

2. Ермошин, Н.И. Вихретоковый металлоискатель с повышенной чувствительностью [Текст] / Н.И. Ермошин, Д.В. Миляев // Информационно-измерительная техника и технологии – Томск: Издательство ТПУ, 2013. – С.129-132.
3. Гольдштейн, А. Метод вихретоковой дефектоскопии прутков и труб на основе использования комбинированного преобразователя с возбуждением разночастотных пространственных компонент магнитного поля [Текст] / А.Е. Гольдштейн, В.Ф. Булга-

ков, Х.М. Кренинг // Дефектоскопия. – 2011. № 11. – С. 39–47

Студент **Ермошин Н.И.**, e-mail: ermoschin.nik@yandex.ru, кафедра Информационно-измерительной техника института неразрушающего контроля Томского политехнического университета; к.т.н., доцент **Миляев Д.В.**, e-mail: mdv@tpu.ru - кафедра Информационно-измерительной техники Томского политехнического университета

УДК 535.854

ВЫСОКОТОЧНЫЕ ОПТИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЯ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ ДЛЯ МОБИЛЬНЫХ ДИАГНОСТИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ

И.П. Мирошниченко

Описаны результаты разработки перспективных бесконтактных средств измерений перемещений поверхностей объектов контроля на основе современных лазерных технологий и новых методов оптической интерферометрии для регистрации информации при диагностике состояния конструктивных материалов и силовых элементов изделий, находящихся в эксплуатации, акустических неразрушающих методов контроля в составе мобильных диагностических комплексов

Ключевые слова: лазерный интерферометр, интерференционная картина, измерение перемещений, поверхность объекта контроля, диагностика состояния

Введение

В настоящее время актуальным для обеспечения безаварийной эксплуатации и предотвращения катастроф транспортных средств, авиационной техники и т.п., находящихся в эксплуатации, является развитие и совершенствование мобильных диагностических комплексов, позволяющих на основе использования неразрушающих методов контроля провести диагностику состояния конструктивных материалов силовых элементов рассматриваемых машин и оборудования непосредственно по месту их эксплуатации (т.е. в «полевых» условиях) с целью принятия решения о возможности их дальнейшей эксплуатации и оценки остаточного ресурса. К одному из приоритетных направлений совершенствования инструментальной базы таких комплексов можно отнести разработку высокоточных бесконтактных средств измерений перемещений поверхностей объектов контроля для регистрации информации о их состоянии, например, при использовании акустических активных и пассивных методов неразрушающего контроля.

Известны из [1-3] высокоточные бесконтактные средства измерений перемещений поверхностей объектов контроля, построенные на базе двухходового лазерного интер-

ферометра с совмещенными ветвями [4,5] и основанные на использовании современных лазерных технологий и новых методов оптической интерферометрии.

Устройства [1-3] научно-обоснованы в процессе проведения расчетно-экспериментальных исследований, результаты которых предложены в [6-11], апробированы и использованы при решении актуальных научных и производственных задач (см., например, [12,13]).

Для расширения функциональных возможностей технических решений [1-3] за счет обеспечения изменения диапазона измеряемых значения перемещений в процессе проведения измерений разработано оптическое интерференционное устройство для измерения перемещений поверхностей объектов контроля, предложенное в [14].

Описание разработки

Сущность устройства [14] поясняется схемой, представленной на рисунке 1. Устройство [14] содержит оптически связанные и последовательно размещенные источник 1 когерентного оптического излучения, оптическую систему 2, объект контроля 3 с поверхностью 4, общее основание 5, на котором жестко закреплены светоделитель 6, отражатель 7 и фотоприемное устройство 8, а

РАЗДЕЛ II. МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ

также преобразователь 9. Основание 5 снабжено механизмом 10 для его перемещения вдоль оптической оси между поверхностью 4 объекта контроля 3 и внешней поверхностью светоделителя 6. Оптическая система 2 фокусирует излучение на поверхность 4 объекта контроля 3 в виде светящейся точки 11. Светоделитель 6, отражатель 7 и фотоприемное устройство 8 жестко закреплены на основании 5 в фиксированных положениях друг относительно друга. Преобразователь 9 электрически связан с фотоприемным устройством 8 и предназначен для определения перемещений поверхности 4 объекта контроля 3 по результатам измерения интенсивности оптического поля в заданной области интерференционной картины фотоприемным устройством 8, а также для регистрации полученных результатов измерений перемещений.

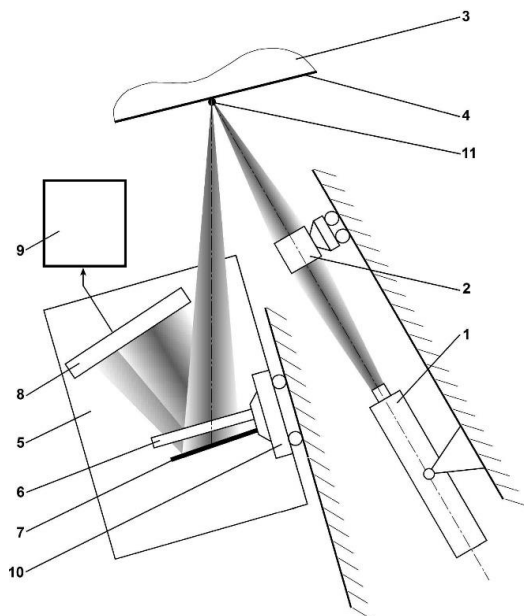


Рисунок 1 – Схема устройства

Принцип действия устройства [14] заключается в следующем. Перед началом испытаний объекта контроля 3, а соответственно, и измерений перемещений его поверхности 4, априорно известен диапазон возможных значений перемещений, возникающих при проведении испытаний, поэтому размещают основание 5 с закрепленными на нем светоделителем 6, отражателем 7 и фотоприемным устройством 8 при помощи механизма 10 на расстоянии R между поверхностью 4 объекта контроля 3 и внешней поверхностью светоделителя 6, соответствующем данному диапазону изменения перемещений. Это может быть выполнено с использованием зависимости изменения чувствительности T от

расстояния R между поверхностью 4 объекта контроля 3 и внешней поверхностью светоделителя 6, полученной экспериментально при метрологическом обслуживании (см., например, [15-17]). При увеличении диапазона измеряемых перемещений расстояние R увеличивают, при уменьшении диапазона измеряемых перемещений расстояние R уменьшают путем соответствующего изменения положения основания 5.

Оптическая система 2 фокусирует излучение от источника 1 на поверхность 4 объекта контроля 3 в виде светящейся точки 11, которая в свою очередь, является точечным источником излучения, расположенным на поверхности 4 объекта контроля 3. Далее, излучение от светящейся точки 11 попадает на светоделитель 6, который его разделяет на два луча: один луч отражается от поверхности самого светоделителя 6, а другой – от поверхности отражателя 7. Пространственное совмещение этих лучей происходит в области размещения фотоприемного устройства 8 – в области наблюдения интерференционной картины. Фотоприемное устройство 8 регистрирует интенсивность оптического поля в заданной области интерференционной картины, а преобразователь 9, связанный с ним, определяет перемещение поверхности 4 объекта контроля 3 по результатам измерения интенсивности оптического поля фотоприемным устройством 8, а также регистрирует полученные результаты измерений перемещений.

Устройство [14] реализует новый метод измерения перемещений поверхностей объектов контроля – метод подсвечивания поверхности объекта контроля лазерным интерферометром, предложенный, описанный и научно-обоснованный в работах [15-19].

Необходимо отметить, что описанное выше устройство [14] предназначено для использования в лабораторных условиях и неприменимо для решения практических задач в составе мобильных диагностических комплексов из-за высокой трудоемкости подготовки к проведению измерений и снижения точности результатов при проведении измерений в «полевых» условиях. Высокая трудоемкость подготовки к проведению измерений обусловлена тем, что перед началом проведения измерений, производятся индивидуально установка и настройка каждого из оптических элементов для получения интерференционной картины в области регистрации информации, а снижение точности результатов обусловлено влиянием внешних источни-

ков оптического излучения, вносящих искажения в результаты измерений.

Для устранения этих недостатков, сдерживающих применение устройства [14] в составе мобильных диагностических комплексов, разработано новое техническое решение, схема которого представлена на Рисунке 2.

Предлагаемое устройство содержит основание 1, устройство 2 для регулировки и фиксации положения, скрепленное с основанием 1 и концом 3 цилиндрического корпуса 4, во внутренней полости которого размещены источник 6 когерентного оптического излучения с устройством 7 для регулировки и фиксации его положения и оптическая система 8 с устройством 9 для регулировки и фиксации ее положения, поворотный шарнир 10, установленный на конце 11 цилиндрического корпуса 4, обращенного к поверхности 12 объекта контроля 13, соединяющий цилиндрический корпус 4 с опорной балкой 14, подвижную опору 15 с устройством 16 для регулировки и фиксации ее положения, размещенную на поверхности 17 опорной балки 14, опорную пластину 18, жестко закрепленную на подвижной опоре 15, светонепроницаемый защитный корпус 19 с окном 20, во внутренней полости 21 которого размещены жестко скрепленные между собой в фиксированном положении светодетектор 22 и отражатель 23 с устройством 24 для регулировки и фиксации их положения, а также экран 25 с устройством 26 для регулировки и фиксации его положения.

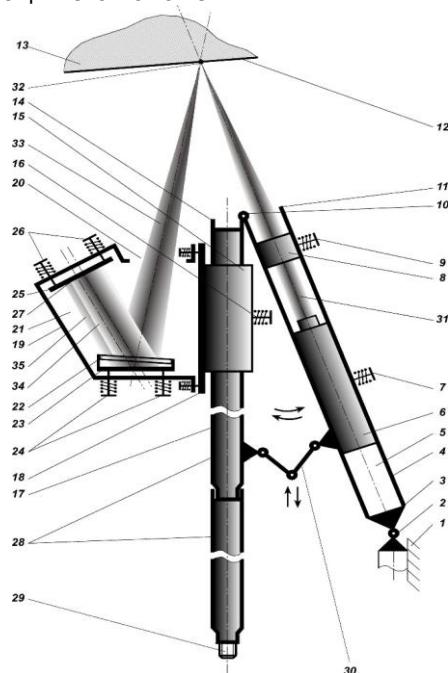


Рисунок 2 – Схема предлагаемого устройства

На экране 25 в заданных областях интерференционной картины установлены фотоприемные устройства 27. Опорная балка 14 выполнена составной в виде однотипных цилиндрических элементов 28, соединенных между собой разъемным соединением, например, при помощи резьбового соединения 29. Цилиндрический корпус 4 и опорная балка 14 соединены между собой при помощи устройства 30 для изменения и фиксации положения (угла) между ними с использованием поворотного шарнира 10. Предлагаемое устройство также содержит преобразователь, который электрически связан с фотоприемными устройствами 27 и предназначен для определения перемещений поверхности 12 объекта контроля 13 по результатам измерения интенсивности оптического поля в заданных областях интерференционной картины фотоприемными устройствами 27, а также для регистрации полученных результатов измерений перемещений. Оптическая система 8 фокусирует излучение 31 от источника 6 на поверхность 12 объекта контроля 13 в виде светящейся точки 32, которая в свою очередь, является точечным источником излучения, расположенным на поверхности 12 объекта контроля 13. Окно 20 светонепроницаемого защитного корпуса 19 обеспечивает оптический контакт излучения 33 от светящейся точки 32 со светодетектором 22 и отражателем 23. Далее, излучение 33 от светящейся точки 32 попадает на светодетектор 22, который его разделяет на два луча: один луч 34 отражается от поверхности самого светодетектора 22, а другой 35 – от поверхности отражателя 23. Пространственное совмещение этих лучей происходит в области размещения экрана 25 – в области наблюдения интерференционной картины.

Описанное устройство защищено патентом Российской Федерации на изобретение [20].

Заключение

Результаты опытной эксплуатации модели устройства [20] показали, что его конструктивно-компоновочная схема позволяет сохранить возможности устройств [1-3,14] и обеспечить применение в «полевых» условиях в составе мобильных диагностических комплексов, а его конструкция при сохранении возможностей аналога [14] обеспечивает сокращение трудоемкости и временных затрат на подготовку и проведение измерений в «полевых» условиях до 40% и подтверждает целесообразность его использования в со-

РАЗДЕЛ II. МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ

ставе мобильных диагностических комплексов.

Описанное техническое решение может быть также успешно применено в процессе высокоточных измерений линейных и угловых перемещений поверхностей объектов контроля при проведении экспериментальных исследований перспективных конструкций, зданий, сооружений и т.п., оценке их технического состояния и диагностике состояния в составе как стационарных, так и мобильных диагностических комплексов, при исследовании акустико-эмиссионных процессов в твердых телах, исследовании процессов деформообразования в новых конструкционных материалах, исследовании волновых процессов в слоистых конструкциях и конструкциях, выполненных из анизотропных конструкционных материалов, в машиностроении, судостроении, авиастроении и т.п.

Настоящие разработки частично поддержаны грантом Российского фонда фундаментальных исследований № 13-08-00754.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Патент 2373492 РФ, МПК G 01 В 11/00, G 01 В 21/00. Оптическое устройство для измерения перемещений / И.П. Мирошниченко, И.А. Парин, Е.В. Рожков, А.Г. Серкин.- № 2007144257/28, заявл. 28.11.2007; опубл. 20.11.2009. Бюл. № 32.
2. Патент 2388994 РФ, МПК G 01 В 11/00, G 01 В 9/02. Способ измерения линейных и угловых перемещений / И.П. Мирошниченко, А.Г. Серкин, В.П. Сизов.- № 2008141364/28, заявл. 20.10.2008; опубл. 10.05.2010. Бюл. № 13.
3. Патент 2407988 РФ, МПК G 01 В 9/02, G 01 В 11/02. Оптическое устройство для измерения перемещений / И.П. Мирошниченко, И.А. Парин, Е.В. Рожков, А.Г. Серкин.- № 2009101829/28, заявл. 20.01.2009; опубл. 27.12.2010. Бюл. № 36.
4. Матвеев, А.Н. Оптика [Текст] / А.Н. Матвеев.- М.: Высшая школа, 1985.- 351 с.
5. Батраков, А.С. Лазерные измерительные системы [Текст] / А.С. Батраков, М.М. Бутусов, Г.П. Гречка.- М.: Радио и связь, 1981.- 456 с.
6. Мирошниченко, И.П. Особенности использования интерференционных измерителей малых перемещений при решении задач диагностики технического состояния конструкций [Текст] / И.П. Мирошниченко, А.Г. Серкин // Дефектоскопия.- 2007.- № 4.- С. 31-38.
7. Мирошниченко, И.П. Экспериментальное обоснование предложений по совершенствованию интерференционных измерителей малых перемещений [Текст] / И.П. Мирошниченко, А.Г. Серкин // Труды Ростовского государственного университета путей сообщения.- 2009.- № 1(8).- С. 85-90.
8. Мирошниченко, И.П. Перспективные оптические средства измерения малых перемещений для систем диагностики технического состояния материалов и изделий [Текст] / И.П. Мирошниченко // Контроль. Диагностика.- 2010.- № 1.- С. 45-49.
9. Мирошниченко, И.П. Лазерный интерферометр для измерения перемещений [Текст] / В.Е. Алехин, И.П. Мирошниченко, А.Г. Серкин // Наноиндустрия.- 2010.- № 2.- С. 38-41.
10. Miroshnichenko, I.P. Novel Test Means and Techniques Based on Optical Interferometry and Acoustic Emission to Study Displacements of Object Surfaces and Damage of High-Temperature Superconductive Tapes and Related Composites / I.P. Miroshnichenko, I.A. Parinov, E.V. Rozhkov, A.G. Serkin, V.P. Sizov // Piezoelectrics and Related Materials: Investigations and Applications.- New York: Nova Science Publishers, 2012.- pp. 238-282.
11. Miroshnichenko, I.P. Novel Optical Means for Measurement of Displacements of Surfaces of the Control Objects at Diagnostics of Materials and Goods / I.P. Miroshnichenko, I.A. Parinov, E.V. Rozhkov, V.P. Sizov, V.A. Shevtsov // Physics and Mechanics of New Materials and their Applications.- New York: Nova Science Publishers, 2013.- pp. 145-154.
12. Мирошниченко, И.П. Экспериментальная установка для исследования процессов деформообразования в ленточных высокотемпературных сверхпроводниках [Текст] / И.П. Мирошниченко [и др.] // Металлург.- 2006.- № 7.- С. 77-78.
13. Мирошниченко, И.П. Усовершенствованная экспериментальная установка для исследования процессов деформообразования в образцах конструкционных материалов [Текст] / И.П. Мирошниченко, А.Г. Серкин // Металлург.- 2010.- № 3.- С. 68-69.
14. Патент 2343402 РФ, МПК G 01 В 9/00. Оптическое устройство для измерения перемещений поверхностей объектов контроля / В.Е. Алехин, И.П. Мирошниченко, А.Г. Серкин, В.П. Сизов.- № 2007110767/28, заявл. 26.03.2007; опубл. 10.01.2009. Бюл. № 1.
15. Мирошниченко, И.П. Экспериментальное исследование особенностей метода подсвечивания поверхности объекта контроля для измерения смещений лазерными интерферометрами [Текст] / В.Е. Алехин [и др.] // Дефектоскопия.- 2007.- № 9.- С. 37-43.
16. Мирошниченко, И.П. Экспериментальное обоснование интерференционного метода измерения перемещений на основе подсвечивания поверхности объекта контроля [Текст] / В.Е. Алехин, И.П. Мирошниченко, А.Г. Серкин // Измерительная техника.- 2008.- № 10.- С. 26-30.
17. Мирошниченко, И.П. Унифицированный оптический измеритель перемещений для систем диагностики технического состояния материалов и изделий [Текст] / И.П. Мирошниченко // Контроль. Диагностика.- 2010.- № 2.- С. 34-37.

18. Мирошниченко, И.П. Методы измерения смещений поверхности объектов контроля лазерными интерферометрами [Текст] / В.Е. Алехин, И.П. Мирошниченко, В.П. Сизов // Дефектоскопия.- 2007.- № 2.- С. 53-61.
19. Мирошниченко, И.П. Оптические измерительные технологии и их применение для контроля технического состояния конструктивных материалов и изделий [Текст] / И.П. Мирошниченко, А.Г. Серкин, В.П. Сизов // Нанотехника.- 2008.- № 4(16).- С. 56-59.
20. Патент 2512697 РФ, МПКG 01 В 9/02, G 01 В 11/00. Оптическое интерференционное устройство для измерения перемещений поверхностей объектов контроля / И.П. Мирошниченко, И.А. Паринов, Е.В. Рожков.- № 2012146058/28, заявл. 29.10.2012; опубл. 10.04.2014. Бюл. № 10

Мирошниченко И.П., к.т.н. доц., заведующий кафедрой «Основы конструирования машин», Донской государственный технический университет, E-mail: ipmir@rambler.ru.

УДК 681.2.088:001.891.57

МЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ НОРМИРОВАНИЕ ПРИ КОМПОНОВКЕ СВЕТОВЫХ ПРИБОРОВ

А.Н. Доронин, М.И. Николаев

Рассматриваются аппаратные и программные решения задачи равномерного распределения яркости, поскольку от равномерности распределения яркости источника во многом зависят метрологические характеристики средства измерения и геометрические параметры изображения.

Ключевые слова: свет, яркость, зрение, измерение, погрешность

Постановка задачи

Предметом исследования является точность оптических измерений, условия визуальных наблюдений. Целью исследования является разработка рекомендаций по компоновке световых элементов для полупроводниковых световых приборов.

Непрерывно растущие требования к точности измерений заставляют учитывать влияющие факторы, которые раньше не принимались во внимание как пренебрежимо малые. В частности, необходимо нормировать равномерность освещения поля объекта. Актуальность этого вопроса показана в работах [1-3]. В качестве нормируемой метрологической характеристики выбрана яркость. Яркость хорошо идентифицируется при визуальном наблюдении, а также является типовым контролируемым параметром в программах обработки изображений.

Рассматривается вопрос равномерного распределения яркости в поле объектов. Безотносительно к уровню яркости, оптическим свойствам и форме объекта измерения.

Методы решения

Для точного решения вопросов равномерного распределения яркости необходимо определиться с выбором следующих исходных величин:

- энергетические и световые величины;
- яркость и сила света.

Это необходимо, чтобы согласовать особенности человеческого восприятия и технические параметры световых элементов. В отли-

чие от энергетических фотометрических величин, световые величины учитывают спектральную чувствительность человеческого глаза. От их выбора зависит ширина диаграммы направленности излучателя, определяемая по заданному уровню интенсивности. Это необходимо учитывать при выборе излучателя, метода измерения, условий наблюдения, объектов измерения. Для учёта этих характеристик авторами тестируется средство измерений, выполненное в среде LabVIEW.

Однако, для общих рекомендаций по равномерному распределению яркости можно не задаваться параметрами конкретного светового элемента, что существенно упростит задачу. Принимая это допущение, будем рассматривать в этой статье яркость как общую характеристику интенсивности светового излучения. Уменьшение освещённости с увеличением расстояния от источника также выводим из рассмотрения, применяя относительные характеристики.

В таком случае количественные характеристики легко могут быть получены из графических построений. На рисунках 1, 2 представлены практически значимые варианты. В верхней части рисунков изображены высвечиваемые области. В нижней части рисунков изображены градации интенсивности. Очевидно, чем меньше градаций в высвечиваемой области, тем равномернее распределение яркости.