



ДЕРЖАВНА СЛУЖБА  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІ  
УКРАЇНИ

УКРАЇНА

(19) **UA**

(11) **99838**

(13) **C2**

(51) МПК

**G01P 3/36** (2006.01)

## (12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВИНАХІД

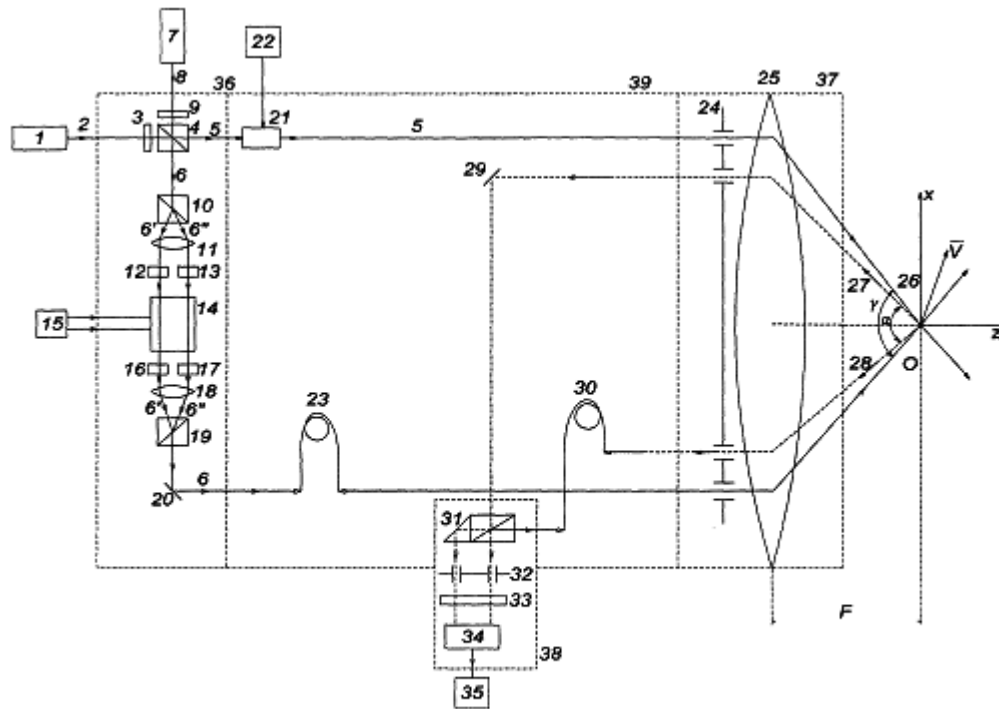
(21) Номер заявки:	<b>а 2010 06815</b>	(72) Винахідник(и):	<b>Землянський Володимир Михайлович (UA), Гусєв Михайло Олегович (UA)</b>
(22) Дата подання заявки:	<b>02.06.2010</b>	(73) Власник(и):	<b>НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ, пр. Комарова, 1, м.Київ, 03680 (UA)</b>
(24) Дата, з якої є чинними права на винахід:	<b>10.10.2012</b>	(56) Перелік документів, взятих до уваги експертизою:	<b>UA 41625 A, 17.09.2001. UA 41610 A, 17.09.2001. UA 41580 A, 17.09.2001. UA 39445 A, 15.06.2001. UA 40902 A, 15.08.2001. EP 1978369 A1, 07.04.2007. US 4397550, Aug.9, 1983.</b>
(41) Публікація відомостей про заявку:	<b>12.12.2011, Бюл.№ 23</b>		
(46) Публікація відомостей про видачу патенту:	<b>10.10.2012, Бюл.№ 19</b>		

## (54) ЛАЗЕРНИЙ ДОППЛЕРІВСЬКИЙ ВИМІРЮВАЧ ШВИДКОСТІ

### (57) Реферат:

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.

UA 99838 C2



Фиг. 1

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

Відомий лазерний доплерівський вимірювач швидкості (ЛДВШ) [1], що містить лазер, фокусуючий об'єктив, діафрагму з двома отворами, дзеркало, змішувач, фотоприймач і вимірювач доплерівської частоти.

Проте, відомий вимірювач має невисоку чутливість, змінювати яку можливо тільки шляхом зміни кута а між розсіяними пучками.

Найбільш близьким технічним рішенням є вимірювач [2], що складається з оптично узгоджених лазера, блока формування двох паралельних лазерних пучків, до якого входять дзеркало і світлоділник, оптичного пристрою створення тимчасових затримок одного зонduючих і одного з розсіяних пучків; датчика, 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.

Відомий вимірювач при вимірі високошвидкісних потоків має відносно невисоке співвідношення сигнал/шум, що знижує 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 зонduючих пучків оптичного пристрою створення тимчасових затримок, крім того другий лазер оптично узгоджений з другим входом світлоділника блока формування пучків.

На фіг. 1 представлена блок-схема ЛДВШ для виміру високошвидкісних потоків; на фіг. 2 блок-схема ЛДВШ для виміру малих швидкостей; на фіг. 3 і 4 - геометрія зонduючих і розсіяних пучків відповідно для ЛДВШ фіг. 1 і фіг. 2; на фіг. 5 блок-схема волоконно-оптичного ЛДВШ.

ЛДВШ (фіг. 1, 2, 5) включає: лазер 1 в одномодовому режимі, випромінюючий лінійно поляризований пучок на довжині хвилі  $\lambda_1$ , півхвильову пластину 3, світлоділник 4, що розділяє пучок 2 на два пучки 5 і 6 рівної інтенсивності, одномодовий лазер 7, випромінюючий лінійно поляризований пучок 8 на довжині хвилі  $\lambda_1$ , 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 ( $U \cos \omega_m t$  і  $U \sin \omega_m t$ ) 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 фіг. 5 так само одномодові світловоди

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  $\lambda_1$  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 світлоділником 4 на два пучки 5' і 6' рівної інтенсивності. Другий одномодовий лазер 7 випромінює лінійно поляризований пучок 8, який за допомогою півхвильової пластини 9 перетворюється 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  $\alpha_{12} = 135^\circ$  перетворюється в правоциркулярно поляризований пучок. Другий пучок 6" після проходження чвертьхвильової пластини 13 з азимутом швидкої осі  $\alpha_{13} = 45^\circ$  також перетворюється в правоциркулярно поляризований пучок. Ці пучки 6' і 6" проходять електрооптичний кристал 14, на дві пари граней якого подається півхвильова напруга на частоті  $\Omega_M$  в квадратурі, від генератора 15. Далі пучок 6' що має частоту  $\omega_0 + \Omega_M$ , ( $\omega_0$  - 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 25 в зону виміру 26, через яку рухається потік із швидкістю  $\vec{V}$ . 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:  $\vec{K}'_{s51}, \vec{K}''_{s51}, \vec{K}'_{s62}$  і  $\vec{K}''_{s62}$ , а пучок 28 складається з  $\vec{K}'_{s52}, \vec{K}''_{s52}, \vec{K}'_{s61}$  і  $\vec{K}''_{s61}$ . Причому, оскільки розсіяні пучки 27 і 28 збираються в площині зондуєчих пучків 5 і 6 - OXZ, то розсіяні пучки  $\vec{K}'_{s51}, \vec{K}'_{s62}, \vec{K}'_{s52}$  і  $\vec{K}'_{s61}$  - мають вертикальну поляризацію, а розсіяні пучки  $\vec{K}''_{s51}, \vec{K}''_{s62}, \vec{K}''_{s52}$  і  $\vec{K}''_{s61}$  - 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. фіг. 3)

$$\omega'_2 = \omega'_{s61} - \omega'_{s52} = \Omega_M + (\vec{K}'_{06} - \vec{K}'_{05})\vec{V} + (\vec{K}'_{s52} - \vec{K}'_{s61})\vec{V} = \Omega_M + (\vec{K}'_1 - \vec{K}'_3)\vec{V} = \Omega_M + \vec{K}'\vec{V}, \quad (1)$$

$$\omega''_2 = \omega''_{s61} - \omega''_{s52} = \Omega_M + (\vec{K}''_{06} - \vec{K}''_{05})\vec{V} + (\vec{K}''_{s52} - \vec{K}''_{s61})\vec{V} = \Omega_M + (\vec{K}''_1 - \vec{K}''_3)\vec{V} = \Omega_M + \vec{K}''\vec{V}, \quad (2)$$

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

$$\omega'_2 = \omega''_2 = \omega_2 = \Omega_M + \frac{8\pi}{\lambda_1} \cos\left(\frac{\gamma + \alpha}{4}\right) \sin\left(\frac{\gamma - \alpha}{4}\right) V_x, \quad (3)$$

де  $\lambda_1$  - довжина хвилі випромінювання лазерів 1 і 7,

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

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

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

Частота сигналу  $\omega_2$  вимірюється вимірювачем доплерівської частоти 35, який видає інформацію про модуль і знак проекції швидкості  $V_x$ .

Перший сигнал (1) на частоті  $\omega'_2$  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  $K'_{n2}=1$  [3]. Другий сигнал (2) на частоті  $\omega''_2$  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 (1) і (2) 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 (1) і (2) 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 (фіг.1) має відносно низьку чутливість

$$S_x \left[ \frac{\Gamma_c}{M/c} \right] = \frac{4}{\lambda} \cos\left(\frac{\gamma+\alpha}{4}\right) \sin\left(\frac{\gamma-\alpha}{4}\right), \quad (4)$$

тому її доцільно використовувати при вимірі великих швидкостей, наприклад, гіперзвукових.

При вимірі малих швидкостей потоків, наприклад, при броунівському русі, доцільно використовувати схему ЛДВШ (фіг. 2). Ця схема відрізняється від схеми (фіг.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  $|\gamma'_i|=0$  або  $K_{ni}=0$ ), а також два корисні високочастотні сигнали на частотах  $\omega'_1$  і  $\omega''_1$ , рівних за величиною і пропорційних проекції швидкості  $V_x$  (див. фіг. 4)

$$\omega'_1 = \omega'_{s62} - \omega'_{s51} = \Omega_M + (\vec{K}'_{06} - \vec{K}'_{05}) \vec{V} + (\vec{K}''_{s51} - \vec{K}''_{s62}) \vec{V} = \Omega_M + (\vec{K}''_1 - \vec{K}'_2) \vec{V} = \Omega_M + \vec{K}''_4 \vec{V}, \quad (5)$$

$$\omega''_1 = \omega'_{s62} - \omega'_{s51} = \Omega_M + (\vec{K}'_{06} - \vec{K}'_{05}) \vec{V} + (\vec{K}'_{s51} - \vec{K}'_{s62}) \vec{V} = \Omega_M + (\vec{K}'_1 - \vec{K}'_2) \vec{V} = \Omega_M + \vec{K}'_4 \vec{V}, \quad (6)$$

$$\vec{K}'_4 = \vec{K}''_4$$

$$\omega'_1 = \omega''_1 = \omega_1 = \Omega_M + \frac{8\pi}{\lambda_1} \cos\left(\frac{\gamma+\alpha}{4}\right) \sin\left(\frac{\gamma-\alpha}{4}\right) V_x. \quad (7)$$

Схема (фіг. 2) має високу чутливість

$$S_x \left[ \frac{\Gamma_c}{M/c} \right] = \frac{4}{\lambda} \sin\left(\frac{\gamma+\alpha}{4}\right) \cos\left(\frac{\gamma-\alpha}{4}\right), \quad (8)$$

що важливо при вимірі малих швидкостей.

При вимірі швидкостей у важкодоступних зонах використовується варіант ЛДВШ (фіг. 5) з використанням волоконно-оптичного пристрою тимчасових затримок 39, який складається з чотирьох світлопроводів 40, 41, 42, 43. На фіг. 5 представлена схема ЛДВШ, яка працює в режимі максимальної чутливості (8). Для переходу в режим мінімальної чутливості (4) 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.

Джерела інформації:

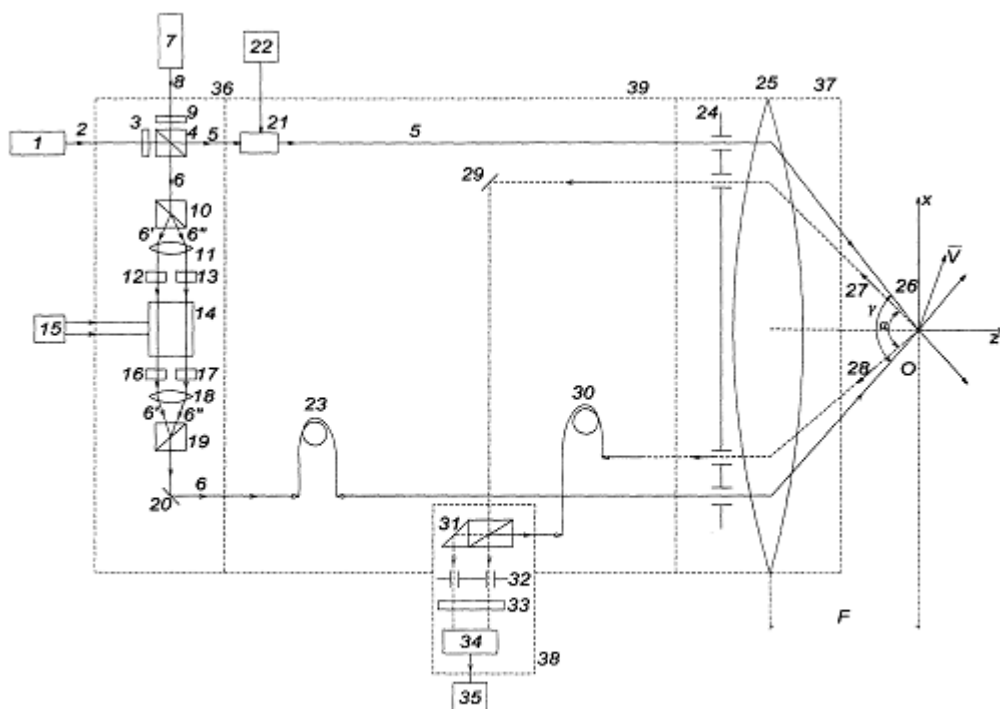
1. Дубнищев Ю. Н. Ринкевичус Б. С. Методы лазерной доплеровской анемометрии. - М.: Наука - 1982. - С. 67-69.

2. Лазерний доплерівський анемометр. Землянський В. М. Патент України 41625А, Бюл. №8, 2001 р.

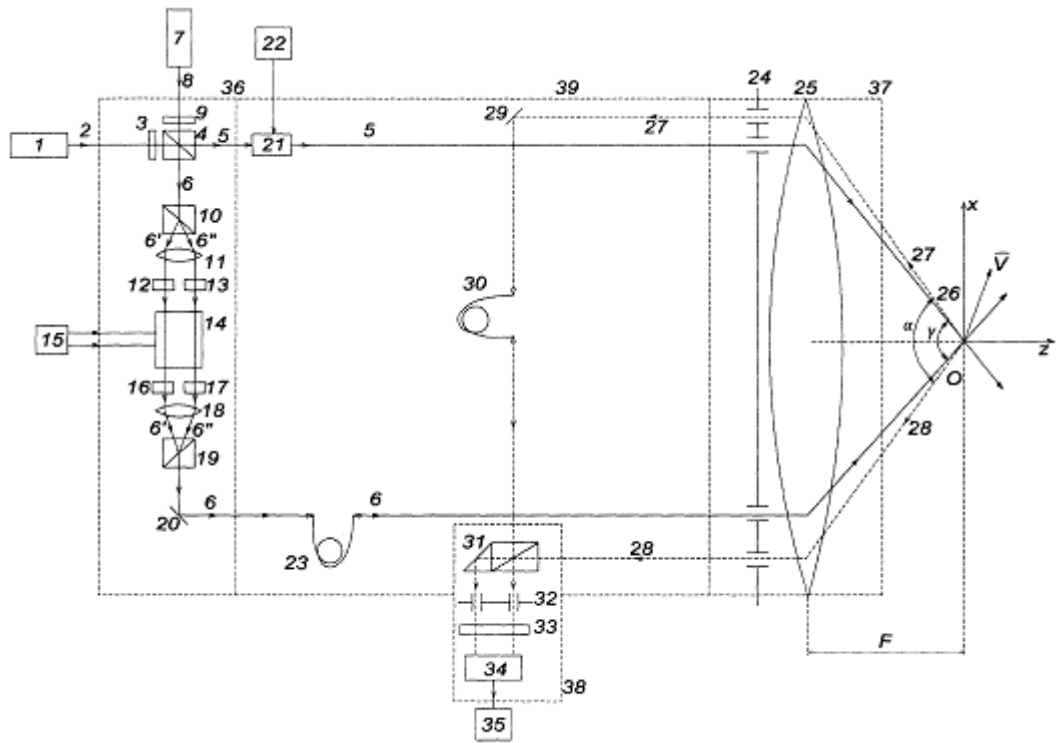
3. Землянський В. М. Измерение скорости потоков лазерным доплеровским методом. - К.: Вища школа - 1987. - 177с.

ФОРМУЛА ВИНАХОДУ

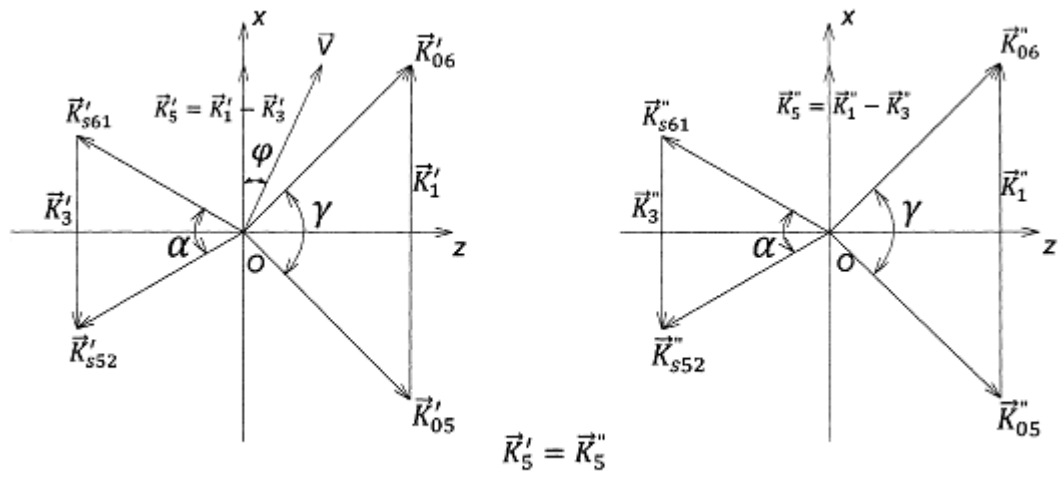
Лазерний доплерівський вимірювач швидкості, що складається з оптично узгоджених лазера, блока формування двох паралельних лазерних пучків, який включає світлоділний і дзеркало; оптичного пристрою створення тимчасових затримок одного з зондуючих і одного з розсіяних пучків; датчика, який включає фокусуючий 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 квадратного генератора високої частоти, других двох чвертьхвильових пластин, лінзи і призми Волластона; причому в блоці формування променів встановлено дві півхвильові пластини на входах світлоділника, а також електрооптичний пристрій на шляху одного з сформованих пучків, крім того, фазорегулятор встановлений на шляху одного із зондуючих пучків оптичного пристрою створення тимчасових затримок; а другий лазер оптично узгоджений з другим входом світлоділника блока формування пучків.



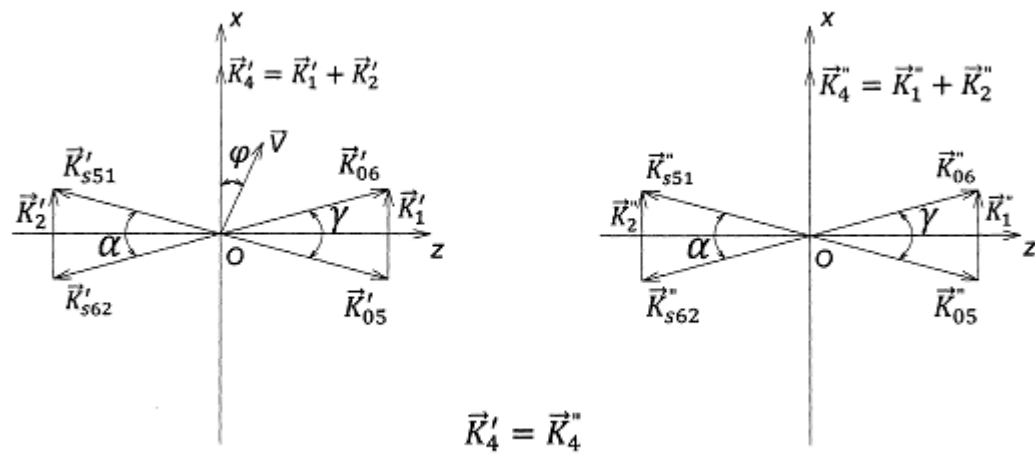
Фиг. 1



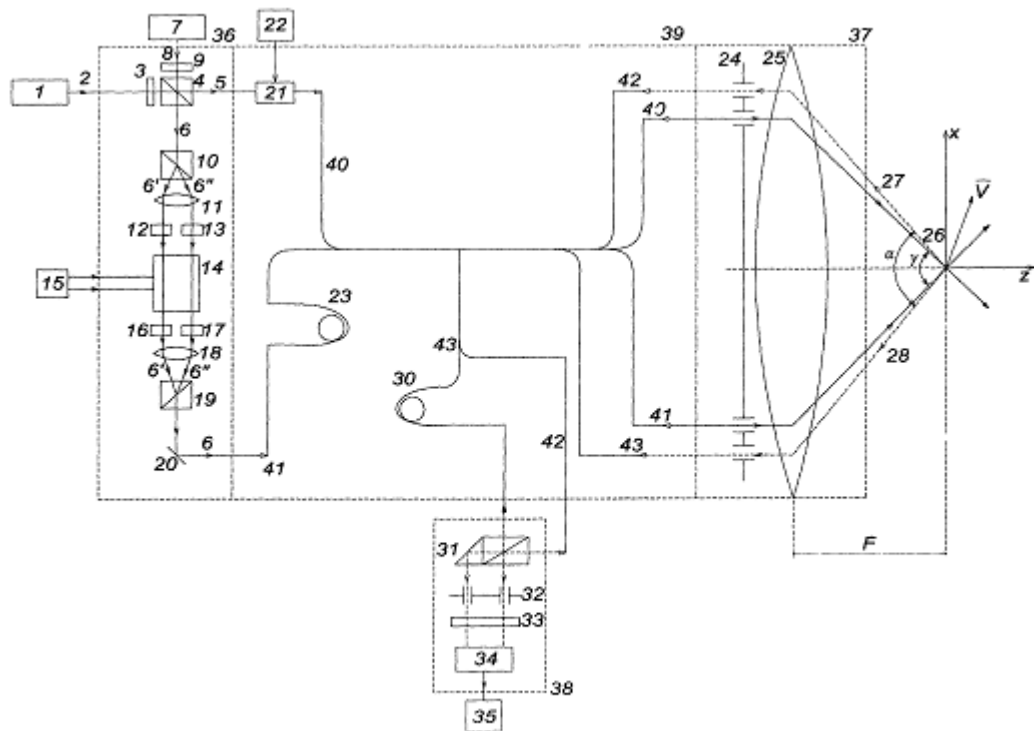
Фиг. 2



Фиг. 3



Фиг. 4



Фиг. 5

Комп'ютерна верстка М. Мацело

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

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