

## **ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫЙ КОМПЛЕКС ИЗМЕРЕНИЙ 3D СМЕЩЕНИЙ И ДЕФОРМАЦИЙ ПОВЕРХНОСТЕЙ С УЧЕТОМ ВЛИЯНИЯ АТМОСФЕРНЫХ ЯВЛЕНИЙ**

*Поройков А.Ю., Сычев Д.Г.*

*Национальный исследовательский университет «МЭИ»*

В современной науке и технике измерения деформаций уделяется особая роль. Любой механизм и конструкция в ходе своей эксплуатации подвергается различным видам нагрузки, что, соответственно, вызывает деформацию узлов и элементов. Примером таких объектов могут служить лопатки газо- и гидротурбин. Поэтому измерения деформаций становятся очевидной необходимостью, без которой невозможно разработка и производство энергоэффективных и безопасных агрегатов энергетической отрасли. Измерения деформаций становятся очевидной необходимостью, без которой возможны нежелательные последствия вплоть до полного разрушения механизмов и конструкций.

Измерения деформаций производятся множеством различных методов, начиная с простейших механических датчиков, заканчивая сложными голографическими установками, использующими высокоточные оптические системы и когерентные источники света.

Оптические методы измерения деформаций имеют одно несравнимое преимущество перед механическими и пьезоэлектрическими датчиками. Этим преимуществом является бесконтактность проведения измерений.

Один из перспективных оптических методов измерения деформаций – метод корреляции фоновых изображений (МКФИ) (в англоязычной литературе IPCT – Image Pattern Correlation Technique) [1]. Данный метод сочетает в себе простоту экспериментальной установки, использование цифровых методов обработки и низкую погрешность. Эти достоинства позволяют использовать его в натуральных экспериментах и производить измерение деформаций на крупномасштабных поверхностях. Именно этот метод и рассматривается в работе.

Первый этап исследований был посвящен созданию тестовой установки для автоматизированного определения погрешности измерений методом корреляции фоновых изображений. Было разработано и создано электронное устройство автоматического задания и изменения положения исследуемой поверхности на основе современной компонентной базы: микроконтроллера, оптических датчиков и сервоприводов, разработана микропрограмма для микроконтроллера и программа для персонального компьютера. А также спроектирована механическая часть тестовой установки.

Второй этап был посвящен созданию механической части тестовой установки, разработке программного обеспечения, позволяющего проводить автоматизированное сравнение результатов измерения смещений поверхности методом корреляции фоновых изображений с контрольными измерениями датчиков расстояния.

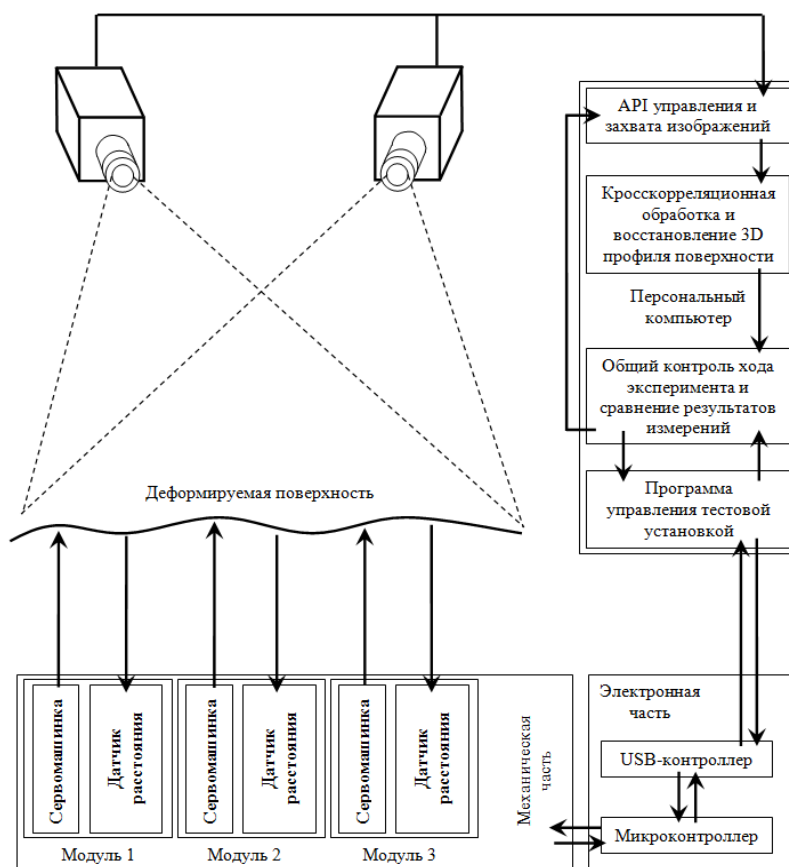


Рисунок 1 – Схема эксперимента для проведения измерений погрешности метода корреляции фоновых изображений

Были проведены экспериментальные исследования (рисунок 1) влияния геометрических параметров экспериментальной установки (взаимное расположение камер и объекта) и влияния атмосферных явлений (появление капель воды на поверхности, горячие восходящие потоки воздуха) на погрешность метода корреляции фоновых изображений. В ходе работы было разработано программное обеспечение для измерения деформаций методом корреляции фоновых изображений (рисунок 2). Оно позволяет получать изображения с камер стандарта GigE и проводить их кросскорреляционную обработку для восстановления трехмерного профиля поверхности в режиме реального времени.

Первым шагом в экспериментальных исследованиях влияния различных факторов на погрешность измерения методом корреляции фоновых изображений стало определение зависимости влияния величины стереобазы (расстояния между камерами) на погрешность метода.

В ходе эксперимента осуществлялось определение погрешности для различных значений стереобазы (от 75 см до 20 см). График полученной зависимости представлен на рисунке 3. Из графика видно, что погрешность с увеличением расстояния между камерами уменьшается, что качественно соответствует теории.

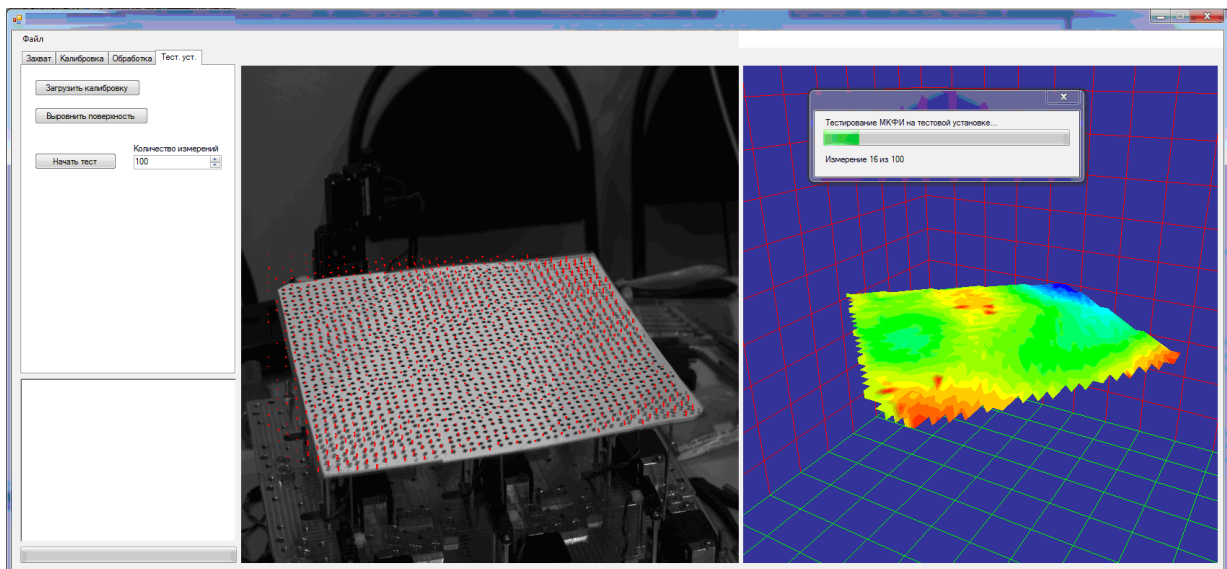


Рисунок 2 – Программное обеспечение измерения 3D деформации поверхности методом корреляции фоновых изображений

Также в ходе данного исследования была получена зависимость погрешности МКФИ от положения окна опроса на исследуемой поверхности (рисунок 4). На графиках приведены полученные погрешности для трех датчиков, расположенных на одной линии. Каждый последующий датчик расположен на большем расстоянии от камеры, чем предыдущий.

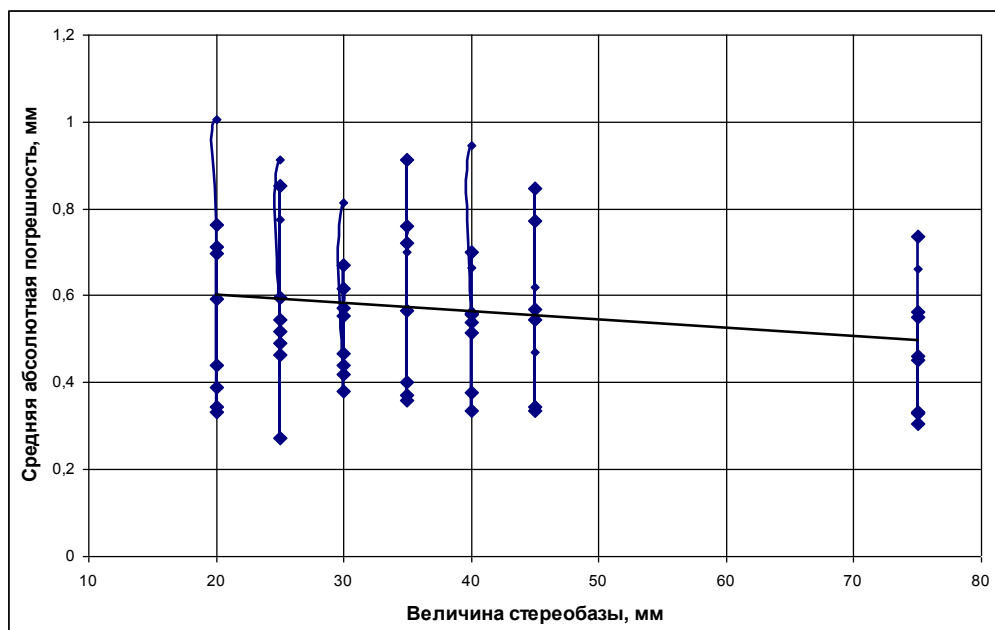


Рисунок 3 – График зависимости погрешности МКФИ от величины стереобазы

Из графиков хорошо видно, что погрешность с ростом расстояния от камер увеличивается. В [2] приведена формула расчета пространственного разрешения камер в эксперименте МКФИ при наклоне исследуемой поверхности. Рассчитанные значения пространственного разрешения для соответствующих датчиков в данном эксперименте с точностью до константы 0,25 (определенной эмпирически) отложены на графиках в качестве теоретических значений.

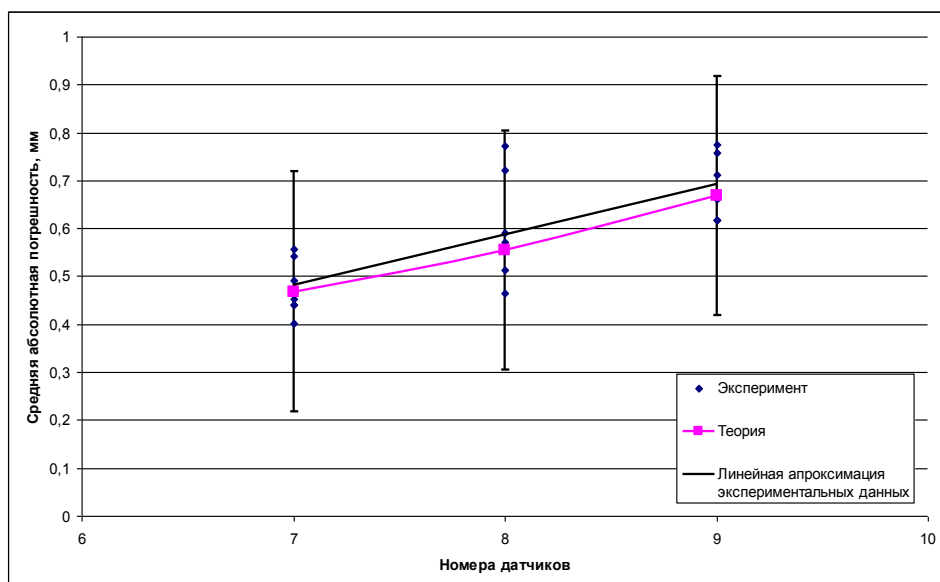


Рисунок 4 – График зависимости погрешности МКФИ от положения окна опроса на исследуемой поверхности

Таким образом, в ходе работы был создан оптико-электронный комплекс измерений 3D смещений и деформаций поверхностей с учетом влияния атмосферных явлений. Комплекс построен на современной компонентной базе, имеет современное программное обеспечение и обладает точностью 0,5 мм на площади поверхности 900 см<sup>2</sup> при амплитуде смещений в 10 мм. При этом погрешность измерений можно уменьшить, используя более сложные алгоритмы обработки.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 12-07-31079 мол\_а.

*Использованные источники:*

1. Kirmse T., Wagner A. Advanced Methods for In-flight Flap Gap and Wing Deformation Measurements in the Project AWIATOR // Proc. of First CEAS European Air and Space Conference. CEAS-2007-206. Berlin (Germany), 2007.
2. Boden F., Poroykov A.Yu., Rinkevichyus B.S., Skornyakova N.M. Laboratory and flight tests of IPCT method // 12th International Scientific and Technical Conference Optical Methods Of Flow Investigation (OMFI-2013), 13 p.