	<p align="center">МИНОБРНАУКИ РОССИИ</p> <p align="center">федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования</p> <p align="center">«Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова»</p> <p align="center">(БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова)</p>
	<p>БГТУ. СМК-Ф-4.2-K5-01</p>

Факультет	<u>И</u>	<u>Информационные и управляющие системы</u>
	шифр	наименование
Кафедра	<u>И2</u>	<u>Инжиниринг и менеджмент качества</u>
	шифр	наименование

ОТЧЕТ
 о научно-исследовательской работе
 на тему
**Методологические основы индивидуальной калибровки
 линейных приводов гексапода**

Выполнила студентка группы И2М32
Игнатьева А.В.

 Фамилия И.О.

Руководитель:
Ефремов Н.Ю.

 Фамилия И.О.

Оценка _____
 « _____ » _____ 2017г.

Подпись

Санкт-Петербург
 2017

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	3
1 Обзор литературы по тематике диссертации	4
1.1 Общие сведения об интерферометрических системах	4
1.2 Влияние космического вакуума на аппаратуру	5
1.3 Стенд для измерений на основе интерферометра Майкельсона..	7
2 Выделение предметной области.....	9
3 Анализ методов высокоточных измерений.....	11
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	13
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	14

ВВЕДЕНИЕ

Гексапод – электромеханическая система с параллельной кинематикой, прецизионное мехатронное устройство.

В силу технологического разброса при изготовлении линейных приводов (далее – ЛП) и высочайших требований к точности воспроизведения движения, сопоставимых с технологической точностью изготовления, имеет место невзаимозаменяемость комплектующих гексаподов. Поэтому производится индивидуальная калибровка каждой ноги, рассчитываются поправочные коэффициенты, они записываются в систему управления гексапода. Аналогичный серийный гексапод той же модели имеет другие индивидуальные параметры, записываемые в свою систему управления, и нет возможности произвести замену в случае поломки. При замене любой ноги нужно заново откалибровать эту ноги и записать новый поправочный коэффициент в систему управления. В случае замены системы управления, в новую нужно записать все индивидуальные параметры приводов.

Одной из наиболее важных задач при создании линейных приводов (далее – ЛП) гексапода является соблюдение точности и стабильности геометрических характеристик как отдельных элементов, так и всей конструкции. Поскольку гексапод эксплуатируется в условиях глубокого вакуума и сильно переменных тепловых нагрузок, то при его разработке обязательным является проведение испытаний по определению величины температурной деформации, проводимых в условиях термобарокамеры.

Техника выполнения испытаний представляет собой имитацию температурного воздействия на ЛП с использованием термобарокамеры. Воздействием на ЛП экстремальными температурами термобарокамеры имитирует изменение линейного размера привода в условиях открытого космоса.

1 Обзор литературы по тематике диссертации

В процессе выполнения работы был проведен обзор литературы по тематике диссертации. Ниже приведены некоторые источники, материалы которых будут использоваться в дальнейшей работе. Было выделено несколько аспектов, по которым выполнена компоновка аналитического обзора.

1.1 Общие сведения об интерферометрических системах

В третьей главе данного отчета проводится анализ методов высокоточных измерений, и объясняется почему для измерения изменений линейных размеров испытываемых элементов был выбран оптический бесконтактный метод измерения.

В качестве СИ предполагается лазерный интерферометр с системой обработки информации.

При выборе метода и схемы измерений был изучен принцип интерферометрических измерений и рассмотрены различные варианты интерферометров.

Обзор тенденций развития лазерных интерферометрических и дифракционных систем, разработка концепций их построения и проведению научных экспериментов в физической оптике приведены в работе В.П. Коронкевича «Лазерные интерферометрические и дифракционные системы» [1]. Особое внимание уделено применению новых устройств в промышленных технологиях для машиностроения, приборостроения и металлургии. В работе описаны различные виды лазерных интерферометрических систем, обобщены результаты основных научно-исследовательских работ, выполненных автором более чем за 50-летний период деятельности. Поставлена и решена серьезная задача создания и практической реализации лазерных интерферометрических и дифракционных систем, предназначенных для выполнения широкого круга конкретных применений в области научного эксперимента и промышленной технологии.

Вопросы инженерной теории интерферометров так же рассмотрены в книге [2]. В книге описаны интерферометры для измерения длин, для контроля

формы и микрогеометрии поверхностей, а также для исследования оптических систем, измерения показателей преломления веществ и аэродинамических исследований. Рассмотрены возможные способы повышения чувствительности интерферометров.

В книге приведены общие сведения об интерференции света, описаны оптические схемы и особенности основных типов интерферометров, требования к оптическим и механическим узлам интерферометров и многое другое. Особый интерес в рамках данной работы представляет раздел «Интерферометры для измерения длин».

1.2 Влияние космического вакуума на аппаратуру

Важнейшую роль в обеспечении длительной безотказной работы космических аппаратов играет стойкость их конструкционных материалов и элементов бортового оборудования к воздействию окружающей космической среды. По оценкам отечественных и зарубежных экспертов, более половины отказов и сбоев в работе бортовой аппаратуры КА обусловлено неблагоприятным воздействием факторов космического пространства.

Так как гексаподы эксплуатируются в условиях глубокого вакуума и переменных тепловых нагрузок, то при их разработке и изготовлении необходимо учесть влияние условий вакуума как на механические, так и на электронные части изделия.

В брошюре Нусимова М.Д. «Влияние космического вакуума на материалы и устройства научной аппаратуры» [3] рассмотрены вакуумно-физические факторы космического пространства и влияние космического вакуума на работоспособность и эксплуатационные характеристики материалов, узлов и блоков научной аппаратуры космических летательных аппаратов. Затронуты вопросы массопотерь, адгезии и трения, электрофизических явлений, изменения механических, теплофизических и оптических свойств. Перечислены возможности технологического использования космического вакуума; изложены критерии и методика

моделирования его воздействий на материалы и приборы в наземных экспериментальных установках.

В брошюре описано явление космического вакуума, а также воздействие космического вакуума на материалы, узлы и блоки бортовых научных приборов. Описаны процессы адгезии, трения, износа, массопотерь и электрофизические явления в условиях вакуума. Автор приводит методы измерений физико-механических и электрофизических свойств и характеристик и описывает лабораторное моделирование воздействий космического вакуума на бортовые научные приборы. Так же, описаны особенности применения и эксплуатации материалов различных классов в условиях космического вакуума.

В третьей главе при анализе методов высокоточных измерений приведены выдержки из данной брошюры.

На космический аппарат в полете воздействует обширный комплекс факторов космического пространства: потоки электронов и ионов высокой энергии, холодная и горячая космическая плазма, солнечное электромагнитное излучение, метеорная материя, твердые частицы искусственного происхождения и другие факторы. В результате такого воздействия в материалах и элементах бортового оборудования космического аппарата протекают разнообразные физико-химические процессы, приводящие к ухудшению их эксплуатационных параметров. В зависимости от характера процессов, инициируемых воздействием космической среды, происходящие изменения свойств материалов и элементов оборудования могут иметь разный временной масштаб, быть обратимыми или необратимыми, представлять различную опасность для бортовых систем [4].

В пособии [4] обобщены литературные данные и экспериментальные и теоретические результаты авторов в области методик проведения испытаний элементов конструкций космических аппаратов. Приведены различные конструкции экспериментальных стендов для наземных испытаний, результаты испытаний.

1.3 Стенд для измерений на основе интерферометра Майкельсона

Методы высокоточной калибровки ЛП гексапода получили развитие в виде стенда с размещенной на нем измерительной системой, предполагается, что основу стенда будет положен интерферометр Майкельсона, с применением современных элементов оптики, механики и программных средств.

В интерферометре Майкельсона (рисунок 1) свет от источника падает на полупрозрачную пластинку, расположенную под углом 45° к направлению распространения луча.

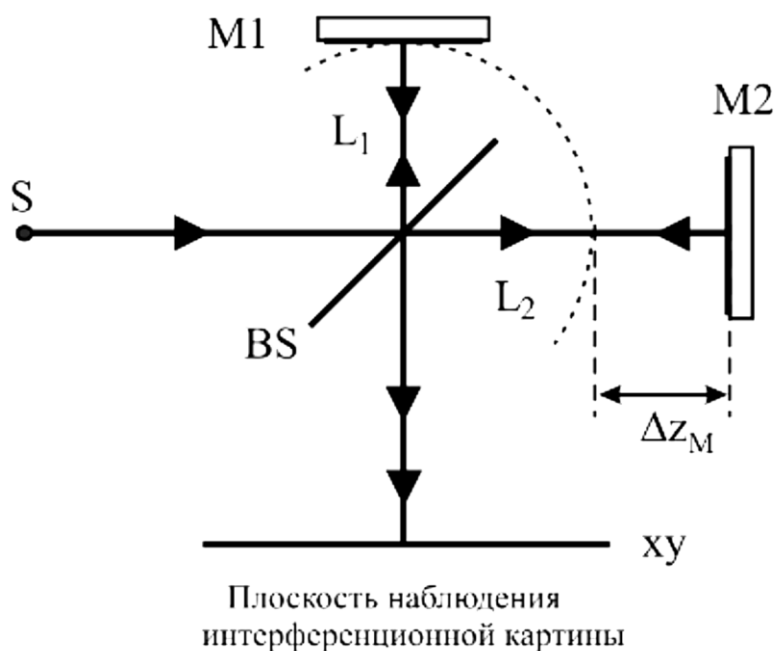


Рисунок 1 – Классическая схема интерферометра Майкельсона

В интерферометре Майкельсона световой пучок от лазерного источника делится на два пучка светоделительной пластиной (СДП). Далее пучки распространяются в направлениях перпендикулярных плоским зеркалам $M1$ и $M2$. Отраженные от зеркал волны возвращаются к СДП, вновь делятся полупрозрачным зеркалом по амплитуде, так что в выходной ветви

интерферометра складываются две волны, создавая явление интерференции. Результат интерференции этих волн можно наблюдать на экране.

В работах [5] и [6] представлены материалы для изучения явления интерференции света, принципа работы интерферометра Майкельсона с лазерным источником. В методических указаниях изложена методика определения длины волны лазера и характеристик интерферометра по параметрам интерференционной картины. Приведены иллюстрации, оптические схемы и формульное описание интерферометра Майкельсона.

Так как в работе предполагается создание стендового оборудования для проведения измерений был рассмотрен ГОСТ Р 8.744-2011/ISO/TR 14999-3:2005 Государственная система обеспечения единства измерений (ГСИ). Оптика и фотоника. Интерференционные измерения оптических элементов и систем. Часть 3. Калибровка и аттестация интерферометров, методика измерений оптических волновых фронтов [7]. Данный стандарт был рассмотрен с целью получения информации для дальнейшего использования при разработке интерферометрической системы.

Данный стандарт (ISO14999) посвящен методам оценки качества оптических элементов и систем в целом, имеющих отношение к производимым ими (элементами и системами) деформациям волнового фронта.

Стандарт рассматривает источники погрешностей и деление их на симметричные и несимметричные части. В нем также описываются критерии оценки надежности результатов измерений по качеству физически реализуемой эталонной поверхности и создание методик испытаний, обеспечивающих достижение абсолютной калибровки.

2 Выделение предметной области

В техническом задании (далее – ТЗ) [6] к договору о работе между БГТУ ВОЕНМЕХ им. Д.Ф. Устинова и АО ИСС им. М.Ф. Решетнева, на результаты которой опирается данная работа, максимальная погрешность перемещения подвижной платформы гексапода относительно неподвижного основания задана величиной 10 мкм. Для обеспечения такой погрешности перемещения подвижной платформы расчеты показывают, что максимальная погрешность перемещения каждого ЛП не должна превышать 1 мкм.

Обеспечение указанной выше точности линейного привода является сложной инженерной задачей, имеющей различные решения.

Первым возможным решением является уменьшение допусков при изготовлении компонентов линейного механизма до технологически возможных пределов. Однако очевидно, что для достижения погрешности собранного линейного механизма в 1 мкм допуски на изготовление узлов, особенно пары «ходовой винт – ходовая гайка» должны лежать в пределах 0,25 – 0,5 мкм, что превышает технологические возможности абсолютного большинства образцов современного металлообрабатывающего оборудования и может быть изготовлено только при применении уникальных технологий единичного производства.

Кроме этого, «зажимание» допусков в парах контакта трения может привести либо к заклиниванию указанных пар трения при колебаниях температуры окружающей среды, либо к свариванию поверхностей в вакууме.

Дополнительным соображением является то, что в условиях производства абсолютно неизбежным является разброс размеров изготовленных узлов и компонентов линейного механизма даже в пределах заданных уменьшенных допусков, что неизбежно приводит к разбросу параметров изготовленных линейных механизмов и, как следствие, разбросу параметров линейных приводов. Отсюда вторым возможным решением проблемы высокоточного позиционирования подвижной платформы гексапода является следующее.

В том случае, если изготовить линейные механизмы с допусками, исключающими заклинивание во всем диапазоне температур использования гексапода, а также резко уменьшающими вероятность сваривания контактных поверхностей, мы получим линейные механизмы и линейные приводы с погрешностями перемещения, значительно превышающими расчетный предел в 1 мкм. Кроме этого, в расширенном диапазоне погрешностей каждый линейный механизм и каждый линейный привод будут иметь свое значение погрешности перемещения.

В качестве решения указанной проблемы предложена компенсация погрешности путем индивидуальной калибровки каждого ЛП во всем диапазоне перемещений, температур и давлений. Индивидуальные параметры каждого привода различаются с учетом допуска на изготовление. Эти различия в параметрах приводов можно измерить, перевести в индивидуальные поправочные коэффициенты и учесть в алгоритмах управления каждым приводом.

Проведением такой калибровки и введением индивидуальных поправочных коэффициентов в законы управления ЛП возможна целенаправленная корректировка суммарной погрешности гексапода путем учета индивидуальных погрешностей каждого линейного привода при реализации заданного перемещения подвижной платформы гексапода.

Для реализации вышеуказанной цели необходимо провести статистически достоверное количество однотипных измерений параметров каждого линейного привода, причем большинство испытаний необходимо проводить в термокамере в диапазоне температур от минус 80°C до плюс 80°C в условиях нормального и пониженного давления.

Для проведения испытаний необходимо выбрать метод высокоточных измерений, схему измерений, разработать измерительную систему и программу-методику испытаний. Эти задачи являются задачами предметной области.

3 Анализ методов высокоточных измерений

При создании элементов специального космического машиностроения, одна из наиболее важных задач – соблюдение точности и стабильности геометрических характеристик. Поскольку такие элементы эксплуатируются в условиях глубокого вакуума и переменных тепловых нагрузок, то при их разработке и изготовлении обязательным является проведение испытаний по определению величины температурной деформации, проводимых в условиях термобарокамеры. Одна из важнейших проблем эксплуатации космических аппаратов в условиях экстремальных знакопеременных температур либо в условиях открытого космоса, либо в условиях, имитирующих открытый космос, – изменение линейных и угловых размеров в соответствии с коэффициентами линейного теплового расширения материалов и сплавов, из которых изготовлены элементы космического аппарата [7].

При выборе метода высокоточных измерений линейных размеров в условиях, приближенных к условиям открытого космоса, были сделаны следующие выводы:

- применение контактных механических средств измерений, таких как стрелочные индикаторы и микрометры, недопустимо из-за подверженности конструктивных элементов СИ температурным изменениям. Эти температурные изменения аналогичны изменениям измеряемого образца, что ведет к возникновению погрешностей измерений, практически не поддающихся учету;
- применение промышленных образцов контактных электронных СИ, таких как оптические линейки и инкрементальные энкодеры, представляется невозможным ввиду воздействия факторов, имитирующих условия открытого космоса – экстремальные температуры и глубокий вакуум.

В глубоком вакууме изменяется протекание различных физических процессов и происходит ряд специфических явлений. Глубокий вакуум способен к поглощению неограниченного количества газов и паров, которые могут выделяться из радиоэлектронных компонентов, входящих в состав

контактных электронных средств измерений. В условиях имитации космического вакуума любой материал выделяет газы и пары, примеси и добавки, адсорбированные на поверхности и имеющиеся в объёме материала. Имитация космического вакуума может вызывать сублимацию поверхностных слоёв материалов, входящих в состав радиоэлектронных компонентов оптических линеек и энкодеров. Для исключения воздействия вакуума на материалы открытых поверхностей радиоэлектронных компонентов, следует подбирать вещества с низкой скоростью сублимации. В космическом вакууме активно испаряются полимерные материалы – наполнители, что приводит к изменению теплофизических и диэлектрических характеристик компонентов. В глубоком вакууме отсутствуют конвективный теплообмен и теплопроводность среды, а теплообмен происходит только за счет излучения. В условиях имитации открытого космоса при глубоком вакууме иногда твердые поверхности тел становятся весьма чистыми (на 1000 атомов вещества приходится 1 атом). Это приводит к активизации адгезии соприкасающихся материалов, а при пластической деформации могут возникать явления холодной сварки соприкасающихся материалов [3].

Устранить все перечисленные эффекты трудно технически и невыгодно экономически, поэтому адаптация промышленных образцов измерительной техники к условиям, реализуемым в ходе испытаний, нецелесообразна.

Таким образом, для измерения изменений линейных размеров испытываемых элементов был выбран оптический бесконтактный метод измерения. В качестве СИ предполагается лазерный интерферометр с системой обработки информации.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Наиболее технически достоверным методом измерения перемещений с требуемой точностью является бесконтактный, оптический, а именно интерферометрический метод.

На точность измерений влияет компоновка оптических схем измерительной системы.

Погрешность измерений зависит от выбранных компонентов и материалов.

Для подтверждения предлагаемых технических решений необходимы математические расчеты, моделирование и проведение эксперимента.

Предметом дальнейшей работы является выбор схемы измерений, разработка измерительной системы и программы-методики испытаний, проведения измерений и анализ результатов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 Коронкевич В.П., Полещук А.Г., Седухин А.Г., Ленкова Г.А. Лазерные интерферометрические и дифракционные системы. Издательство: Институт систем обработки изображений Российской академии наук. Самара, 2009 г. – 23с.

2 Коломийцов Ю. В. Интерферометры. Основы инженерной теории, применение. Издательство: Машиностроение, Ленинград., 1976 г. – 296с.

3 Нусинов М.Д. Влияние космического вакуума на материалы и устройства научной аппаратуры. – М.: Машиностроение, 1987 г. – 29с.

4 Космическое пространство и его влияние на элементы конструкций космических аппаратов [Электронный ресурс]: электронное, методическое, пособие к практ. работам / М-во образования и науки РФ, Самарский гос. аэрокосм. ун-т им. С. П. Королева (нац. исслед. ун-т); авт.-сост.: Н. Д. Семкин, А.М. Телегин, М.П.Калаев. – Самара, 2013. – 49 с.

5 Т.М. Гладышева, В.О. Гладышев, Б.Г. Скуйбин, В.Л. Кауц. Интерферометр Майкельсона. Лабораторный практикум по курсу физики. Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана, М. 2015 г. – 31с.

6 В.П. Рябухо, В.В. Лычагов, А.Л. Кальянов. Интерферометр Майкельсона с лазерным источником света :руководство к лабораторной работе по курсу общей физики. – С.: ГОУ ВПО «Саратовский государственный университет им. Н.Г. Чернышевского», 2009 г. –16 с.

7 ГОСТ Р 8.744-2011/ISO/TR 14999-3:2005 Государственная система обеспечения единства измерений (ГСИ). Оптика и фотоника. Интерференционные измерения оптических элементов и систем. Часть 3. Калибровка и аттестация интерферометров, методика измерений оптических волновых фронтов.

8 Техническое задание на выполнение научно-исследовательских, опытно-конструкторских и технологических работ по теме «Разработка типоразмерного ряда прецизионных мехатронных устройств стабилизации,

позиционирования и наведения бортовой аппаратуры космической и авиационной техники» к Договору № 218/4973 от 29 июля 2015 г. – Железногорск: АО ИСС.

9 К.А.Комаров, Л.Б.Кочин, Д.А.Хромихин, Н.Г.Яковенко. Индивидуальная калибровка высокоточных линейных приводов, предназначенных для работы в условиях космического пространства. – М.: Вопросы радиоэлектроники, 2016 г. – 7с.