

двухчастотном нагружении при малоцикловых ($N < 10^5$ циклов) или многоцикловых ($N > 10^5$) испытаниях регистрировались с помощью ПБ и магнитошумовой аппаратуры, разработанной и созданной в ИПФ НАНБ.

Методика и устройство с повышенной производительностью механических испытаний и контроля с применением дополнительных силовых элементов и широкой вариативностью установочных параметров могут быть использованы в лабораторных и заводских условиях для исследования усталости и ФМС материала благодаря снижению материальных, временных и трудовых затрат.

УДК 621

**РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ И УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ
АЭРОДИНАМИЧЕСКОЙ ПЛАТФОРМОЙ**
Васильцов К.А., Казеко Д.Н., Баранова В.С., Лешкевич С.В., Саечников В.А.

*Белорусский Государственный университет
Минск, Республика Беларусь*

Аннотация. Разработана система контроля и управления движением аэродинамической платформы для предполетных испытаний студенческих наноспутников в лабораторных условиях.

Ключевые слова: аэродинамическая платформа, предполетные испытания, управление движением.

**DEVELOPMENT OF AN AERODYNAMIC PLATFORM MOTION CONTROL
AND CONTROL SYSTEM**

Vasiltsov K., Kazeka D., Baranova V., Liashkevich S., Sajechnikov V.

*Belarusian State University
Minsk, Republic of Belarus*

Abstract. A system for monitoring and controlling the movement of an aerodynamic platform for pre-flight tests of student nanosatellites in laboratory conditions has been developed.

Keywords: aerodynamic platform, pre-flight tests, motion control.

*Адрес для переписки: Казеко Д.Н., ул. Курчатова, 5, г. Минск, 220108, Республика Беларусь
e-mail: dkazeko@gmail.com*

Введение. Платформа разрабатывается для тестирования системы управления движением наноспутника или беспилотного летательного аппарата в условиях имитации невесомости в лабораторных условиях. Платформа левитирует на воздушном подшипнике над горизонтально выровненной стеклянной поверхностью. Движение осуществляется с двумя поступательными степенями свободы и одной вращательной с использованием электродвигателей для коррекции движения [1]. Прототип устройства представлен на рисунке 1.

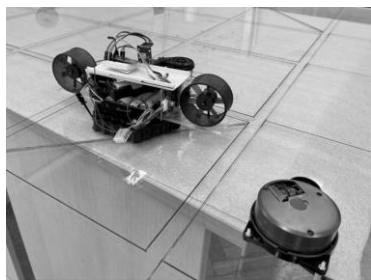


Рисунок 1 – Прототип подвижной аэродинамической платформы

Литература

1. Школьник, Л.М. Методика усталостных испытаний / Л.М. Школьник. – М. : Металлургия, 1978. – 300 с.
2. Испытательная техника : справочник: в 2-х кн.; под ред. В.В. Клюева. – М. : Машиностроение, 1982. – Кн. 1. – 528 с.
3. Бусько, В.Н. Лабораторная установка для испытаний образцов на усталость с помощью бигармонического нагружения / В.Н. Бусько // Приборы и методы измерений. – 2015. – № 2. – С. 181–187.
4. Устройство для механических испытаний на усталость ферромагнитных образцов бигармоническим нагружением : пат. РБ № 13191 / В.Н. Бусько. – Оpubл. 30.06.2023.

Устройство аэродинамической платформы. Платформа состоит из напечатанной на 3D-принтере пластины с профилированными каналами, воздушного микрокомпрессора, подруливающего устройства и системы управления платформой.

Микрокомпрессор подает воздух на воздушные каналы, создавая зазор между платформой и опорной поверхностью, на которой находится платформа (воздушный подшипник [2]). Макет несущей части платформы представлен на рисунке 2. Макет подруливающего устройства представлен на рисунке 3.

Система управления платформой обеспечивается микроконтроллером Raspberry Pi Pico. Для приема внешнего управляющего сигнала на платформу используется ИК-приемник. В качестве подруливающего устройства используется два электродвигателя управляемых драйвером L9110S. Принципиальная электрическая схема модуля управления аэродинамической платформой представлена на рисунке 4.

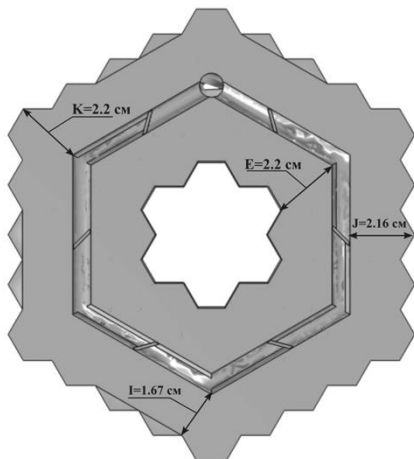


Рисунок 2 – 3D-модель макета несущей части аэродинамической платформы

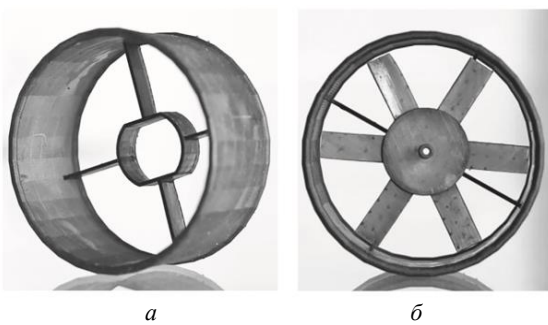


Рисунок 3 – Макет подруливающего устройства: а – корпус; б – макет в сборе

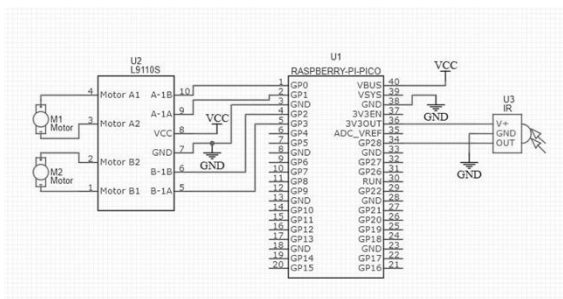


Рисунок 4 – Принципиальная электрическая схема модуля управления подруливающим устройством

Локализация и управление. Система определения угла поворота и локализации несущей части аэродинамической платформы относительно неподвижной опорной структуры реализована на основе комплексирования данных внешних оптической камеры и лидара. Оптическая камера с модулем обработки видео последовательности является источником угла φ и направления поворота. Для определения угла поворота используется опорный маркер, расположенный на платформе и метод корреляционного анализа- сопоставления масок с изображением опорного маркера при вращении платформы. Опорный маркер представляет собой две логарифмические спирали, одна из

которых является зеркальным отображением первой. В качестве модуля камеры используется Raspberry Pi v2 с полем зрения 79° и размером области изображения 640×480 .

На основе данных лидара с областью сканирования 360° и угловым разрешением $0,3^\circ$, рассчитываются координаты (X_i, Y_i) и скорость \vec{V} подвижной части платформы относительно неподвижной с частотой обновления 1 с. Диаграммы точек сканирования перемещения платформы представлены на рисунке 5.

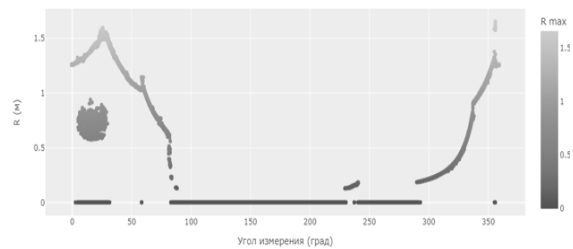


Рисунок 5 – Диаграмма точек сканирования перемещения аэродинамической платформы

На выходе системы контроля движения формируется вектор состояния (φ, X_i, Y_i) , которые передаются в вычислительную часть для формирования команд корректировки положения на микроконтроллере подруливающих устройств. Далее формируется управляющий сигнал, который представляет собой набор действий для платформы, в частности работа двигателей в одном из четырех режимов (вперед, назад, влево, вправо) и время работы в определенном режиме.

На рисунке 6 представлена схема управления перемещением платформы.



Рисунок 6 – схема управления перемещением аэродинамической платформы

Результаты. В результате работы был сконструирован прототип устройства позволяющий протестировать систему контроля и управления движением платформы. Зазор между платформой и поверхностью составляет около 100 мкм, чего хватает для плавного движения платформы без сопротивления на поверхности. Полученная платформа способна перемещаться по выделенной поверхности посредством управления внешним устройством и имеет номинальную тягу подруливающего устройства в 0,08 Н, общий вес

платформы составил 0,7 кг, а вес, который способна переносить платформа, составляет 1,5 кг.

Литература

1. Проектирование аэродинамической платформы для предполетных испытаний наноспутников / В.С. Баранова [и др.] // Актуальные вопросы машиноведения. – 2022. – Вып. 11.
2. Dynamic air-bearing hardware in-the-loop testbed to experimentally evaluate autonomous spacecraft proximity maneuvers / R. Zapulla [et al.] // Journal of Spacecraft and Rockets. – 2017. – Vol. 54, № 4.

УДК 621.317, 537.58

ТЕСТИРОВАНИЕ И КАЛИБРОВКА ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА ПОВЕРХНОСТИ СО СТАТИЧЕСКИМ ЗОНДОМ Воробей Р.И., Гусев О.К., Жарин А.Л., Микитевич В.А., Пантелеев К.В., Свистун А.И., Самарина А.В., Тявловский А.К., Тявловский К.Л.

*Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь*

Аннотация. Предлагается методика тестирования и калибровка измерительного преобразователя электрического потенциала поверхности со статическим зондом. Процедура калибровки заключается в сравнении сигналов измерительного преобразователя электрического потенциала поверхности при контроле поверхности изделия и эталонного образца. Калибровка достигается изменением положения отсчетного электрода относительно электродов эталонного образца и изменением напряжений, подаваемых на его электроды.

Ключевые слова: поверхность, электрический потенциал, однородность, статический зонд, калибровка.

TESTING AND CALIBRATION OF THE MEASURING CONVERTER OF THE SURFACE ELECTRICAL POTENTIAL WITH A STATIC PROBE

Vorobey R.I., Gusev O.K., Zharin A.L., Mikitsevich U.A., Pantsialeyeu K.U., Svistun A.I., Samarina A.V., Tyavlovsky A.K., Tyavlovsky K.L.

*Belarusian National Technical University
Minsk, Republic of Belarus*

Abstract. The testing and calibration methodology for the measuring converter of the surface electrical potential with a static probe is proposed. The calibration procedure includes comparison of output signals of the measuring converter obtained when monitoring the surface of the sample under study and a reference sample. Calibration is achieved by repositioning the reference electrode in relation to the electrodes of the reference sample and changing the voltages applied to its electrodes.

Key words: surface, electric potential, homogeneity, static probe, calibration.

*Адрес для переписки: Тявловский К.Л., пр. Независимости, 65, г. Минск, 220113, Республика Беларусь
e-mail: ktyavlovsky@bntu.by*

При контроле и исследовании свойств изделий и материалов с прецизионными поверхностями часто применяются бесконтактные методы измерения электрического потенциала поверхности, основанные на методе Кельвина [1; 2]. Несмотря на необходимость увеличения площади зонда по сравнению с устройствами, использующими вибрирующий зонд, методики измерения с неподвижным зондом имеют ряд преимуществ и расширяют область применения измерений электрического потенциала поверхности в контроле изделий с прецизионными поверхностями [3].

Одним из факторов, влияющих на формирование измерительного сигнала, особенно при относительно больших размерах зонда в статической методике измерения, является неоднородность поверхности под отсчетным электродом. Даже для изделий с прецизионными поверхностями характерно микрон неоднородное пространственное распределение электрического потенциала поверхности. Микрон неоднородность распределения электрического потенциала поверхности связана с различиями в работе выхода электрона на микрочастках поверхности с различной плотностью