



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **146326** (13) **U**
(51) МПК (2021.01)
G01B 9/02 (2006.01)
G01H 13/00

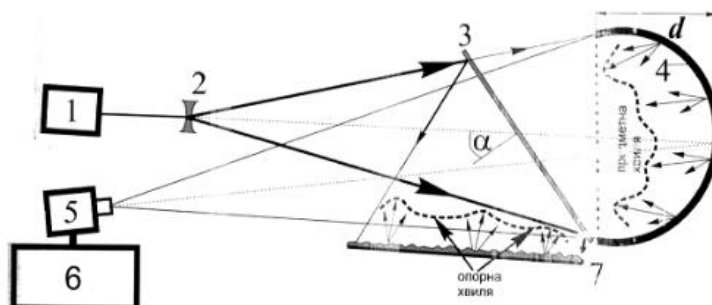
НАЦІОНАЛЬНИЙ ОРГАН
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ
ДЕРЖАВНЕ ПІДПРИЄМСТВО
"УКРАЇНСЬКИЙ ІНСТИТУТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ"

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

(21) Номер заявки: u 2020 06205	(72) Винахідник(и): Ткач Михайло Романович (UA), Золотий Юрій Григорович (UA), Проскурін Аркадій Юрійович (UA), Галинкін Юрій Миколайович (UA), Жук Ірина Юріївна (UA), Бобильов Ігор Олексійович (UA), Ключник Володимир Сергійович (UA)
(22) Дата подання заявки: 25.09.2020	
(24) Дата, з якої є чинними права інтелектуальної власності: 11.02.2021	
(46) Публікація відомостей про державну реєстрацію: 10.02.2021, Бюл.№ 6	(73) Володілець (володільці): НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ КОРАБЛЕБУДУВАННЯ ІМЕНІ АДМІРАЛА МАКАРОВА, просп. Героїв України, 9, м. Миколаїв, 54025 (UA)

(54) ПРИСТРІЙ З ПІДВИЩЕНОЮ ЗАВАДОСТІЙКІСТЮ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ КОЛИВАНЬ КОНСТРУКЦІЙ МЕТОДОМ ЕЛЕКТРОННОЇ СПЕКЛ-ІНТЕРФЕРОМЕТРІЇ**(57) Реферат:**

Пристрій для дослідження форм коливань містить джерело когерентного випромінювання, розширювач пучка, відеокамеру, з'єднану з комп'ютером. Безпосередньо біля досліджуваного об'єкта розташовані прозорий світлорозділювач у вигляді плоскопаралельної скляної пластинки і віддзеркалюючий дифузор, що забезпечує освітлення та спостереження об'єкта через прозоре скло без додаткового розсіювання світлових пучків, надає можливість оптимізації довжин предметного і опорного пучків і можливість регулювання співвідношення інтенсивностей інтерферуючих спекл-полів. Більшу частину довжини поширення предметна і опорна хвилі проходять сумісно, практично зберігаючи стійкість оптичних схем.



Фіг. 2

UA 146326 U

Корисна модель належить до вимірювальної техніки і може бути використана для визначення форм коливань деталей і вузлів конструкцій в машинобудуванні методом електронної спекл-інтерферометрії (ЕСІ).

Відомий інтерферометр з гладеньким осьовим опорним пучком, що містить джерело когерентного випромінювання, канал формування предметного пучка, канал формування опорного пучка, світлорозділювач для накладення предметної і опорної хвиль відповідних пучків і трубку телекамери, кореляційні смуги в якому отримують в результаті електронної обробки зображення з використанням телевізійної техніки. (Джоунс Р. Голографическая и спекл-интерферометрия [Текст] / Р. Джоунс, К. Уайкс. - М.: Мир, 1986 г., - С. 186). Недоліком цього пристрою є складність юстування даної оптичної схеми, так як центр опорного пучка повинен бути суміщений з центром лінзи, що формує предметний пучок.

Відомо пристрій для дослідження форм коливань, що містить лазер, роздільні канали формування предметного і гладенького опорного пучків, світлорозділювач для поєднання предметного і опорного пучків і телекамеру, з'єднану з комп'ютером (Еленевский, Д. С. Лазерно-компьютерная система получения и анализа спекл-интерферограм вибрирующих объектов [Текст] / Д. С. Еленевский, Ю. Н. Шапошников // Известия Самарского научного центра РАН. - 1999 г. - №1. - С. 134). В установці реалізований метод кореляційної ЕСІ шляхом віднімання усереднених за часом зображень вібруючого об'єкта після попереднього зсуву фази опорної хвилі на одній із спеклограм на тт рад. Оптична схема монтується на базі лабораторного оптичного стола, надзвичайно складна в юстуванні і передбачає періодичний її моніторинг через низьку стійкість до зовнішніх збурень.

Крім того, формування когерентних зображень дифузно-відбиваючих об'єктів супроводжується виникненням спекл-шумів, що знижують контрастність смуг спекл-кореляції і ускладнюють подальшу інтерпретацію інтерферограм. Шуми мають мультиплікативний характер і не можуть бути відфільтровані за допомогою частотного фільтра (Батькович В. В. О получении распределения температур в жидкости и твердом теле с помощью голографической интерферометрии [Текст] / В. В. Батькович, О. Н. Буденкова, В. Б. Константинов, О. Л. Садов, Е. А. Смирнова // ЖТФ. - 1999. - Т. 69. В. 6. - С. 110). Відсутність ефективних алгоритмів фільтрації спекл-шумів визначає доцільність розробки засобів пригнічення шумів на етапі проведення експерименту.

Такий варіант придушення спекл-шумів передбачений в відомому пристрої для дослідження форм коливань (Пат. 71429 RU УСТРОЙСТВО ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ФОРМ КОЛЕБАНИЙ [Текст] / Жужукин А.И.; патентообладатель ОТКРЫТОЕ АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО "САМАРСКИЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС им. Н.Д. КУЗНЕЦОВА". - заявка: 2007134499/22; заявл. 14.09.2007; опубл. 10.03.2008, Бюл. № 9, 2008 г.), обраному як найближчий аналог (фіг. 1). Воно містить джерело когерентного випромінювання 1, розширювач пучка 2, світлорозділювач 3, виконаний у вигляді слабко пропускаючого дифузора з можливістю малих періодичних переміщень уздовж оптичної осі інтерферометра і розташований перед досліджуванним об'єктом 4 на відстані l не більше половини довжини когерентності L використовуваного лазерного випромінювання, трубку телекамери 5, з'єднану з комп'ютером 6, суміщені канали формування предметного і опорного пучків. Поздовжнім переміщенням дифузора інвертують яскравість спеклів між експозиціями спеклограм і реалізують метод кореляційної ЕСІ шляхом віднімання зображень. Оптична схема такого інтерферометра проста і містить малу кількість оптичних елементів, а завадостійкість за рахунок поєднання опорного і предметного каналів значно вище, ніж у попередньо описаного пристрою.

Зниження рівня спекл-шуму досягається методом цифрового інтегрування сталого сигналу та флуктуаційної похибки. З цією метою світлорозділювач 3 додатково забезпечений механізмом багаторазового зсуву в напрямку, перпендикулярному оптичній осі інтерферометра. У пам'яті комп'ютера послідовно фіксуються n спекл-інтерферограм, причому, після реєстрації кожної з них дифузор в своїй площині переміщується на величину, що перевищує поперечний розмір спекла. В результаті усереднення ідентичних картин смуг з некорельованими шумами співвідношення сигнал/шум на інтерферограмі зменшується в $\sqrt{n}$ раз.

Недоліком пристрою є спосіб освітлення і спостереження досліджуваної поверхні 4 через дифузор 3. Не зважаючи на слабку дифузність, освітлюючий і предметний пучки, що проходять через дифузор частково розсіюються. Для розсіяного випромінювання напрямки освітлення, спостереження і вектора чутливості к інтерферометра будуть неоднозначними. Тоді з основного співвідношення інтерферометри (Джоунс Р. Голографическая и спекл-интерферометрия [Текст] / Р. Джоунс, К. Уайкс. - М.: Мир, 1986 г., с. 186) фазовий зсув $\Delta\phi$ для розсіяного випромінювання, який визначається співвідношенням $\Delta\phi = (2\pi t / \lambda) / \Gamma_p$, також стає

неоднозначним (тут u - переміщення точки, λ - довжина хвилі випромінювання лазера). Це створює додатковий шумовий фон, що знижує контраст спеклограм.

Складнощі також виникають через відсутність можливості плавного регулювання співвідношення інтенсивностей предметної і опорної хвиль. При відбиванні від

світлорозділювача зі слабкою дифузністю відбита світлова хвиля містить високоінтенсивну дзеркальну складову, що заважає формуванню рівномірного дифузного опорного пучка.

Недоліком пристрою є підвищені вимоги до когерентності лазера, особливо якщо умови кріплення не дозволяють розташувати дифузор 7 впритул до об'єкту 4 (фіг. 1), а глибина d зображення, що реєструється на спеклограмі, велика. Для роботи пристрою необхідно, щоб $L > 2l$. Оптимальну довжину опорного пучка, що дорівнює середній довжині предметного, в даній оптичній схемі в принципі отримати неможливо.

У розглянутих джерелах витяг закодованої в спеклограмах інформації про розподіл амплітуд коливань точок досліджуваної поверхні здійснюється методом визначення кореляції спекл-полів. У патенті (Пат. 103068 UA Спосіб визначення частот і форм резонансних коливання лопаток ГТД методом спекл-інтерферометрії [Текст] / Ткач М. Р., Золотий Ю.Г., Довгань Д.В., Жук І.Ю.; Власник: НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ КОРАБЛЕБУДУВАННЯ ІМЕНІ АДМІРАЛА МАКАРОВА. - заявка: а201300572; заявл. 17.01.2013; опубл. 10.12.2015, Бюл. № 23, 2015 р.), обраному в якості аналога, використана оптична схема найближчого аналога, але для формування спекл-інтерферограм коливальних форм замість методу різницевої спекл-кореляції запропонований метод визначення контрасту динамічної картини спеклів, що дозволяє підвищити завадостійкість інтерферометра і знизити технічні вимоги до апаратури відеореєстрації.

В основу винаходу поставлено задачу створення пристрою для дослідження власних частот і форм коливань методами ЕСІ зі збереженням усіх позитивних якостей і можливостей найближчого аналога, але вільного від розсіювання предметних променів на дифузорі, та з можливістю регулювання довжин і оптимізації співвідношення інтенсивностей опорного і предметного пучків.

Поставлена задача вирішується тим, що пристрій для дослідження форм коливань, що містить джерело когерентного випромінювання, розширювач пучка, відеокамеру, з'єднану з комп'ютером, згідно з корисною моделлю, безпосередньо біля досліджуваного об'єкта розташовані прозорий світлорозділювач у вигляді плоскопараллельної скляної пластинки і віддзеркалюючий дифузор, що забезпечує освітлення та спостереження об'єкта через прозоре скло без додаткового розсіювання світлових пучків, надає можливість оптимізації довжин предметного і опорного пучків і можливість регулювання співвідношення інтенсивностей інтерферуючих спекл-полів, при цьому більшу частину довжини поширення предметна і опорна хвилі проходять сумісно, практично зберігаючи стійкість оптичних схем.

Рішення поставленої задачі досягнуто за допомогою пристрою для дослідження форм коливань, що включає джерело когерентного випромінювання, переважно суміщені канали формування предметного і опорного пучків, відеокамеру, з'єднану з ЕОМ, світлорозділювач у вигляді звичайної скляної пластинки, розташованої безпосередньо перед досліджуванним об'єктом, відбиваючий дифузор з можливістю його малих низькочастотних нормальних коливань, оснащений механізмом багаторазового зсуву в площині дифузора.

Відмінних ознак корисної моделі в інших об'єктах техніки не виявлено.

На фіг. 2 зображена оптична схема пропонованого пристрою.

Пристрій працює наступним чином.

Джерело 1 когерентного випромінювання через розширювач 2 і світлорозділювач 3 освітлює вібруючий об'єкт 4. Дифузно відбита від його поверхні предметна хвиля знову проходить через пластинку світлорозділювача і об'єктивом відеокамери 5 фокусується на світлочутливій поверхні ПЗЗ-матриці в якості предметного спекл-поля. Відбитий світлорозділювачем пучок розсіюється дифузором 7 і, після повторного відбивання світлорозділювачем і заломлення об'єктивом, створює на матриці опорну спекл-структуру. Суміщені світлорозділювачем і об'єктивом предметний і опорний хвильові фронти інтерферують поточно, формуючи результуюче спекл-поле.

У створеній схемі хвилі, що інтерферують, поширюються переважно в суміщеному вигляді, а збільшення довжини шляху їх роздільного поширення, в порівнянні зі схемою найближчого аналога, незначне. Тому, модифікація інтерферометра істотно не погіршила його завадостійкість, маючи при цьому наступні переваги:

освітлення та спостереження об'єкта здійснюється через прозору скляну пластинку без розсіювання світла в пропускаючому дифузорі і без виникнення додаткового шумового фону;

зміною орієнтації площини поляризації лазерного пучка і кута його падіння α на світлорозділювач оптична схема дозволяє оптимізувати співвідношення інтенсивностей інтерферуючих спекл-полів;

переміщенням дифузора 7 відносно світлорозділювача 3 оптимізується довжина опорної хвилі, знижуючи вимоги до когерентності випромінювання.

Дифузор 7 може здійснювати малі переміщення в своїй площині для зниження спекл-шуму методом усереднення ідентичних зображень з некорельованими завадами. Періодичний регульований фазовий зсув предметного і опорного пучків реалізується малими періодичними переміщеннями дифузора 7 (або світлорозділювача 3) в нормальному напрямку.

Відеокамера 5 працює в режимі веб-камери і в реальному часі передає на комп'ютер 6 відеопотік 25 кадрів в секунду з роздільною здатністю 720×576 точок з розбивкою по яскравості на 256 градацій. Розміри спеклів регулюються діафрагмою об'єктива камери. Яскравість B_j кожної точки відтвореного зображення пропорційна інтенсивності I_i i -го спекла, що відповідає j -му пікселю матричного сенсора:

$$B_j = K I_i, i = 1, 2, \dots, N, j = 1, 2, \dots, m, \quad (1)$$

де K - коефіцієнт пропорційності, що визначається параметрами відеосистеми,

N - кількість спеклів результуючого спекл-поля,

m - кількість пікселів, що їх відтворюють.

Яскравість кожного пікселя B_j цифрового зображення результуючих спеклів при рівновазі об'єкта з урахуванням (1) має вигляд:

$$B_j = K(I_{R_i} + I_{S_i} + 2\sqrt{I_{R_i}I_{S_i}} \cos(\varphi_{R_i} - \varphi_{S_i})), \quad (2)$$

а яскравість зображення B_{j-t} тих же, але флуктуючих спеклів вібруючого об'єкта, усереднених інертним відео сенсором по часу t реєстрації кадру, визначаються співвідношенням (Комаров Ю.С. Помехоустойчивый цифровой спекл-интерферометр для виброметрии объектов на основе метода усреднения во времени [Текст] / дис.....канд. техн. наук: 01.04.01 / Сергей Юрьевич Комаров. - Самара: Самарский государственна аэрокосмический университет им. академика С. П. Королева, 2004 г. - 172 с.):

$$B_{j-t} = K(I_{R_i} + I_{S_i} + 2\sqrt{I_{R_i}I_{S_i}} J_0\left(\frac{U_{0_i}}{\lambda}\right) \cos(\varphi_{R_i} - \varphi_{S_i})), \quad (3)$$

де I_{R_i} и I_{S_i} - локальні інтенсивності, а $(\varphi_{R_i} - \varphi_{S_i}) = (\varphi_{RS_i})$ - початкова різниця фаз опорної і предметної світлових хвиль в даній точці зображення,

U_{0_i} - амплітуда коливань i -й точки об'єкта,

J_0 - функція Бесселя першого роду нульового порядку.

Для отримання спекл-інтерферограм форм коливань в реальному часі пропонований пристрій дозволяє реалізувати у двох варіантах метод різницевої кореляційної ЕСІ, і метод визначення контрасту динамічної картини спеклів.

Визначаючи відніманням спекл-кореляцію спеклограми (2) об'єкта в стані спокою і спеклограми (3) вібруючого об'єкта, отримаємо на екрані монітора інтерференційну картину, яскравість якої B_{ij} визначається попіксельно модулем різниці цих виразів (Жужукин А. И. Метод уменьшения чувствительности спекл-интерферометра при исследовании вибраций деталей турбомашин [Текст] / Жужукин А.И., Соляников В.А. // Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета. - 2014. № 1 (43). - С. 194-200):

$$B_{ij} = 2K\sqrt{I_{R_i}I_{S_i}} \cos\varphi_{RS_i} \left(1 - J_0\left(\frac{U_{0_i}}{\lambda}\right)\right), \quad (4)$$

а при нормуванні середнього значення яскравості до одиниці її залежність від амплітуд коливань (точок) визначається функцією:

$$b_{ij} = \left(1 - J_0\left(\frac{U_{0_i}}{\lambda}\right)\right). \quad (5)$$

Отримана при цьому картина смуг аналогічна голографічній інтерферограмі вібруючого об'єкта, що спостерігається в реальному часі. На відміну від звичної інтерферограми, вона має інвертовану яскравість, вузловим лініям відповідають найтемніші смуги, а ціну смуги приблизно можна вважати рівною $\lambda/2$. Крім того, при безперервному скануванні резонансного спектру інтервал часу між реєстраціями опорного (2) і поточного (3) зображень зростає, при цьому накопичується ефект впливу теплових і механічних збурень, який призводить до

неконтрольованої зміни значення різниці фаз φ_{RS_i} . Тому доводиться періодично переривати сканування спектра для поновлення опорного зображення, і вживати додаткових заходів по ізоляції установки. Метод доцільно використовувати при дослідженні коливань з великими амплітудами і необхідності зниження чутливості інтерферометра (Жужукин А. И. Метод уменьшения чувствительности спекл-интерферометра при исследовании вибраций деталей турбомашин [Текст] / Жужукин А.И., Соляников В.А. // Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета. - 2014. - №1(43). - С. 194-200).

У другому варіанті в пристрої реалізований відомий метод кореляційного порівняння усереднених за часом зображень (3) вібруючого об'єкта після попереднього зсуву фази опорної хвилі на одному з них. Для цього дифузор 7 здійснює зворотно-поступальний рух в нормальному напрямку з частотою 2-4 Гц і амплітудою, що забезпечує зміну різниці фаз опорного і предметного пучків на $\Delta\varphi_{RS} = \pi$ рад. Різницева інтерферограма зображень, що відповідають екстремальним значенням фазового зсуву, дає на моніторі комп'ютера контрастну систему смуг відповідно до виразу (Жужукин А. И. Метод уменьшения чувствительности спекл-интерферометра при исследовании вибраций деталей турбомашин [Текст] / Жужукин А.И., Соляников В.А. // Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета. - 2014. - №1(43). - С. 194-200).

$$B_{ij} = 4K \sqrt{I_{R_i} I_{S_i}} \left| J_0 \left(\frac{4\pi}{\lambda} U_{O_i} \right) \cos(\varphi_{RS_i}) \right| \quad (6)$$

Оновлення опорного кадру при цьому відбувається автоматично через кожні півперіоду зміни $\Delta\varphi_{RS}$, що підвищує завадостійкість пристрою (Lianxiang, Y. Vibration analysis by means of digital shearography [Text] / Y. Lianxiang, S. Wolfgang, K. Gerhard, M. Peter, V. Frank // Optics and lasers in Engineering. - 1998. - Vol. 30, Issue 2. -199-212 pp.) і не вимагає переривання процесу досліджень.

Відповідно до залежності (6), яскравість b точок зображення в функції амплітуди коливань з точністю до сталої множника визначається виразом:

$$b = \left| J_0 \left(\frac{4\pi}{\lambda} U_{O_i} \right) \right| \quad (7)$$

Контраст такої картини смуг прямує до одиниці, їх період в два рази менше, ніж на інтерферограмі (5), а чутливість - удвічі вище.

Але висока якість таких спекл-інтерферограм забезпечується при стабільності фазового зсуву $\Delta\varphi_{RS}$ і стійкої синхронізації його амплітудних значень з моментами реєстрації зображень. При відсутності синхронізації виникають випадкові осциляції положення та видності смуг спекл-кореляції. Тому, при реалізації методу доцільно застосовувати спеціалізовану відеокамеру з функцією зовнішньої синхронізації.

Висока стійкість перед перешкодами без особливих вимог до апаратури відеофіксації забезпечується пристроєм в режимі отримання спекл-інтерферограм коливальних форм методом визначення контрасту динамічної картини спеклів, реалізованим в пристрої паралельно з методами спекл-кореляції як основним (Пат. 103068 UA Спосіб визначення частот и форм резонансных колебания лопаток ГТД методом спекл-интерферометрии [Текст] / Ткач М. Р., Золотий Ю.Г., Довгань Д.В., Жук І.Ю.; Власник: Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова. - заявка: а201300572; заявл. 17.01.2013; опубл. 10.12.2015, Бюл. № 23, 2015 р.). Метод використовує взаємозв'язок між амплітудою коливань точок об'єкта і контрастом флюктууючої системи спеклів. З цією метою нормальними коливаннями дифузора з частотою 2-4 Гц здійснюється періодичний фазовий зсув ($\Delta\varphi_{RS} = \pi$ рад) інтерферуючих пучків, що створює ефект "мерехтіння" спеклів. Комп'ютерна програма управління експериментом в реальному часі аналізує результат поліксельного фотометрування декількох послідовних спеклограм вібруючого об'єкта, визначає для кожного пікселя розмах зміни яскравості ΔB_j і,

$$B_{ij} = \beta \Delta B_j = 4\beta K \sqrt{I_{R_i} I_{S_i}} \left| J_0 \left(\frac{4\pi}{\lambda} U_{O_i} \right) \right| \quad (8)$$

відтворює розподіл яскравості B_u , аналогічний різницевої інтерферограмі (6) (β -коефіцієнт яскравості, який підбирають візуальним спостереженням). Частота модуляції фазового зсуву 2...4 Гц передбачає оптимальний розмір буфера з 6...8 кадрів, а його оновлення може проводитися ступінчато або послідовно. При ступінчастому оновленні буфера після обробки набору кадрів і відтворення картини смуг проводиться повна заміна буфера. Процедура

циклічно повторюється, оновлюючи зображення форми коливань 3-4 рази в секунду. При послідовному оновленні надходження в буфер чергового кадру супроводжується відкиданням останнього. При цьому зміна картини коливальної форми відбувається з частотою кадрів відеокамери, але вимагає підвищених обчислювальних ресурсів комп'ютера.

Важливо, що в кореляційній ЕСІ інтерферограми отримують порівнянням всього двох спеклограм, а в методі визначення контрасту - обчисленням співвідношення (8) по даними комп'ютерної обробки всіх зображень, що містяться в буфері. Збільшення розміру буфера зменшує вплив випадкових похибок в результаті їх усереднення на великій кількості кадрів. Крім того, використання методу визначення контрасту спеклів знімає необхідність жорсткого дотримання величини фазового зсуву і строгої його синхронізації з моментами реєстрації кадрів.

Це дозволяє спростити використання великогабаритного дифузора і дозволяє для реєстрації спеклограм використовувати звичайну відеокамеру.

Для зниження спекл-шуму ми використовували запропонований в найближчому аналогу метод багатокадрового усереднення N зображень ідентичної картини смуг з некорельованими шумами, що підвищує співвідношення сигнал/шум інтерферограми в $\sqrt{N}$ раз. Багаторазові зміни опорного спекл-поля між експозиціями реалізуються малими переміщеннями дифузора 7 в своїй площині на відстань, що перевищує розміри спекла.

Дослідний зразок пристрою виготовлений і випробуваний, досягнення поставленої задачі підтверджено.

ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

Пристрій для дослідження форм коливань, що містить джерело когерентного випромінювання, розширювач пучка, відеокамеру, з'єднану з комп'ютером, який **відрізняється** тим, що безпосередньо біля досліджуваного об'єкта розташовані прозорий світлорозділювач у вигляді плоскопаралельної скляної пластинки і віддзеркалюючий дифузор, що забезпечує освітлення та спостереження об'єкта через прозоре скло без додаткового розсіювання світлових пучків, надає можливість оптимізації довжин предметного і опорного пучків і можливість регулювання співвідношення інтенсивностей інтерферуючих спекл-полів, при цьому більшу частину довжини поширення предметна і опорна хвилі проходять сумісно, практично зберігаючи стійкість оптичних схем.

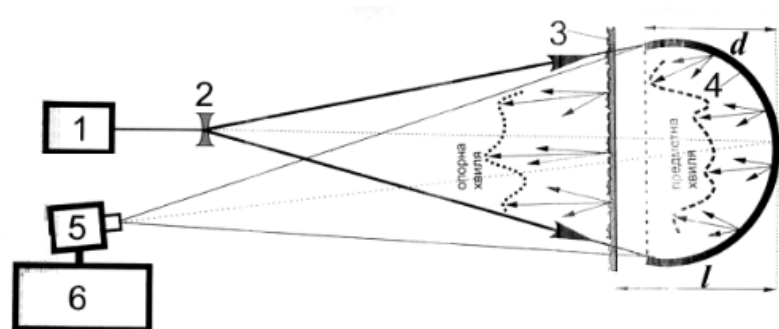


Fig. 1

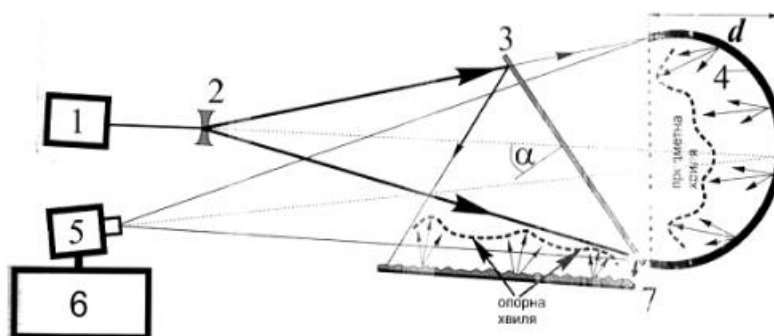


Fig. 2

