення сигнал/шум, а також автоматичне придушення сигналів-перешкод.

UA 108843 C2



Фиг.

Винахід належить до вимірювальної техніки і може бути використаний для вимірювання швидкостей потоків рідини або газу.

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

5 Проте відомий ЛДА має невисоке відношення сигнал/шум при прийомі розсіяного назад випромінювання.

Найбільш близьким технічним рішенням є вимірювач швидкості [2], який складається з оптично узгоджених блока формування двох паралельних лазерних пучків, що включає дзеркало; оптичного пристрою створення тимчасових затримок, який включає фазорегулятор з блоком живлення, лінії затримки на шляху одного з зондуючих пучків і другої лінії затримки на шляху одного з розсіяних пучків, а також дзеркала на довжині хвилі λ_1 : датчика, який включає фокусуючий об'єктив, а також приймального блока, що включає фотоприймач, вихід якого з'єднаний з входом вимірювача доплерівської частоти.

15 Відомий вимірювач при вимірюванні гіперзвукових потоків, розташованих на відносно великій відстані, має невисоке відношення сигнал/шум, що знижує точність вимірювання. Дальність його дії обмежується потужністю газових лазерів, що випромінюють на одній довжині хвилі λ_1 .

В основу винаходу поставлено задачу підвищення відношення сигнал/шум, а також дальності дії за рахунок використання в вимірювачі потужного багатохвильового лазера, випромінюючого на трьох довжинах хвиль λ_1 , λ_2 і λ_3 , і також такої геометрії багатохвильового зондування та прийому розсіяного випромінювання, при якій доплерівські сигнали, які відповідають довжині хвиль λ_1 , λ_2 і λ_3 , мають однакові частоти і синфазні. В цьому випадку на виході фотоприймача відношення сигнал/шум істотно більше, ніж при використанні лазерів однієї довжини хвилі λ_1 .

25 Поставлена задача вирішується тим, що в вимірювачі швидкості, що складається з оптично узгоджених блока формування двох паралельних пучків, що включає дзеркало; оптичного пристрою створення тимчасових затримок, який включає фазорегулятор з блоком живлення, лінію затримки на шляху одного з зондуючих пучків і другу лінію затримки на шляху одного з розсіяних пучків, а також дзеркала на довжині хвилі λ_1 , датчика, який включає фокусуючий об'єктив, а також приймального блока, що включає фотоприймач, вихід якого з'єднаний з входом вимірювача доплерівської частоти, додатково введені багатохвильовий лазер, що випромінює на трьох довжинах хвиль λ_1 , λ_2 і λ_3 , багатохвильовий світлодіодний, частотозсуваючий пристрій з генератором високої частоти, дві оптичні лінії затримки, другий фазорегулятор з блоком живлення, два селективних дзеркала відповідно на довжинах хвиль λ_2 і λ_3 , апертурна діафрагма з 8-мама отворами, багатохвильовий складовий змішувач для довжин хвиль λ_1 , λ_2 і λ_3 ; діафрагма з шістьма отворами, лінійка з 6-тьма інтерференційними світлофільтрами на довжинах хвиль λ_1 , λ_2 і λ_3 , причому в блоці формування пучків встановлені багатохвильовий селективний світлодіодний, вхід якого узгоджений з багатохвильовим лазером, а також пристрій зсуву частоти; в датчику встановлена апертурна діафрагма з 8-мама отворами, узгодженими з фокусуючим об'єктивом; крім того, в оптичному пристрої тимчасових затримок встановлені лінії затримки відповідно на шляху трьох розсіяних пучків та їх виходи оптично узгоджені з першим входом селективного багатохвильового змішувача і два фазорегулятори, а два селективних дзеркала встановлені на шляху двох розсіяних пучків і оптично узгоджені з другим входом багатохвильового змішувача; в приймальному блоці встановлені на вході багатохвильовий змішувач, а також діафрагма з шістьма отворами і лінійка інтерференційних світлофільтрів перед фотоприймачем, крім того, кути прийому розсіяного випромінювання α_2 і α_3 відповідно на довжині хвилі λ_2 і λ_3 вибираються в залежності від кута прийому розсіяного випромінювання α_1 і кута між зондуючими пучками γ .

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

50 де $\lambda_1 \square \lambda_2 \square \lambda_3$; $i=2,3$.

Багатохвильовий лазерний доплерівський анемометр (БЛДА) включає (креслення): багатохвильовий лазер 1, який випромінює пучок 2 на трьох довжинах хвилі λ_1 , λ_2 і λ_3 (наприклад, аргонний лазер), багатохвильовий світлодіодний 3, який ділить пучок 2 на два пучки 4 та 5 рівної інтенсивності на кожній з довжин хвиль випромінювання λ_1 , λ_2 і λ_3 , пристрій зсуву частоти 6 з генератором високої частоти 7, дзеркало 8, лінію затримки 9, апертурну діафрагму 10 з вісьмама круглими отворами, фокусуючи об'єктив 11, зону вимірювання 12, в якій два пучки 4 і 5 перетинаються у фокусі об'єктива 11 під кутом γ , розсіяні пучки 13, 14, 15, 16, 17 і 18, селективні дзеркала 19 для довжини хвилі λ_3 , селективні дзеркала 20 для довжини

хвилі λ_2 , селективні дзеркала 21 для довжини хвилі λ_1 лінії затримки 22, 23 і 24, багатохвильовий складовий змішувач 25 для довжин хвиль λ_1 , λ_2 і λ_3 , діафрагму 26 з шістьма отворами, лінійку з шести інтерференційних світлофільтрів 27 для довжин хвиль λ_1 , λ_2 і λ_3 , фотоприймач 28, вимірювач доплерівської частоти 29; а також блок формування двох паралельних пучків 34, що включає оптичні елементи та пристрої 3, 6 і 8; оптичний пристрій тимчасових затримок 35, що включає відповідно: 9, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 30 і 31; датчик 36, що включає відповідно: 10 і 11, приймальний блок 37, що включає відповідно: 25, 26, 27 і 28.

БЛДА працює таким чином. Лазер 1 випромінює пучок 2 на трьох потужних довжинах хвиль λ_1 , λ_2 і λ_3 , який ділиться світлоділником 3 на два пучки, рівним інтенсивності 4 і 5. Тобто потужність пучка 4: $P_4 = P_{\lambda_1} + P_{\lambda_2} + P_{\lambda_3}$ дорівнює потужності пучка 5: $P_5 = P_{\lambda_1} + P_{\lambda_2} + P_{\lambda_3}$, де P_{λ_i} - потужність випромінювання на довжині хвилі ($i=1, 2, 3$). Пучок 5, після проходження частотозсуваючого пристрою 6, зміщується по частоті на фіксовану величину Ω_M і потім, відбившись від дзеркала 8, поширюється, як і пучок 4, паралельно і симетрично щодо оптичної осі схеми ОЗ. Пучки 4 і 5 мають узгоджені стани поляризації, наприклад, ці пучки вертикально поляризовані. Пучки 4 і 5 після проходження через два отвори діафрагми 10 фокусуються об'єктом 11 в зоні вимірювання 12, в якій вони перетинаються під кутом γ (фіг. 1). Однак, оскільки пучок 5, після проходження лінії затримки 9 затримується за часом щодо пучка 4 на величину $t_3 \geq t_{ki}$ (t_{ki} - максимальний час когерентності випромінювання, що відповідає довжині хвилі λ_1), то в зоні вимірювання не формується інтерференційна картина. При проходженні через зону вимірювання 12, наприклад, повітряного потоку, розсіяне на мікрочастинках випромінювання у напрямках 13 і 14; 15 і 16, а також 17 і 18, розташованих симетрично відносно осі ОЗ, збирається об'єктивом 11 в межах малих круглих отворів апертурної діафрагми 10, яка перебуває в фокальній площині об'єктива 11.

Розсіяні пучки 13 і 15, після проходження відповідних фазорегуляторів 30 і 31 і відображення відповідно від селективних дзеркал 19 і 20 на довжині хвилі λ_3 і λ_2 направляються на перший вхід складового змішувача 25. На цей же вхід змішувача направляється пучок 17, після відбиття від селективного дзеркала 21 на довжині хвилі λ_3 . Розсіяні пучки 14, 16 і 18, після проходження відповідних ліній затримки 22, 23 і 25, спрямовуються на другий вхід змішувача 25 (на фіг. 1 на шляху пучків 14, 16 і 18 показані дзеркала 19, 20 і 21, встановлення яких у схемі МЛДА не має принципового значення). Час затримки пучків 14 - t_{λ_1} ; 16 - t_{λ_2} і 18 - t_{λ_3} , що створюється за допомогою ліній затримки 22, 23 і 24, вибирають таким, щоб при оптичному змішуванні пар пучків: 13-14; 15-16; 17-18, для цих пар модуль ступеня комплексної тимчасової когерентності $|\dot{\gamma}_{\lambda_i}(t_3)| = 1$, тобто вони були когерентні. На виході змішувача 25 формується шість пучків, відповідних довжинах хвиль: λ_1 , λ_2 , λ_3 , λ_1 , λ_2 і λ_3 , які проходять через шість отворів діафрагми 26 і лінійку з шести інтерференційних світлофільтрів відповідно на довжинах хвиль: λ_1 , λ_2 , λ_3 , λ_1 , λ_2 і λ_3 , і далі направляються на фотокатод фотоприймача 28. На виході фотоприймача 28 формуються три корисних високочастотних сигнали, відповідних оптичному змішуванню розсіяних пучків на довжинах хвиль λ_1 , λ_2 і λ_3 , на доплерівській частоті

$$\omega_{gi} = \Omega_M + \frac{8\pi}{\lambda_i} \left[\cos\left(\frac{\gamma + \alpha_i}{4}\right) \sin\left(\frac{\gamma - \alpha_i}{4}\right) \right] V_x, \quad (1)$$

де α_i - кут між розсіяними пучками ($i = 1, 2, 3$) на довжині хвилі λ_i ,

V_x - горизонтальна проекція вектора швидкості \vec{V} .

Ці три сигнали співпадають на частоті $\omega_{q1} = \omega_{q2} = \omega_{q3} = \omega_q$ та підсумовуються, якщо для геометрії зондуєчих і розсіяних пучків виконується наступне співвідношення,

$$\alpha_i = 2 \arcsin \left[\frac{\lambda_i}{\lambda_1} \sin \frac{\alpha_1}{2} + \left(\frac{\lambda_i - \lambda_1}{\lambda_1} \right) \sin \frac{\gamma}{2} \right], \quad (2)$$

де $\lambda_1 \square \lambda_2 \square \lambda_3$; $i=2,3$.

Три корисних сигнали на одній частоті ω_q , для конкретних параметрів оптичної схеми БЛДА, можуть мати різні фази. Тому для збільшення потужності сумарного корисного сигналу на частоті ω_q необхідно забезпечити також фазове узгодження цих трьох сигналів [3].

Синфазність цих трьох сигналів забезпечується за допомогою фазорегуляторів 30 і 31. На виході фотоприймача 2 можуть формуватися також високочастотні сигнали-перешкоди, відповідно 5 сигналів-перешкод для кожної з довжин хвиль λ_1 , λ_2 і λ_3 .

Однак, для схеми БЛДА (фіг. 1) ці 15 сигналів-перешкод автоматично придушуються, оскільки для цих сигналів модуль комплексного ступеня тимчасової когерентності дорівнює нулю.

Частота сигналу (1) вимірюється вимірювачем доплерівської частоти 29, який видає інформацію про модуль і знак проекції швидкості V_x .

Схема БЛДА при виборі кутів зондування та прийому γ і α_i , близьких за величиною має невисоку чутливість:

$$S_x \left[\frac{\Gamma c}{M/c} \right] = \frac{4}{\lambda_i} \cos \left(\frac{\gamma + \alpha_i}{4} \right) \sin \left(\frac{\gamma - \alpha_i}{4} \right), \quad (3)$$

тому вона застосовується при вимірюванні великих швидкостей, наприклад, гіперзвукових.

У розробленому БЛДА усунені недоліки властиві прототипу і відомим пристроям. У БЛДА забезпечується істотне підвищення відношення сигнал/шум за рахунок додатково встановленого багатохвильового потужного лазера, випромінюючого на довжинах, хвиль λ_1 , λ_2 і λ_3 (наприклад, аргонний лазер), а також такої геометрії зондування та прийому розсіяного випромінювання, за якої корисні сигнали на довжинах хвиль λ_1 , λ_2 і λ_3 не тільки мають одну частоту, а й сфазовані. Крім того, в БЛДА збільшується дальність дії при прийомі розсіяного назад випромінювання. БЛДА може використовуватися для вимірювання відносно великих швидкостей.

Джерела інформації:

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

2. Лазерний доплерівський вимірювач швидкості. Землянский В.М., Гусев М.О. Заявка на винахід, подана в Держпатент України, № 201006815 от 2.06.2010 р.

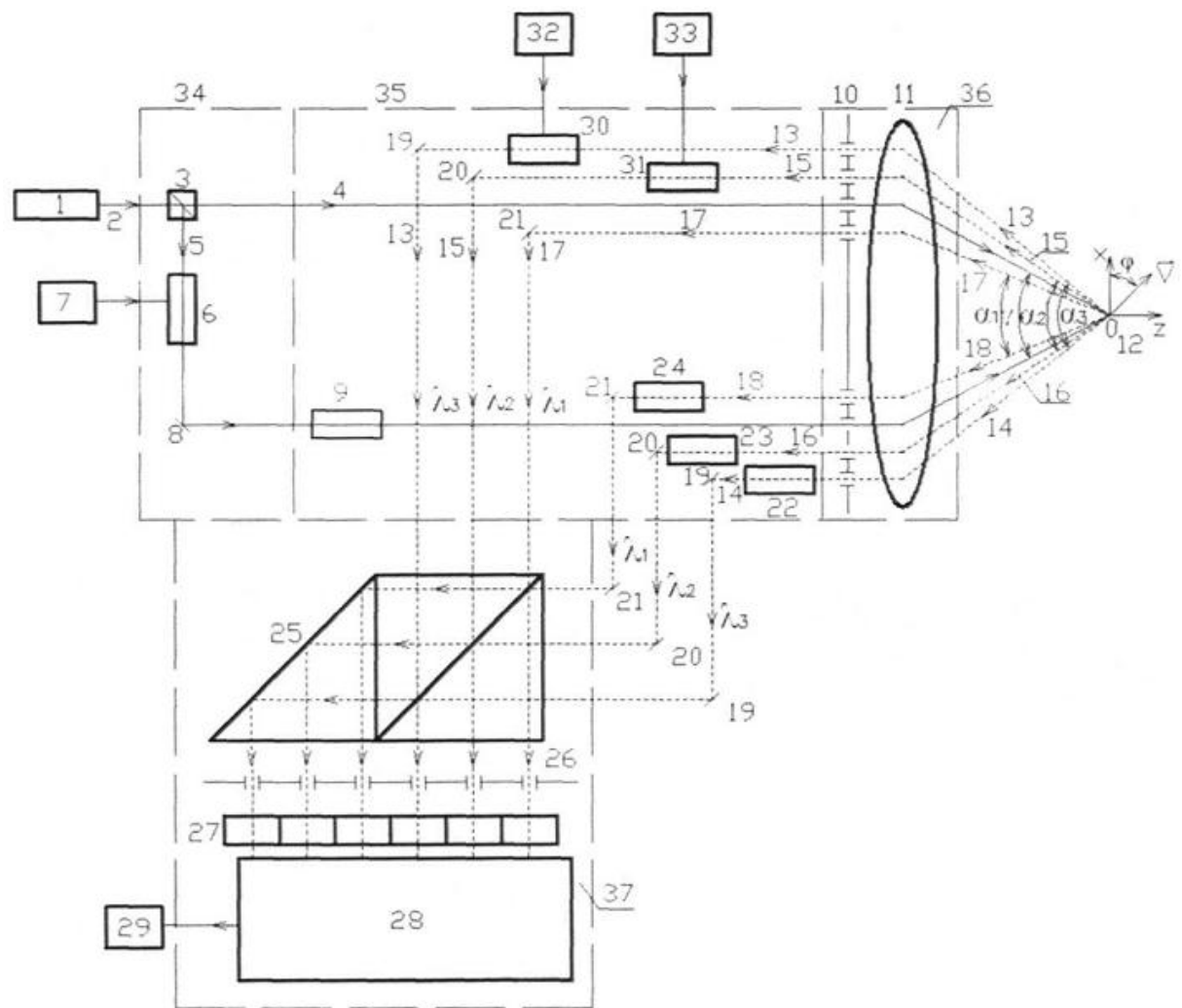
3. Землянский В.М. Измерение скорости потоков лазерным доплеровским методом. - К.: Вища шк., 1987 г. - 177 стр.

ФОРМУЛА ВИНАХОДУ

Багатохвильовий лазерний доплерівський анемометр, що складається з оптично узгоджених блока формування двох паралельних пучків, який включає багатохвильове дзеркало; оптичного пристрою створення тимчасових затримок, який включає фазорегулятор з блоком живлення, лінію затримки на шляху одного з зондуючих пучків і другу лінію затримки на шляху одного з розсіяних пучків, а також дзеркала на довжині хвилі λ_1 ; датчика, який включає фокусуючий об'єктив, а також приймального блока, що включає фотоприймач, вихід якого з'єднаний з входом вимірювача доплерівської частоти, який **відрізняється** тим, що в нього додатково введені багатохвильовий лазер, що випромінює на трьох довжинах хвилі λ_1 , λ_2 і λ_3 , багатохвильовий світлодіодник, частотозсуваючий пристрій з генератором високої частоти, дві оптичні лінії затримки, другий фазорегулятор з блоком живлення, два селективних дзеркала відповідно на довжині хвилі λ_2 і λ_3 , апертурна діафрагма з 8-ма отворами, багатохвильовий складовий змішувач для довжин хвиль λ_1 , λ_2 і λ_3 , діафрагма з шістьма отворами, лінійка з 6-ти інтерференційних світлофільтрів на довжинах хвиль λ_1 , λ_2 і λ_3 ; причому в блоці формувань пучків встановлені багатохвильовий селективний світлодіодник, вхід якого погоджено з багатохвильовим лазером, а також пристрій зсуву частоти; в датчику встановлена апертурна діафрагма з 8-ма отворами, узгоджена з фокусуючим об'єктивом; крім того, лінії затримки встановлені відповідно на шляху трьох розсіяних та їх виходи оптично узгоджені з першим входом багатохвильового змішувача, а два фазорегулятори і два селективних дзеркала встановлені на шляху двох розсіяних пучків і оптично узгоджені з другим входом багатохвильового змішувача; в приймальному блоці встановлені на вході багатохвильовий змішувач, а також діафрагма з шістьма отворами і лінійка інтерференційних світлофільтрів перед фотоприймачем, крім того, кути прийому розсіяного випромінювання α_2 і α_3 відповідно на довжинах хвиль λ_2 і λ_3 вибираються в залежності від кута прийому розсіяного випромінювання α_1 і кута між зондуючими пучками γ , виходячи зі співвідношення:

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

де $\lambda_1 \leq \lambda_2 \leq \lambda_3$; $i=2,3$.



Комп'ютерна верстка І. Скворцова

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