



УКРАЇНА

(19) UA (11) 41610 (13) A

(51) 6 G01P3/36

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІОПИС
ДО ДЕКЛАРАЦІЙНОГО ПАТЕНТУ
НА ВІНАХІДвидається під
відповідальність
власника
патенту

(54) ЛАЗЕРНИЙ ДВОКОМПОНЕНТНИЙ ДОПЛЕРІВСЬКИЙ АНЕМОМЕТР

1

2

(21) 2000105886

(22) 18.10.2000

(24) 17.09.2001

(46) 17.09.2001, Бюл. № 8, 2001 р.

(72) Землянський Володимир Михайлович, Абу
Файсал Гасан, LB

(73) Землянський Володимир Михайлович

(57) Лазерний двокомпонентний доплерівський анемометр, що складається з оптично узгоджених двочастотного лазера, чверть хвильової фазової пластини, призми Воластона, призми з двома дзеркальними гранями, двох дзеркал, фокусуючого та збираючого об'єктивів, симетричного інтерферометра з пів хвильовою фазовою пластиною, поляризаційного розщеплювача, двох блоків фотоприймачів та двох вимірювачів доплерівських частот, який відрізняється тим, що в нього додатково введені два полосових фільтри, два змішу-

вачі, третій блок фотоприймача, два фільтри нижніх частот, селективний фільтр, а також діафрагма з двома отворами, розташованими в площині зондуючих пучків (OXZ) симетрично відносно оптичної осі збираючого об'єктива, до того ж оптичні осі фокусуючого та збираючого об'єктивів лежать у площині зондуючих пучків і складають відповідно з віссю OZ кути $+\beta^0$ і $-\beta^0$, крім того, виходи першого та другого фотоприймачів через відповідні полюсові фільтри з'єднані з першими входами першого і другого змішувачів, а другі входи цих змішувачів з'єднані через селективний фільтр з виходом третього блока фотоприймача, виходи змішувачів через відповідні фільтри нижніх частот з'єднані з входами першого і другого вимірювачів доплерівських частот.

Винахід відноситься до вимірювальної техніки та може бути використаний для вимірювання швидкості двомірних потоків рідини або газу.

Відомо лазерний двокомпонентний доплерівський анемометр (ЛДДА) інверсно-диференціального типу [1], котрий включає лазер, фокусуючий і збираючий об'єктиви, інтерферометр, два блоки фотоприймачів і два вимірювача доплерівської частоти. Недоліком такого ЛДДА являється невисока чутливість і стійкість до завад, а також досить складна в експлуатації та налаштуванні схема інтерферометра.

Ці недоліки відсутні в ЛДДА [2], котрий у своєму складі має двочастотний лазер, чвертьхвильову фазову пластину, призму Воластона, призму з двома дзеркальними гранями, два дзеркала, фокусуючий та збираючий об'єктиви, симетричний інтерферометр з півхвильовою фазовою пластиною, поляризаційний розщеплювач, два блоки фотоприймачів і два вимірювача доплерівських частот. Проте, цьому ЛДДА притаманні наступні недоліки. Він не може працювати при прийомі розсіяного назад випромінювання, коли спостерігаються суттєві зміни стану поляризації розсіяних пучків і виникають високочастотні завади, а також

не може вимірювати осьову проекцію вектора швидкості V_z (так як за принципом дії прототип вимірює дві ортогональні проекції вектора швидкості V_x і V_y орієнтовані у площині OXY перпендикулярній до оптичної осі OZ). Відомий ЛДДА має інструментальну похибку через нестабільність у

часі частотного зсуву Ω_M , величина якого визначається напруженістю зовнішнього магнітного поля.

В основу винаходу поставлена задача вдосконалення ЛДДА, в якому нове виконання оптичного блока прийому розсіяних пучків і його розташування по відношенню до блока формування зондуючих пучків, а також блока обробки сигналів з виходів двох фотоприймачів, дозволило забезпечити подавлення перехресних завад при прийомі розсіяного назад випромінювання і за рахунок цього здійснити вимірювання з високою точністю і стійкістю до завад двох ортогональних проекцій вектора швидкості, одна з яких являється осьовою. Поставлена задача вирішується шляхом того, що в ЛДДА, котрий включає оптично узгоджені двочастотний лазер, чвертьхвильову фазову пластину, призму Воластона, призму з двома дзеркальними

(13) A

(11) 41610

(19) UA

гранями, два дзеркала, фокусує та збирає об'єктиви, симетричний інтерферометр з півхвильовою фазовою пластинкою, поляризаційну призму, два блоки фотоприймачів та два вимірювача доплерівської частоти згідно винаходу додатково введено два полосових фільтра, два змішувача, третій блок фотоприймача, два фільтра нижчих частот, селективний фільтр, а також діафрагма з двома отворами розташованими в площині зондує пучків (OXZ) симетрично відносно оптичної осі збираючого об'єктива, до того ж оптичні осі фокусує та збираючого об'єктивів, лежать у площині зондує пучків і складають відповідно з

віссю OZ кути $+\beta^\circ$ і $-\beta^\circ$. Крім того виходи першого та другого фотоприймачів через відповідні полосові фільтри з'єднані з першими входами першого і другого змішувачів, а другі входи цих змішувачів з'єднані через селективний фільтр з виходом третього блока фотоприймача, виходи змішувачів через відповідні фільтри нижніх частот з'єднані з входами першого і другого вимірювача доплерівських частот. Запропонований ЛДДА дозволяє виключити як перехрестні високочастотні завади при прийомі розсіяного назад випромінювання, так і інструментальну похибку через нестабільність частотного зсуву, тобто він має більш високу точність і стійкість до завад та виконує вимірювання двох ортогональних проекцій, одна з яких осьова. Вимірювання модулів та знаку проекцій швидкості V_x і V_z здійснюється шляхом створення в зоні вимірювання двох бігучих віртуальних інтерференційних картин в площині зондує пучків.

На фіг. 1 показана блок-схема ЛДДА з прийомом розсіяного назад випромінювання; на фіг. 2 - блок-схема ЛДДА з прийомом розсіяного вперед випромінювання; на фіг. 3 і 4 - геометрія зондує пучків і розсіяних пучків відповідно для схем ЛДДА на фіг. 1 та фіг. 2.

Лазерний двокомпонентний доплерівський анемометр (фіг. 1, 2) в своєму складі має: зєманівський двочастотний лазер 1, випромінює пучок 2, який складається з двох пучків зі взаємно ортогональними циркулярними поляризаціями та

різними частотами $\omega_1 = \omega_0 + \Omega_M$ і

$\omega_2 = \omega_0 - \Omega_M$, де ω_0 - частота випромінювання лазера при напруженості зовнішнього магнітного

поля рівній нулю, Ω_M - частотний зсув, величина якого залежить від напруженості зовнішнього магнітного поля; чвертьхвильову фазову пластину 3, призму Воластона 4, на виході котрої формуються два пучки 5 і 6, що мають взаємно ортогональні лінійні поляризації з направленням коливань електричного вектора одного з пучків у площині зондує пучків (OXZ); призму з двома дзеркальними гранями 7, в котрій кут при вершині дорівнює 90° , а бісектриса цього кута співпадає з оптичною віссю фокусує об'єктива 10; дзеркала 8 і 9, на виході яких формуються два пучки паралельних оптичної осі об'єктива 10, відстань між цими пучками аз можна змінювати шляхом переміщення призми 7 вздовж осі об'єктива 10, що дозволяє плавно змі-

нювати кут γ , під яким зондує пучки 5 і 6 перетинаються в зоні вимірювання 11; оптична вісь

фокусує об'єктива 10 складає кут $+\beta^\circ$ з віссю OZ, а у площині зондує пучків OXZ рухається

двовимірний потік зі швидкістю \vec{V} і необхідно виміряти як модулі, так і знаки двох ортогональних проекцій швидкості $\pm V_x$ і $\pm V_z$, одна з яких V_z являється осьовою компонентою; розсіяні пучки 12 і 13, котрі розповсюджуються в площині OXZ (назад фіг. 1 або вперед фіг. 2); збираючий об'єктив 14, оптична вісь якого лежить у площині OXZ і складає

з віссю OZ кут $-\beta^\circ$; діафрагму з двома круглими отворами 15, відстань між якими вибирається з умови:

$$d_n = 2F \tan(\gamma) / 2,$$

де F - фокусна відстань об'єктива 14, а отвори розташовуються у площині OXZ симетрично відносно оптичної осі об'єктива 14; симетричний інтерферометр 16, що складається з півхвильової фазової пластини 17, трьох дзеркал 18 і змішувача 19, за допомогою якого здійснюється просторове сполучення розсіяних пучків 12 і 13; поляризаційний розщеплювач 20, на виході якого формуються розсіяні пучки 21 і 22; блоки фотоприймачів 23 і 24, кожен з яких складається з апертурної діафрагми 25, інтерференційного світлофільтра 26 та фотоприймача 27; полосові фільтри 28 і 29; змішувачі 30 і 31; третій блок фотоприймача 32, вхід якого оптично узгоджено з виходом лазера; селективний фільтр 33; фільтри нижчих частот 34 і 35; два вимірювача доплерівських частот 36 і 37 та лінійний поляризатор 38.

Лазерний двокомпонентний доплерівський анемометр із прийомом розсіяного назад випромінювання (фіг. 1) працює наступним чином.

Зєманівський двочастотний лазер 1 випромінює пучок 2, котрий за допомогою чвертьхвильової фазової пластини 3 та призми Воластона 4 перетворюється у два просторово розділених пучка 5 і

6, що мають відповідно частоти $\omega_0 + \Omega_M$ та

$\omega_0 - \Omega_M$, а також лінійні взаємно ортогональні поляризації (де ω_0 - частота випромінювання лазера для випадку, коли напруженість зовнішнього магнітного поля H_m , що прикладається до активно-

го елемента лазера дорівнює нулю; Ω_M - частотний зсув залежний від H_m). До того ж азимут швидкої осі пластини 3 і азимут осі пропускання призми 4 вибираються такими, щоб направлення коливання електричного вектора одного із зондує пучків було перпендикулярно площині зондує пучків OXZ. Пучки 5 і 6 після відбиття від граней призми 7 та дзеркал 8 і 9 перетворюються в паралельні пучки, що розповсюджуються у площині OXZ симетрично відносно оптичної осі фокусує об'єктива 10, котра також лежить у площині OXZ

та складає кут β з віссю OZ. Об'єктив 10 фокусує зондує пучки 5 і 6 в зону вимірювання 11, у якій вони перетинаються під кутом γ . Якщо через зону

вимірювання 11 проходить двовимірний у площині ОХЗ потік зі швидкістю \vec{V} , то розсіяне на мікрочастинках назад випромінювання в напрямках 12 і 13 збирається об'єктивом 14 в межах двох отворів діафрагми 15. Оптична вісь об'єктива 14 лежить у площині ОХЗ та складає з віссю кут β . Відстань між двома круглими отворами діафрагми 15 вибирається рівною $b=2F \tan(\alpha/2)$, де F -- фокусна відстань об'єктива 14, α -- кут між розсіяними пучками 12 і 13, який повинен бути рівним куту γ у напрямку 12 від зондуєчих пучків \vec{K}_{05} , \vec{K}_{06} розповсюджуються відповідно два розсіяних пучка \vec{K}_{S52} , \vec{K}_{S62} (фіг 3), що мають відповідно горизонтальну та вертикальну поляризації, а також різні частоти визначені ефектом Доплера (\vec{K}_{S52} , \vec{K}_{S62} -- хвильові вектора розсіяних пучків, а \vec{K}_{05} , \vec{K}_{06} -- хвильові вектора зондуєчих пучків 5 і 6).

Азимути поляризації пучків \vec{K}_{S52} , \vec{K}_{S62} за допомогою півхвильової пластини змінюються на 90° . У напрямку 13 розповсюджуються розсіяні від пучків \vec{K}_{05} , \vec{K}_{06} , \vec{K}_{S51} , \vec{K}_{S61} (фіг 3), які мають відповідно горизонтальну та вертикальну поляризації та різні частоти. Розсіяні пучки 12 і 13 після відбиття від дзеркала 18 просторово сполучаються змішувачем 19 і далі подаються на вхід поляризаційного розщеплювача 20. Якщо азимут осі пропускання розщеплювача 20 вибрати рівним 0° (90°), то на його двох виходах формуються горизонтально поляризований пучок 21, що складається з пучків \vec{K}_{S62} , \vec{K}_{S51} , а також вертикально поляризований пучок 22, що складається з пучків \vec{K}_{S52} , \vec{K}_{S61} . Пучок 21 направляється на вхід блока фотоприймача 23 і пройшовши діафрагму 25, фільтр 26, потрапляє на фотокатод фотоприймача 27, на виході якого в результаті оптичного гетеродинування формується високочастотний

сигнал на частоті ω_1 (фіг 3)

$$\begin{aligned}\omega_1 &= 2\Omega_M + (\vec{K}_{05} - \vec{K}_{06})\vec{V} + (\vec{K}_{S62} - \vec{K}_{S51})\vec{V} = \\ &= 2\Omega_M + (\vec{K}_1 + \vec{K}_2)\vec{V} = 2\Omega_M + \vec{K}_4\vec{V} = \\ &= 2\Omega_M + 8\pi/\lambda \sin(\gamma/2) \sin(\beta) V_z.\end{aligned}\quad (1)$$

Пучок 22 направляється на вхід другого блока фотоприймача 24, на виході якого формується високочастотний сигнал на частоті ω_2

$$\begin{aligned}\omega_2 &= 2\Omega_M + (\vec{K}_{05} - \vec{K}_{06})\vec{V} + (\vec{K}_{S61} - \vec{K}_{S52})\vec{V} = \\ &= 2\Omega_M + (\vec{K}_1 + \vec{K}_3)\vec{V} = 2\Omega_M + \vec{K}_5\vec{V} = \\ &= 2\Omega_M - 8\pi/\lambda \sin(\gamma/2) \cos(\beta) V_x.\end{aligned}\quad (2)$$

Таким чином, як видно із (1) і (2) частоти ω_1 і

ω_2 пропорційні проекціям швидкості V_z і V_x та чутливості каналів відповідно вимірювання V_z і V_x дорівнюють

$$S_z[\Gamma \text{ ч/м/с}] = 4/\lambda \sin(\gamma/2) \sin(\beta), \quad (3)$$

$$S_x[\Gamma \text{ ч/м/с}] = 4/\lambda \sin(\gamma/2) \cos(\beta). \quad (4)$$

Сигнал на частоті ω_2 з виходу блока фотоприймача 24 через полосовий фільтр 28 подається на перший вхід змішувача 30, на другий вхід

якого подається сигнал на частоті $\omega_3 = 2\Omega_M$ з виходу третього блока фотоприймача 32 через селективний фільтр 33. Блок фотоприймача 32 складається з діафрагми 25, поляризатора 38 і фотоприймача 27 та на його фотокатод направляється лазерний пучок від лазера 1. На виході змішувача 30 за допомогою фільтра нижчих частот 34 виділяється сигнал на різничній частоті

$$\omega_4 = \omega_2 - \omega_3 = 8\pi/\lambda \sin(\gamma/2) \cos(\beta) V_x \quad (5)$$

який подається на вхід вимірювача частоти 36, що видає інформацію про модуль і знак проекції швидкості V_x .

Сигнал на частоті ω_1 з виходу блока фотоприймача 23 через полосовий фільтр 29 потрапляє на перший вхід змішувача 31, на другий вхід

якого потрапляє сигнал на частоті ω_3 з виходу блока фотоприймача 32 через фільтр 33. На виході змішувача 31 за допомогою фільтра нижчих частот 35 виділяється сигнал на різничній частоті

$$\omega_5 = \omega_1 - \omega_3 = 8\pi/\lambda \sin(\gamma/2) \cos(\beta) V_z \quad (6)$$

котрий далі подається на вхід вимірювача 37, що видає інформацію про модуль і знак проекції

швидкості V_z . Частоти ω_4 і ω_5 можуть бути з високою точністю виміряні цифровими доплерівськими процесорами 36 і 37 і на похибку вимірювання компонент V_x і V_z не робить вплив

нестабільність частотного зсуву Ω_M зесманівського лазера, яка в процесі вимірювання може змінюватися у зв'язку зі зміною зовнішнього магнітного поля H_M .

ЛДДА (фіг 1) може працювати при $\beta > 0$ та прийомі розсіяного назад випромінювання у напрямку 12 і 13, які повинні лежати у площині зондуєчих пучків, оскільки в цій площині, як показують досліди [3], не спостерігаються зміни стану поляризації розсіяних пучків.

ЛДДА може бути реалізован у варіанті, коли здійснюється прийом розсіяного вперед випромінювання (фіг 2) також у площині зондуєчих пучків ОХЗ. У цьому випадку векторна діаграма зондуєчих і розсіяних пучків має вигляд наданий на фіг 4, а схема (фіг.2) працює аналогічно ЛДДА наданому на фіг 1 і описаній вище.

Схеми ЛДДА (фіг 1 і 2) мають властивість симетрії як для зондуєчих, так і розсіяних пучків, тому в них можна використати потужні лазери з відносно малою довжиною когерентності випро-

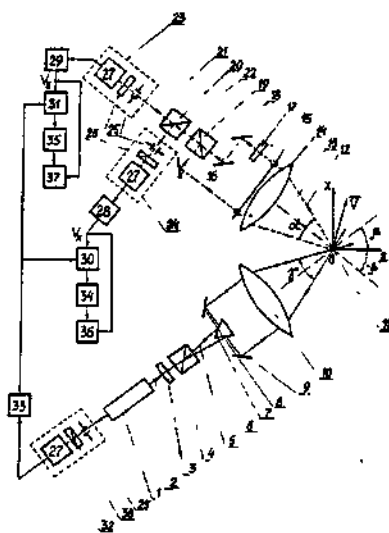
міння. ЛДДА дозволяє вимірювати з високою точністю і стійкістю до завад дві ортогональні проекції швидкості у площині зондуючих пучків. Принцип дії ЛДДА (фіг. 1 і 2) оснований на формуванні в зоні вимірювання двох бігучих віртуальних інтерференційних смуг. Причому одна віртуальна інтерференційна картина має орієнтацію максимумів паралельно до площини OXZ і її період вздовж осі OX дорівнює

$$\delta_z = \frac{\lambda}{4 \sin(\gamma/2) \sin(\beta)},$$

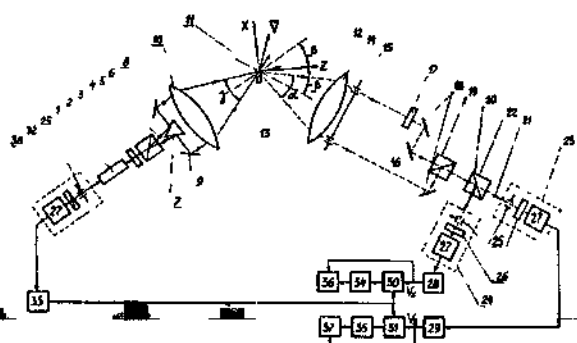
а друга інтерференційна картина має орієнтацію максимумів паралельно до площини OXZ і її період вздовж осі OY дорівнює

$$\delta_x = \frac{\lambda}{4 \sin(\gamma/2) \cos(\beta)}.$$

Параметр схеми ЛДДА кут між зондуючими



Фіг. 1

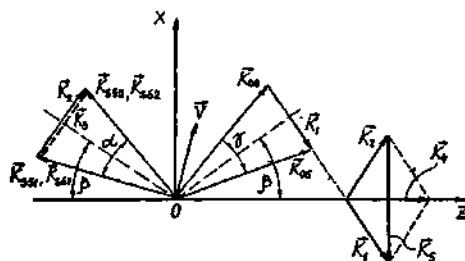


Фіг. 2

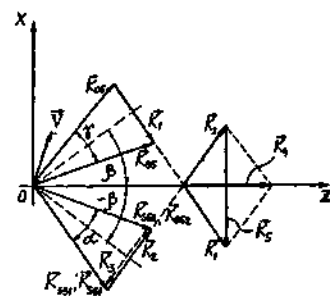
пучками $\gamma = \alpha$ може бути вибраний оптимальним чином [3] виходячи з розмірів рухомих мікрочастинок, а необхідна чутливість каналів вимірювання V_x і V_z встановлюється зміною β . ЛДДА на відміну від прототипу працює стійко до завад при різних кутах β і прийомі розсіяного як вперед, так і назад випромінювання.

Джерела інформації

1. Laser Doppler anemometry: 55 L 01. Catalog DISA, 1976, p. 11 (аналог).
2. Лазерный двоконтентный доплеровский анемометр. Заявка на винахід подана в Держпатент 17.10.2000 (прототип).
3. Землянский В.М. Измерение скорости потоков лазерным доплеровским методом. - К.: Вища школа, 1987. - 177 с.



Фіг. 3



Фіг. 4

ДП «Український інститут промислової власності» (Укрпатент)

вул. Сім'ї Хохлових, 15, м. Київ, 04119, Україна

(044) 456 - 20 - 90