

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию Сергея Петровича Ильиных «Методы и алгоритмы высокоразрешающих оптико-электронных систем с пошаговым фазовым сдвигом», представленную на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 2.2.6 (05.11.07) - Оптические и оптико-электронные приборы и комплексы.

1. Актуальность темы диссертационного исследования

Определение напряженно-деформированного состояния современных конструкций и машин постоянно связано с проблемой выбора метода исследования – аналитического, численного, экспериментального и т.д. В современных условиях особенно возрастает роль таких исследований, которые помогают повысить достоверность получаемой информации о работоспособности объекта контроля. Наиболее эффективным способом такого повышения, как справедливо отмечает автор, является совместное использование численных и оптических интерференционных методов. Данная работа продолжает цикл исследований, начатых много лет назад в Новосибирском государственном техническом университете под руководством профессора Гужова В.И.

Следует отметить, что особое место в эксперименте занимают исследования закономерностей перемещений точек деформируемых поверхностей вблизи геометрических и физических концентраторов. При этом важна бесконтактность, высокая скорость сбора информации. Поэтому работы, направленные на разработку оптико-электронных систем контроля перемещений точек поверхности изделий, являются чрезвычайно актуальными.

2. Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

В диссертационной работе С.П. Ильиных осуществлено развитие оптической системы локальной и полевой диагностики полей смещения тестовых объектов, связанной с использованием пошагового фазового сдвига. При этом решены научно-технические задачи, среди которых следует отметить разработку метода повышения пространственного разрешения оптико-электронных интерференционных измерительных систем, работающих в реальном времени. Кроме того, разработаны экспериментальные установки для формирования изображения и определения пространственного поля нормальных перемещений с относительной погрешностью, не превышающей 1%, приведены результаты внедрения авторской методики в СибНИИА им. С.А. Чаплыгина, в АО «Радио и Микроэлектроника», в ООО «БРИЗ», в учебном процессе НГТУ.

Работа состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы из 264 наименований, 142 рисунков, 1 приложения.

Во введении обоснована актуальность темы исследования, сформулированы цель, задачи, научная новизна и практическая значимость диссертационной работы.

В первой главе дан сравнительный анализ различных алгоритмов расшифровки интерференционных картин. Доказывается, что существующие алгоритмы являются следствием обобщенного метода расшифровки голографических интерферограмм. Показана возможность применения метода фазовых сдвигов для анализа одной интерференционной картины.

Во второй главе автор приводит метрологический анализ погрешностей, возникающих при реализации предложенного метода и алгоритмов. Исследовано влияние различных факторов на погрешность измерения фазы. Предложены модели погрешностей, учитывающие структуры формул расшифровки. Рассмотрены методы оценки основных параметров интерференционных картин. Предложены способы повышения латеральной разрешающей способности и устранения влияния нелинейности профиля интерференционных полос на результаты расшифровки интерференционных картин. Тем самым достигается высокая достоверность исследования и уверенность в том, что предлагаемый способ и технология адекватно отражают процессы обработки интерферограмм в широком диапазоне частот, а потому вполне надежны.

В третьей главе приведены классификация и виды искажения траектории интерференционных сигналов в пространстве интенсивностей. Установлено, что вид траектории не зависит от формы измеряемого волнового фронта. Предложены новые алгоритмы расшифровки интерференционных картин, основанные на оценке разностей фаз между базовыми и сканирующими точками. Отличительной особенностью данных алгоритмов в сравнении с традиционными методами является возможность усреднения разностей фаз, рассчитываемых для различных комбинаций положения базовых точек. При этом не требуется регистрации дополнительных интерференционных картин.

В четвертой главе анализируется возможность расширения динамического диапазона интерференционных измерений. Это позволило устранить краевые эффекты при измерении несимметричных волновых фронтов. Выполнено исследование зависимости смещения в интерферометре сдвига на погрешность измерения фазы. После модификации метода среднеквадратическая погрешность измерения рельефа топограммы не превышает 2,5 нм.

В пятой главе приводятся результаты экспериментальной апробации разработанных методов и алгоритмов для анализа и расшифровки интерференционных картин, полученных при решении прикладных технологических задач. Рассмотрены примеры изгиба балки с заземлением, деформации мембраны, изгиба трехмерной рамы. Результаты экспериментальных измерений сравнивались с аналитическими решениями. Максимальная абсолютная погрешность измерения смещения составила порядка 5 мкм. Полное время записи и восстановления голограммы размером 4096x4906 пикселей составляет менее 0,03 сек, что позволяет обеспечить производительность системы не менее 30 кадров/сек. Это позволяет исследовать динамику деформации измеряемых объектов в режиме реального времени.

При решении проблемы повышения точности и пространственного разрешения оптико-электронных систем с пошаговым фазовым сдвигом получены новые результаты:

1. Обоснован обобщенный метод оценки фазы интерференционных сигналов в оптико-электронных измерительных системах с пошаговым фазовым сдвигом.
2. Предложены методы преобразования траектории интерференционных сигналов в оптико-электронных измерительных системах, позволяющие устранить влияние неточности задания фазовых сдвигов.
3. Синтезирована оптимальная по количеству фазовых сдвигов формула расшифровки интерференционных картин, устойчивая к нелинейности профиля интерференционных сигналов.
4. Предложен метод повышения пространственного разрешения оптико-электронных интерференционных измерительных систем с повышенным быстродействием, позволяющий производить измерения в режиме реального времени.
5. Предложен помехоустойчивый алгоритм развертывания фазы по совокупности многочастотных интерференционных сигналов.
6. Предложен метод измерения фазы интерференционных сигналов, не требующий априорной информации о фазовых сдвигах.

Приведенные в диссертации теоретические результаты корректно подкрепляются экспериментальными данными, даются рекомендации для практического использования в исследовательских лабораториях.

4. Практическая значимость результатов, полученных в диссертации.

Разработанные в диссертации С.П. Ильиных методы и алгоритмы оптических систем позволяет упростить технологию проведения экспериментов на натуральных объектах и обработку полученных результатов. Это позволило выполнить большой объем исследований на различных реальных объектах, а саму систему защитить 1 патентом и 2 свидетельствами о государственной регистрации программы для ЭВМ. Результаты диссертационной работы С.П. Ильиных получили поддержку четырех грантов РФФИ (2008 г., 2015 г., 2017 г., 2019 г.).

5. Соответствие диссертации и автореферата требованиям "Положения" о порядке присуждения научным и научно-педагогическим работникам ученых степеней и присвоения ученых званий

Приведенные в диссертации С.П. Ильиных результаты работы являются новыми. Представленный объем теоретических и экспериментальных результатов, полученных автором, их научная новизна соответствует требованиям ВАК РФ, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени доктора технических наук. Содержание диссертации и автореферата соответствует специальности 2.2.6 (05.11.07) – Оптические и оптико-электронные приборы и комплексы.

6. Личный вклад соискателя в разработку научной проблемы, репрезентативность эмпирического материала

Автореферат и 54 публикации автора в ведущих научных журналах отражают принципиальные положения диссертации. Публикации – статьи в журналах «Автометрия», «Оптика и спектроскопия», «Научный вестник НГТУ», в изданиях, входящих в список SCOPUS, WOS.

Начиная с 1990 года, С.П. Ильиных активно участвует и выступает с докладами на научных конференциях и семинарах. Таким образом, научная и инженерная общественность имела возможность ознакомиться с результатами исследований.

Личный вклад диссертанта в разработку научной проблемы отражен в автореферате диссертации.

7. Оценка содержания диссертации, ее завершенность

Переходя к характеристике диссертационной работы С.П. Ильиных в целом, следует отметить, что ее результаты можно квалифицировать как решение научной проблемы, имеющей научное и практическое значение в технике оптико-электронных систем контроля перемещений точек поверхности изделий. Созданная им оптическая система исследования позволила усовершенствовать технику проведения эксперимента и способ расшифровки данных. В диссертации приводятся материалы практического использования разработок автора.

Диссертация написана, в основном, грамотным языком, неплохо оформлена и иллюстрирована. Автореферат соответствует содержанию диссертации.

8. Замечания по работе

1. В Главе 1 диссертации при рассмотрении примеров 1-6 не приводится информация об авторском источнике опубликования.
2. Вызывает сомнение корректность формул (1.3.8) и (1.3.9) со ссылками на стр. 38 диссертации.
3. На рис. 2.1.1 непонятно – чем отличаются понятия «Смещение объекта исследования» от «Вибрация элементов конструкции установки»?
4. В ряде случаев имеются стилистические погрешности.
5. На многих рисунках в диссертации отсутствует указание размерности по осям.
6. В Главе 5 автор приводит результаты измерения только нормальных перемещений и ничего не говорит о возможности измерения касательных перемещений точек поверхности деформируемого объекта.

Сделанные замечания несколько снижают восприятие диссертации.

9. Заключение

Диссертационная работа С.П. Ильиных представляет собой завершенную научно-квалификационную работу, в которой решена крупная

