



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **102646** (13) **C2**
(51) МПК (2013.01)
G01P 3/00
G01P 3/36 (2006.01)

ДЕРЖАВНА СЛУЖБА
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ
УКРАЇНИ

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВІНАХІД

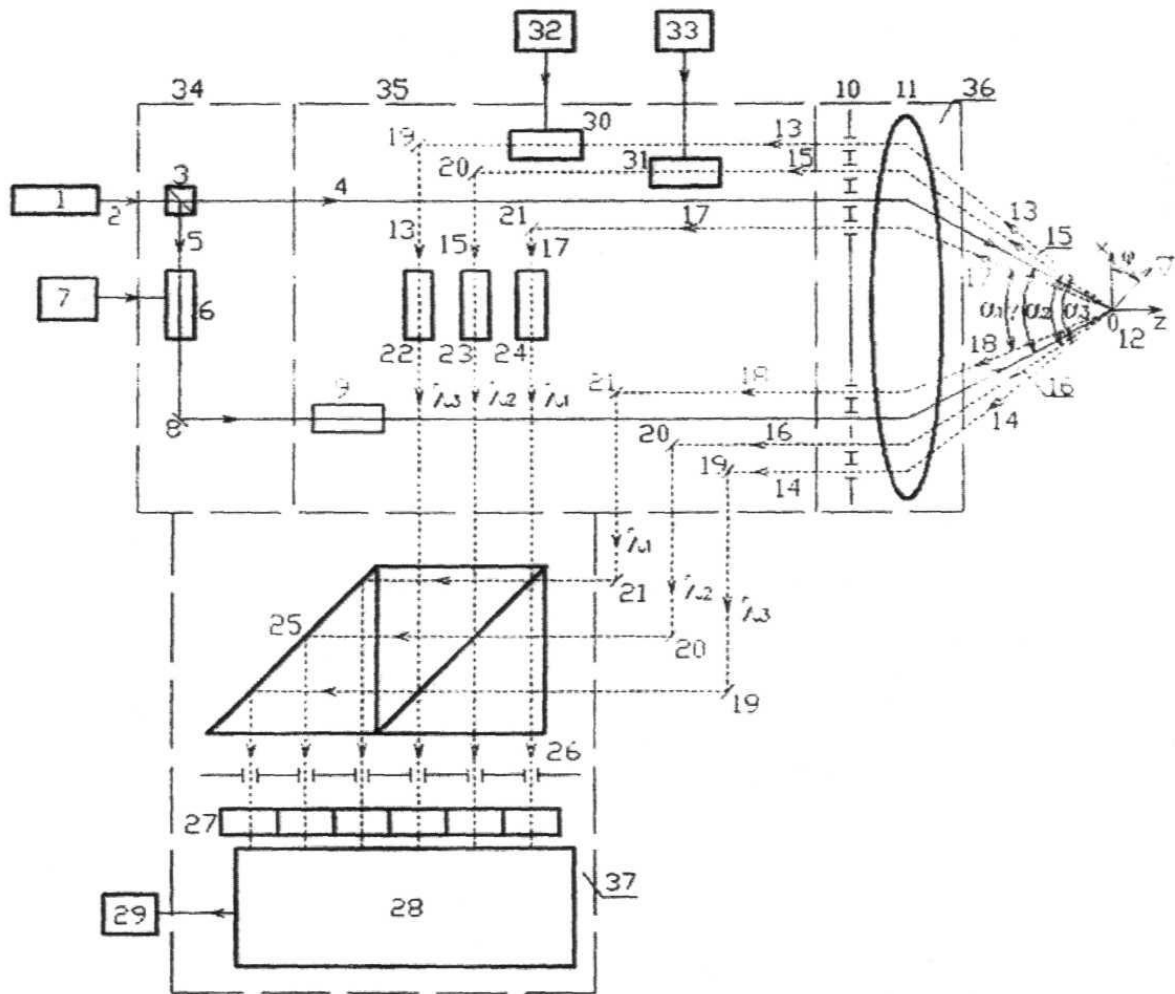
(21) Номер заявки: а 2012 06636	(72) Винахідник(и): Землянський Володимир Михайлович (UA), Гусєв Михайло Олегович (UA)
(22) Дата подання заявки: 31.05.2012	(73) Власник(и): НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ, пр. Комарова, 1, м. Київ, 03680 (UA)
(24) Дата, з якої є чинними права на винахід: 25.07.2013	(56) Перелік документів, взятих до уваги експертизою: UA a2011111749 A, 10.08.2012 UA 99838 C2, 12.12.2011 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, 10.07.1990 SU 1078336, 07.03.1984 SU 1080084 A, 15.03.1984 Дубнищев Ю.Н., Ринкевичус Б.С. Методы лазерной доплеровской анемометри. - М.: Наука, 1982, - С. 67-69
(41) Публікація відомостей про заявку: 11.03.2013, Бюл.№ 5	
(46) Публікація відомостей про видачу патенту: 25.07.2013, Бюл.№ 14	

(54) БАГАТОХВИЛЬОВИЙ ЛАЗЕРНИЙ ДОППЛЕРІВСЬКИЙ АНЕМОМЕТР

(57) Реферат:

Багатохвильовий лазерний доплерівський анемометр складається з лазера на трьох довжинах хвиль, світлоділника, двох фазорегуляторів, трьох ліній затримок, датчика, приймального блока та вимірювача доплерівської частоти. Пристрій відрізняється високою чутливістю та може використовуватися для вимірювання дуже малих швидкостей.

UA 102646 C2



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

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

5 Проте, відомий вимірювач має невисоку чутливість, змінювати яку можна тільки шляхом зміни кута α між розсіяними пучками.

Найбільш близьким технічним рішенням є багатохвильовий лазерний доплерівський анемометр (МЛДА) [2], що складається з оптично узгоджених багатохвильового лазера, випромінюючого на трьох довжинах хвиль $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$; блока формування двох паралельних пучків, який включає багатохвильовий світлодіодний пристрій з генератором високої частоти і дзеркало; оптичного пристрою створення тимчасових затримок, який включає два фазорегулятори з блоками живлення, лінію затримки на шляху одного зонduючого пучка, а також трьох ліній затримок і трьох селективних дзеркал на довжинах хвиль $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$; датчика, який включає фокусуючий об'єктив; приймального блока, що включає багатохвильовий змішувач, діафрагму з шістьма отворами, лінійку з шести інтерференційних світлофільтрів та фотоприймач, вихід якого з'єднаний з вимірювачем доплерівської частоти.

Відомий МЛДА має низьку чутливість, тому не може бути використаний для точного виміру дуже малих швидкостей.

В основу винаходу поставлена задача підвищення чутливості схеми МЛДА при незмінних параметрах схеми та збереженні високого відношення сигнал/шум. За рахунок використання в схемі апертурної діафрагми з 8-ма отворами, в якій відстань b_i - від оптичної осі схеми OZ до центрів 2-х отворів, через які проходять розсіяні пучки, відповідні прийому на довжинах хвиль $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$ визначається зі співвідношення:

$$b_i = F \tan \left\{ \arcsin \left[\frac{\lambda_i}{\lambda_1} \sin \left(\arctg \frac{b_1}{F} \right) - \left(\frac{\lambda_1 - \lambda_i}{\lambda_1} \right) \sin \left(\arctg \frac{a}{F} \right) \right] \right\},$$

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

Поставлена задача досягається тим, що в багатохвильовому лазерному доплерівському анемометрі, що складається з оптично узгоджених багатохвильового лазера, випромінюючого на трьох довжинах хвиль $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$; блока формування двох паралельних пучків, який включає багатохвильовий світлодіодний пристрій з генератором високої частоти і дзеркало; оптичного пристрою створення тимчасових затримок, який включає два фазорегулятори з блоками живлення, лінію затримки на шляху одного зонduючого пучка, а також трьох ліній затримок і трьох селективних дзеркал відповідно на $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$; датчика, який включає фокусуючий об'єктив; приймального блоку, який включає багатохвильовий змішувач, діафрагми з шістьма отворами, лінійки з шести послідовно встановлених інтерференційних світлофільтрів на довжинах хвиль $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$ і фотоприймач, вихід якого з'єднаний з вимірювачем доплерівської частоти, додатково встановлена апертурна діафрагма з 8-ма отворами, виконаними таким чином, що при вибраних координатах центрів отворів a і b_i вибираються координати симетричних центрів отворів для розсіяних пучків на довжинах хвиль λ_2 і λ_3 виходячи зі співвідношення.

$$b_i = F \tan \left\{ \arcsin \left[\frac{\lambda_i}{\lambda_1} \sin \left(\arctg \frac{b_1}{F} \right) - \left(\frac{\lambda_1 - \lambda_i}{\lambda_1} \right) \sin \left(\arctg \frac{a}{F} \right) \right] \right\}, \quad (1)$$

40 де $i=2, 3$; $\lambda_1 > \lambda_2 > \lambda_3$;

F - фокусна відстань об'єктива;

a - відстань від оптичної осі симетрії схеми до центрів 2-х отворів апертурної діафрагми, через які проходять два зонduючих пучки;

b_i - відстань від осі схеми до центрів 2-х отворів апертурної діафрагми, через які проходять

45 розсіяні пучки ($i=1, 2, 3$), крім того, три лінії затримки встановлені на шляху однієї пари трьох розсіяних пучків, а два фазорегулятори і два селективних дзеркала на шляху цих двох із трьох розсіяних пучків.

Багатохвильовий лазерний доплерівський анемометр (фіг. 1) (МЛДА) включає: багатохвильовий лазер 1, який випромінює пучок 2 на трьох довжинах хвиль $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$ (наприклад, аргонний лазер), багатохвильовий світлодіодний пристрій 3, який ділить пучок 2 на два пучки 4 і 5 рівної інтенсивності на кожній із довжин хвиль випромінювання $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$, пристрій

зсуву частоти 6 з генератором високої частоти 7, дзеркало 8, лінію затримки 9, апертурну діафрагмою з 8-ма круглими отворами, фокусуючий 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 затримок 22, 23 і 24, багатохвильовий складовий змішувач 25 для довжин хвиль λ_1 , λ_2 , λ_3 , діафрагму 26 із шістьма отворами, лінійку з шести інтерференційних світлофільтрів 27 для довжин хвиль λ_1 , λ_2 , λ_3 , фотоприймач 28, вимірювач доплерівської частоти 29; а також блок формування двох паралельних пучків 34, що включає оптичні елементи й 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 та 11; приймальний блок 37, що включає відповідно: 25, 26, 27 і 28.

МЛДА працює таким чином. Лазер 1 випромінює пучок 2 на трьох потужних довжинах хвиль λ_1 , λ_2 , λ_3 , який ділиться світлоділником 3 на два пучки рівної 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 λ_i ($i=1, 2, 3$). Пучок 5, після проходження частотозсувного пристрою 6, зміщується по частоті на фіксовану величину Ω_M і потім, відбившись від дзеркала 8, поширюється, як і пучок 4, паралельно і симетрично відносно оптичної осі схеми OZ. 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'єктивом 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 відносно пучка 4 на величину $\tau_3 > \tau_{ki}$ (τ_{ki} - максимальний час когерентності випромінювання, що відповідає довжині хвилі λ_i), 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 схеми OZ, збирається об'єктивом 11 в межах малих круглих отворів апертурної діафрагми 10, яка знаходиться в фокальній площині об'єктива 11. Розсіяні пучки 13 і 15, після проходження відповідних фазорегулятора 30 і 31 та відображення відповідно від селективних дзеркал 19 і 20 на довжинах хвиль λ_1 і λ_2 , далі проходять лінії затримки 22 і 23 і спрямовуються на перший вхід складового змішувача 25. На цей вхід змішувача 25 подається також розсіяний пучок 17 після відбиття від селективного дзеркала 17 на довжині хвилі λ_3 і проходження лінії затримки 24. На другий вхід змішувача 25 направляються розсіяні пучки 14, 16 і 18 (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: 13 - τ_{λ_3} ; 15 - τ_{λ_2} ; 17 - τ_{λ_1} , який створюється за допомогою ліній затримок 22, 23 і 24 вибирають таким, щоб при оптичному змішуванні пар пучків: 13-14; 15-16; 17-18, для цих пар пучків модуль комплексного ступеня часової когерентності $|\gamma_{\lambda_2}(\tau_3)| = 1$, тобто вони були когерентні. На виході змішувача 25 формуються 6 пучків, що відповідають довжинам хвиль: λ_1 , λ_2 , λ_3 , λ_1 , λ_2 і λ_3 , які проходять через шість отворів діафрагми 26 і лінійки з шести інтерференційних світлофільтрів на довжинах хвиль: λ_1 , λ_2 , λ_3 , λ_1 , λ_2 і λ_3 , і далі спрямовуються на фотокатод фотоприймача 28. На виході фотоприймача 28 формуються три корисних високочастотних сигнали, що відповідають оптичному змішуванню розсіяних пучків на довжинах хвиль λ_1 , λ_2 , λ_3 , на частоті:

$$\omega_i = \Omega_M + \frac{8\pi}{\lambda_i} \sin\left(\frac{\gamma + \alpha_i}{4}\right) \cos\left(\frac{\gamma + \alpha_i}{4}\right) V_{\alpha}, \quad (2)$$

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

V_{α} - горизонтальна проекція вектора швидкості $V_x = \cos \varphi$.

Ці три сигнали збігаються за частотою $\omega_1 = \omega_2 = \omega_3 = \omega$ і підсумовуються, якщо для геометрії зондуєчих і розсіяних пучків виконується співвідношення (фіг. 1):

$$b_i = F \tan \left\{ \arcsin \left[\frac{\lambda_i}{\lambda_1} \sin \left(\arctg \frac{b_1}{F} \right) - \left(\frac{\lambda_1 - \lambda_i}{\lambda_1} \right) \sin \left(\arctg \frac{a}{F} \right) \right] \right\}, \quad (3)$$

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

F - фокусна відстань об'єктива;

а - відстань від оптичної осі симетрії схеми ОЗ до центрів 2-х отворів апертурної діафрагми 10, через які проходять два зонduючих пучки 4 і 5;

b_i - відстань від осі схеми ОЗ до центрів 2-х отворів апертурної діафрагми 10, через які проходять пари розсіяних пучків: 13-14; 15-16; 17-18.

5 Три корисних сигнали на одній частоті ω для конкретних параметрів оптичної схеми МЛДА можуть мати різноманітні фази. Тому для ефективного прийому необхідно забезпечити також фазові узгодження трьох корисних доплерівських сигналів [3]. Синфазність цих трьох сигналів забезпечується за допомогою фазорегуляторів 30 і 31. Для схеми МЛДА виконуються умови автоматичного заглушення 15 високочастотних сигналів - перешкод за рахунок руйнування

10 часової когерентності між змішуваними розсіяними пучками формуючими ці 15 сигналів. Частота сигналу (1) вимірюється вимірником доплерівської частоти 29, який видає інформацію про модуль і знак проекції швидкості V_x .

Схема МЛДА на відміну від прототипу має відносно високу чутливість:

$$S_x \left[\frac{\Gamma_{\text{ц}}}{\frac{M}{C}} \right] = \frac{4}{\lambda_i} \sin \left(\frac{\gamma + \alpha_i}{4} \right) \cos \left(\frac{\gamma + \alpha_i}{4} \right), \quad (4)$$

15 тому її ефективно використовувати при вимірюванні малих швидкостей потоків: мм/с і менше.

У розробленому МЛДА усунені недоліки, властиві прототипу і відомим пристроям. В МЛДА забезпечується істотне підвищення чутливості (на порядок і більше) при незмінних параметрах оптичної схеми, за рахунок нової геометрії і параметрів зонduючих і розсіяних пучків (див. (2)), а також апертурної діафрагми. МЛДА може використовуватися для вимірювання дуже малих швидкостей, наприклад, при броунівському русі, де прототип через низьку чутливість не може бути використаний.

Джерела інформації:

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

25 2. Багатохвильовий лазерний доплерівський анемометр. Землянський В.М., Гусев М.О. Заявка подана в Держпатент України № а 201111749 від 5.10.11 р.

3. Землянський В.М. Измерение скорости потоков лазерным доплеровским методом. - К.: Вища шк., 1987. - 117 с.

30

ФОРМУЛА ВИНАХОДУ

Багатохвильовий лазерний доплерівський анемометр, що складається з оптично узгоджених багатохвильового лазера, випромінюючого на трьох довжинах хвиль $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$; блока формування двох паралельних пучків, який включає багатохвильовий світлодіодник, частотозсувний пристрій з генератором високої частоти і дзеркало; оптичного пристрою створення тимчасових затримок, який включає два фазорегулятори з блоками живлення, лінію затримки на шляху одного зонduючого пучка, а також трьох ліній затримок і трьох селективних дзеркал відповідно на $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$, датчика, який включає фокусуючий об'єктив; приймального блока, що включає багатохвильовий змішувач, діафрагми з шістьма отворами, лінійки з шести послідовно встановлених інтерференційних світлофільтрів на довжинах хвиль $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$ і фотоприймач, вихід якого з'єднаний з вимірювачем доплерівської частоти, який **відрізняється** тим, що має апертурну діафрагму з 8-ма отворами, виконаними таким чином, що при вибраних координатах центрів отворів а і b_i вибираються координати симетричних центрів отворів для розсіяних пучків на довжинах хвиль λ_2 і λ_3 , виходячи зі співвідношення:

$$b_i = F \tan \left\{ \arcsin \left[\frac{\lambda_i}{\lambda_1} \sin \left(\arctg \frac{b_1}{F} \right) - \left(\frac{\lambda_1 - \lambda_i}{\lambda_1} \right) \sin \left(\arctg \frac{a}{F} \right) \right] \right\},$$

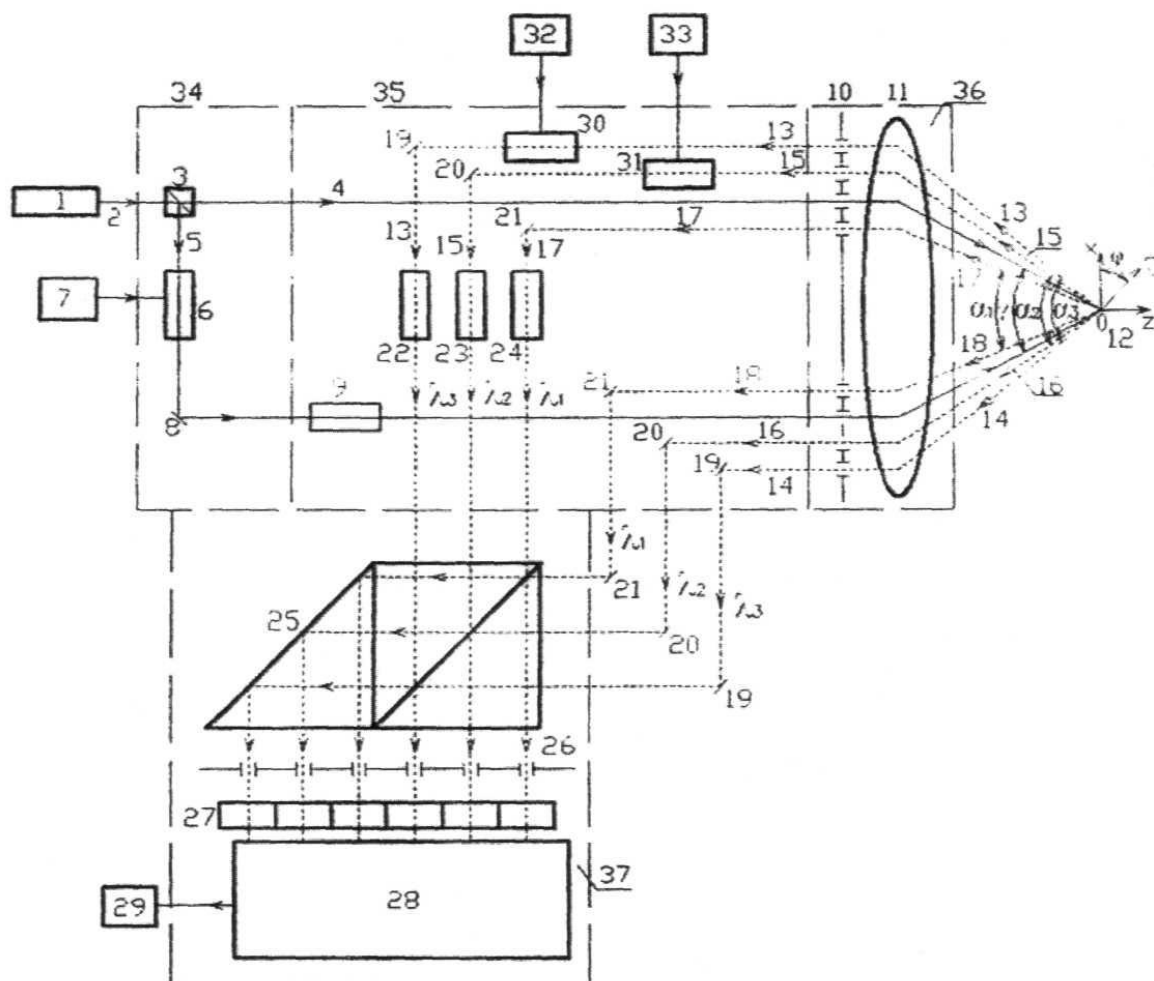
де $i = 1, 2, 3$; $\lambda_1 > \lambda_2 > \lambda_3$;

F - фокусна відстань об'єктива;

50 а - відстань від оптичної осі симетрії схеми до центрів 2-х отворів апертурної діафрагми, через які проходять два зонduючих пучки;

b_i - відстань від осі схеми до центрів 2-х отворів апертурної діафрагми, через які проходять розсіяні пучки ($i=1, 2, 3$), крім того, три лінії затримки встановлені на шляху однієї пари трьох розсіяних пучків, а два фазорегулятори і два селективних дзеркала - на шляху цих двох із трьох розсіяних пучків.

5



10

Комп'ютерна верстка М. Ломалова

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