	<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> шифр	<u>Информационные и управляющие системы</u> наименование
Кафедра	<u>И2</u> шифр	<u>Инжиниринг и менеджмент качества</u> 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 _____
 « _____ » _____ 2018г.

 Подпись

Санкт-Петербург
 2018

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
1 Выбор методов решения поставленных задач	4
1.1 Рассмотрение различных компоновочных схем	4
1.2 Интерферометрический датчик для индивидуальной калибровки параметров линейных приводов при испытаниях в наземных условиях	15
1.3 Выбранная схема измерений	28
1.3.1 Обоснование выбора оптической схемы с фазовой пластиной	28
1.3.2 Состав измерительной системы.....	31
2 Участие в студенческих научно - практических конференциях	38
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	39
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	40

ВВЕДЕНИЕ

Одной из наиболее важных задач при создании линейных приводов 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.

Для проведения испытаний выбран оптический бесконтактный метод измерения. В качестве средства измерения выступает лазерный интерферометр с системой обработки информации.

Для реализации высокоточных измерений было рассмотрено несколько альтернативных компоновочных схем.

1 Выбор методов решения поставленных задач

В выбор методов решения поставленных задач входит выбор схемы испытаний и испытательного оборудования.

1.1 Рассмотрение различных компоновочных схем

В ходе проработки различных интерпретаций интерферометра были рассмотрены основные компоновочные схемы.

Вариант 1

В первом варианте лазерный излучатель с делительным полупрозрачным зеркалом располагаются снаружи термобарокамеры, два луча, образовавшиеся в результате деления посредством специально подобранных гибких световодов подаются в камеру через гермовводы в заглушенных боковых смотровых окнах. При детальной проработке конструкции потребуются соблюдения строгое соответствие лазера и гибких световодов по оптическим параметрам, таким, например, как длина волны, окно прозрачности световода и т.д [1].

Схема опыта представлена на рисунке 1.1.1. Оптическая схема представлена на рисунке 1.1.2.

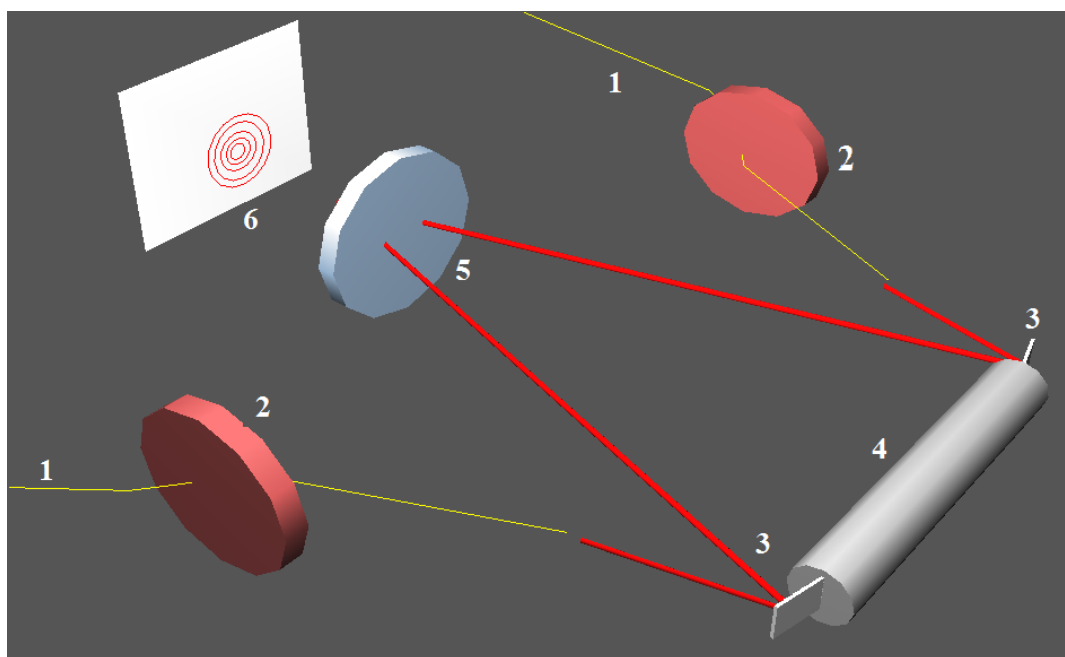


Рисунок 1.1.1 – Ввод разделенных лучей в ТБК с помощью световодов через боковые гермовводы ТБК

На рисунке 1.1.1:

- 1 – гибкие оптические световоды;
- 2 – гермовводы;
- 3 – отражатели (плитки Йогансона), расположенные под равным углом к торцам;
- 4 – измеряемый объект;
- 5 – смотровое окно;
- 6 – интерференционная картина.

Отразившись от отражателей на торцах, лучи выводятся из камеры через центральное смотровое окно и за пределами камеры образуют интерференционную картину, подлежащую дальнейшей обработке. В качестве отражателей могут быть использованы плитки Йогансона, отличающиеся особой чистотой поверхностей, плоскостностью, предсказуемостью поведения при температурных деформациях.

Существенным недостатком такого метода является необходимость закрепления отражателей на торцах под равным углом и поддержание постоянства жесткости и угла крепления в процессе испытаний. Так же недостатком является то, что передача излучения по световоду значительно снизит стабильность частоты и ухудшит расходимость.

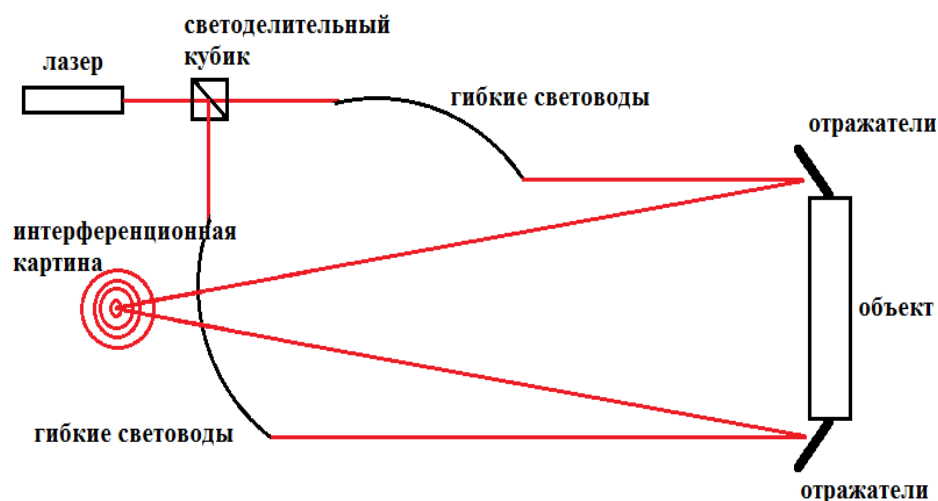


Рисунок 1.1.2 – Оптическая схема опыта

Расположение зеркал на торцах объекта представлено на рисунке 1.1.3.

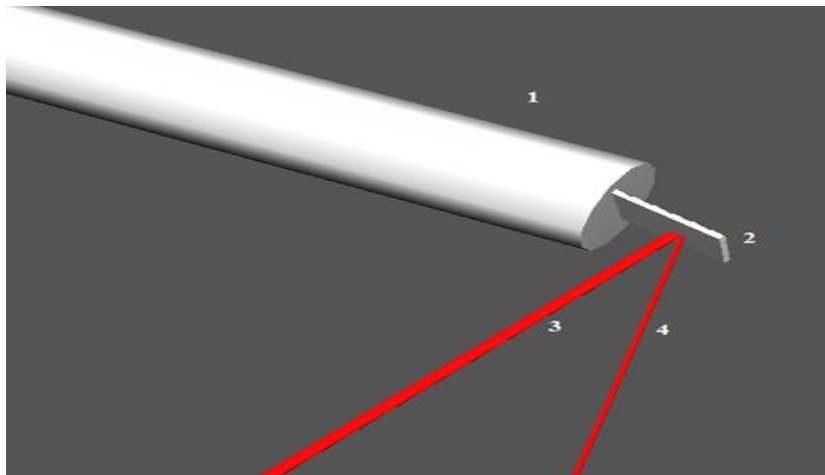


Рисунок 1.1.3 – расположение зеркал на торцах измеряемого объекта

На рисунке 1.1.3:

- 1 – измеряемый объект;
- 2 – зеркало;
- 3 – отраженный луч;
- 4 – падающий луч.

Вариант 2

Данная компоновка оптических элементов представляет собой классическую оптическую схему интерферометра Майкельсона. Основная часть элементов конструкции располагается за пределами термобарокамеры, следовательно, не подвержена воздействию температур и давлений. Все излучающие и отражающие элементы расположены строго перпендикулярно. Луч от лазерного излучателя проходит через центральное смотровое окно, вследствие чего возникает необходимость замены стекла в окне на специальное оптическое, для уменьшения воздействия свойств среды на проходящий луч. Измеряемый объект располагается внутри камеры на одной оси с лучом. Отражающее зеркало устанавливается на торце измеряемого объекта. Второй торец объекта фиксируется, тем самым исключая изменение

линейного размера сразу с двух сторон. Следовательно, при воздействии на объект знакопеременных температур происходит линейное перемещение незакрепленного торца с установленным на нем зеркалом, а значит, меняется плечо интерферометра, что позволяет получить интерференционную картину и произвести вычисления величины перемещения, то есть изменения линейного размера объекта [1].

Схема эксперимента представлена на рисунке 1.1.4. Оптическая схема представлена на рисунке 1.1.5.

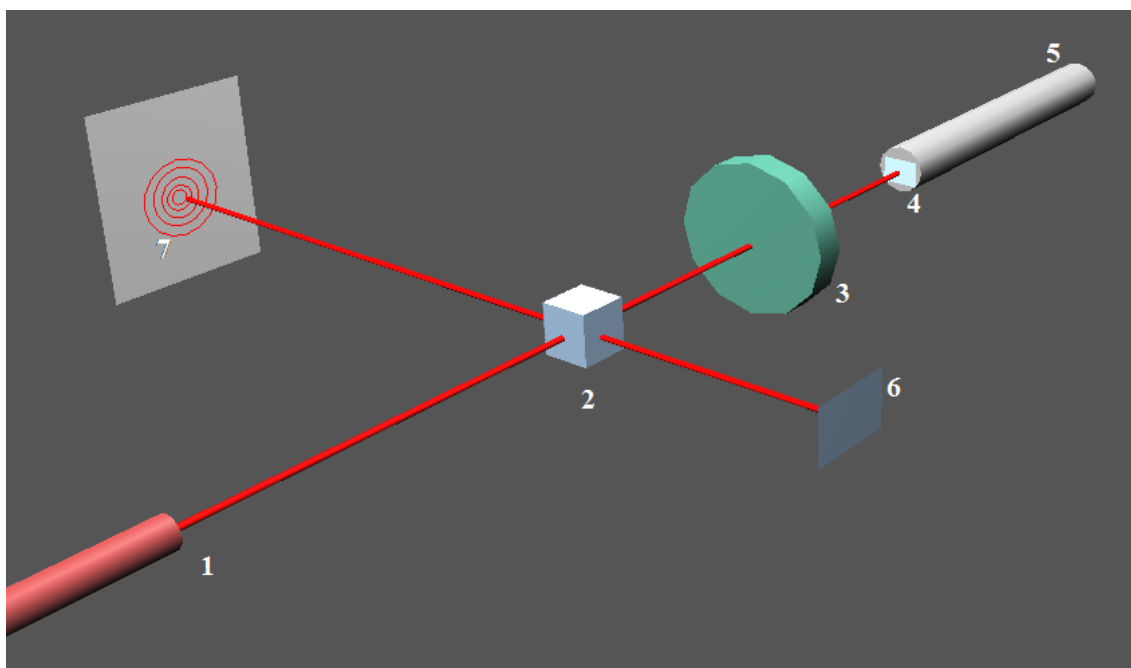


Рисунок 1.1.4 – Схема измерения с одним подвижным зеркалом на торце объекта

На рисунке 1.1.4:

- 1 – источник лазерного излучения;
- 2 – полупрозрачное двухстороннее зеркало;
- 3 – центральное смотровое окно камеры;
- 4 – зеркало на торце измеряемого объекта;
- 5 – измеряемый объект;
- 6 – зеркало;
- 7 – интерференционная картина.



Рисунок 1.1.5 – Оптическая схема

Вариант 3

Измерение изменения линейных размеров посредством микроинтерференционного метода. Представленная оптическая схема является переработанной схемой микроинтерферометра Линника, принцип действия которого основан на измерении микронеровностей поверхностей с $R_z = 0,03...1$ мкм. На торцах измеряемого объекта установлены металлические либо стеклянные полусферы (материал требует дальнейшего уточнения), поверхность которых покрыта золотым незащищенным покрытием. Несмотря на мягкость и подверженность деформациям, отсутствие защитных слоёв позволяет избежать нежелательной интерференции, которая может искажать результаты измерений. Так же, незащищенное золото имеет слегка большее среднее отражение, чем защищенный металл, которое превышает 98.5%. Диапазон волн, отражаемых золотым незащищенным покрытием лежит в пределах 0.6-10 микрон, следовательно, длина волны гелий-неонового лазера попадает в данный диапазон [1].

На каждой сферической позолоченной поверхности методом лазерной гравировки наносятся микронеровности расчетной глубины и взаимного расположения. Луч лазера по касательной проходит поверхность сферы с

нанесенными микронеровностями. В результате в местах выступов и впадин на исследуемой поверхности интерференционные полосы искривляются. Степень искривления полос характеризует неровность поверхности, а изменение интерференционной картины отображает перемещение измеряемого объекта. Каждая полоса на интерференционной картине представляет собой изображение полосы профиля поверхности. Шаг неровностей подсчитывается по формуле $S=2a \operatorname{tg} (a/2)$, где a - угол профиля, либо радиус сферы [1].

Оптическая схема представлена на рисунке 1.1.6. Схема эксперимента представлена на рисунке 1.1.7.

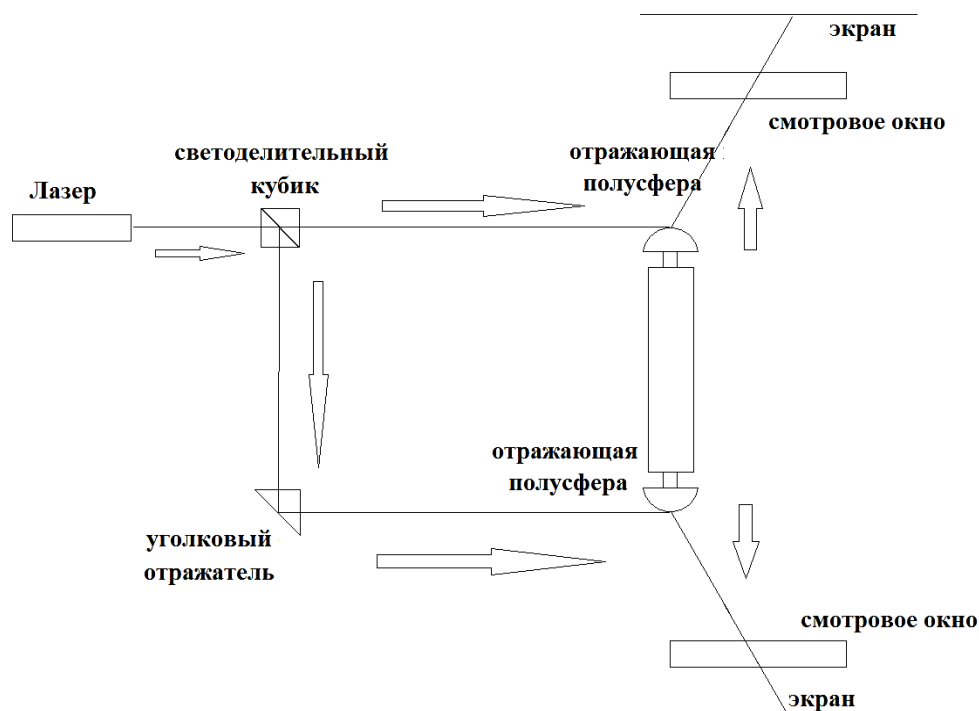


Рисунок 1.1.6 – Оптическая схема

Оптическая схема представлена источником когерентного излучения – гелий-неоновым лазером, светоделительным кубиком, разводящим луч на две измеряемых поверхности. После отражения от поверхности сферы с нанесенными микронеровностями, каждый луч выходит через боковое смотровое окно, снабженное кварцевым оптическим стеклом, минимизирующим оптические искажения, и попадает на экран.

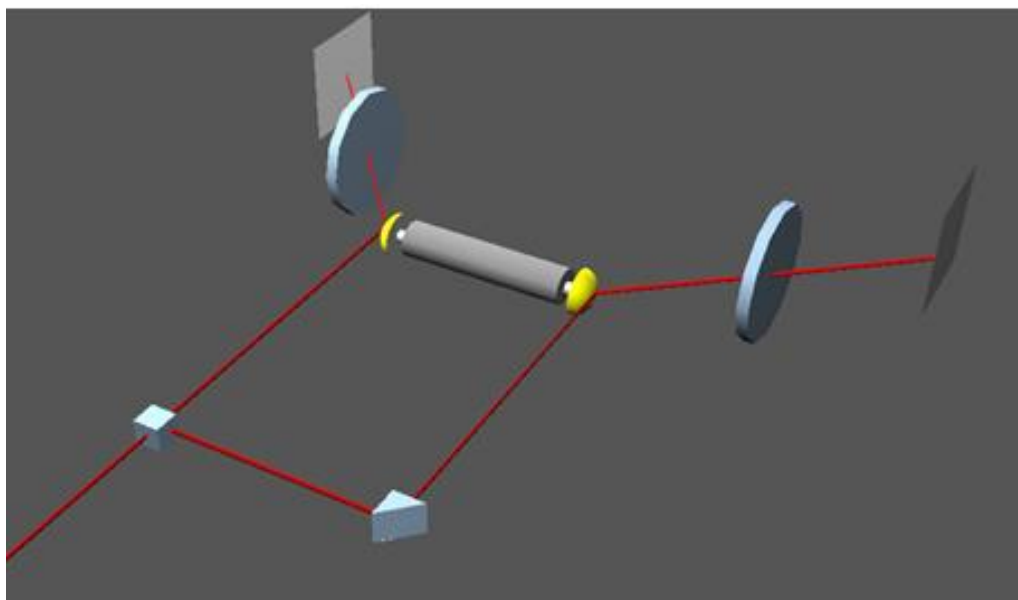


Рисунок 1.1.7 – Схема эксперимента

Основным недостатком подобной реализации измерений, очевидно, может стать сложность интерпретации изменений интерференционных картин, полученных на выходе, а так же накопление возможных погрешностей, таких как неточность изготовления полусфер, изменение геометрических параметров при нагреве-охлаждении, возможное изменение физико-химических свойств золотого напыления, а следовательно, и нанесенных микронеровностей при изменении температуры и достижении глубокого вакуума.

Вариант 4

При интерферометрических измерениях требуемой точности возникает проблема относительности перемещений измеряемого объекта и измерительной системы. В результате нерегистрируемых взаимных смещений системы и объекта, обусловленных микроперемещениями стола либо иной базы внутри термобарокамеры, к которой осуществляется крепление измеряемого объекта, а также перемещений измерительной системы в случае ее расположения снаружи термобарокамеры в результате естественных вибраций помещения, в случае если перемещения не компенсируются активной либо пассивной виброгасящей системой [1].

Оптическая схема представлена на рисунке 1.1.8. Схема эксперимента представлена на рисунке 1.1.9.

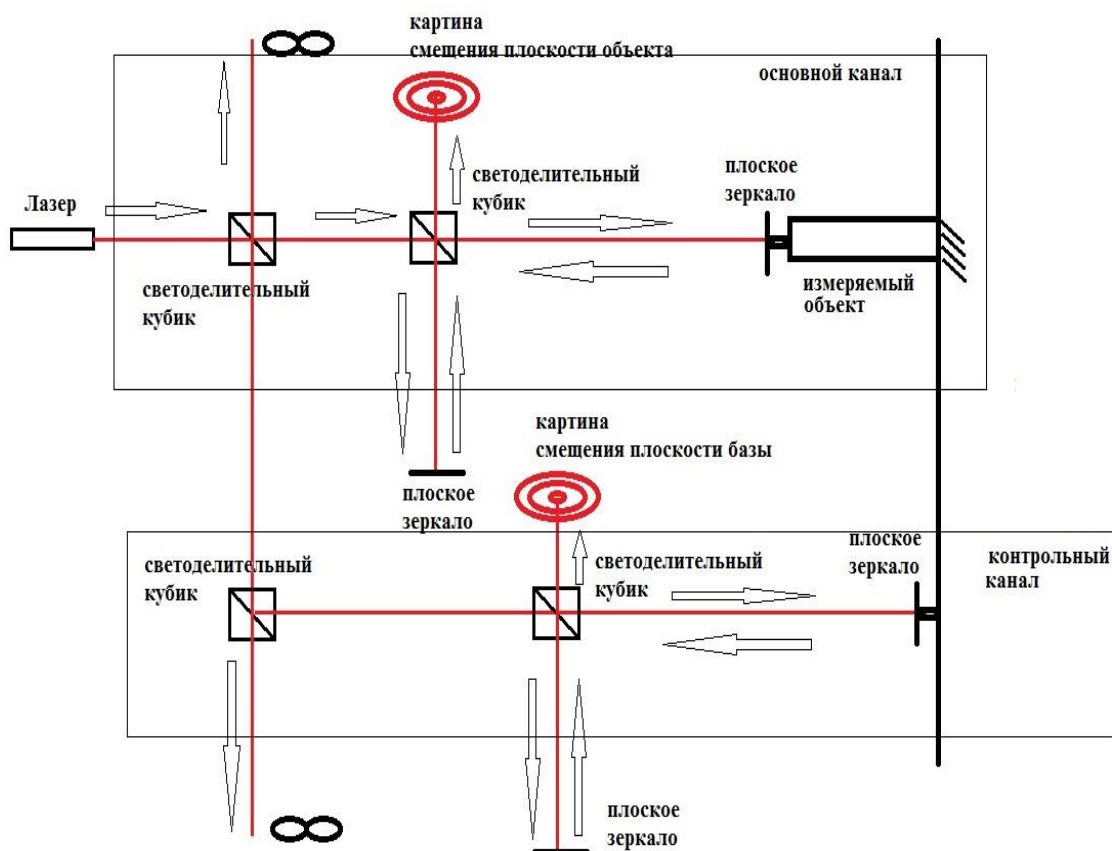


Рисунок 1.1.8 – Оптическая схема

Подобная компоновка оптической схемы представляет собой двухканальный многолучевой интерферометр Майкельсона со строго перпендикулярным расположением отражателей. Особенностью такой системы является использование контрольного канала, сформированного делением входящего лазерного луча и направлением одного из образовавшихся лучей на свободный торец измеряемого объекта, снабженный плоским отражателем – для измерения изменения линейного размера, а второго – на отражатель, установленный на какой-либо общей с фиксированным (задним) торцом объекта базе, будь то задняя стенка термобарокамеры, либо фиксирующее приспособление на столе. Таким образом, образуются одновременно две интерференционные картины, одна из которых демонстрирует изменение плеча интерферометра на линии

измеряемого объекта, а вторая – взаимное перемещение измерительной системы и фиксирующей базы, что может быть учтено в качестве поправки при интерпретации результатов измерений.

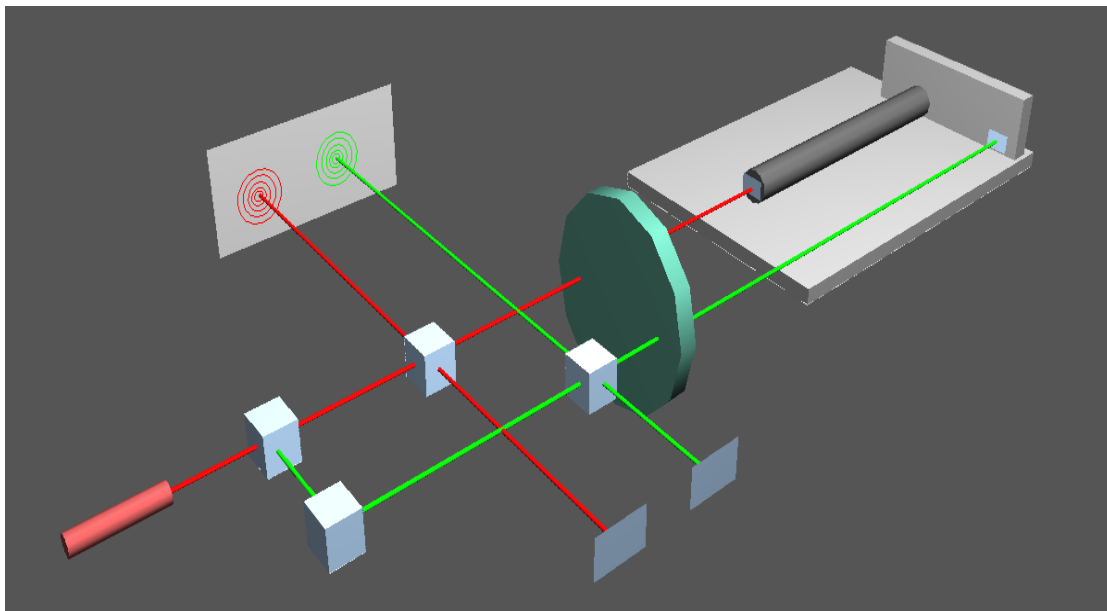


Рисунок 1.1.9 – Схема эксперимента

На схеме эксперимента красным выделен основной луч измерения объекта. Зеленым – контрольный луч.

Вариант 5

Рассмотрен вариант расположения измерительной системы в рабочем объеме термобарокамеры. Для защиты от воздействия экстремальных температур, а так же низкого давления, основные элементы системы помещены в гермобокс, внутри которого поддерживаются нормальные температура и давление. Гермобокс имеет центральное и боковое (боковые) окна. Корпус гермобокса жестко крепится к столу термобарокамеры. Измерение происходит по классической схема интерферометра Майкельсона со строго перпендикулярными отражателями. Луч, формирующий интерференционную картину, выводится через боковое окно гермобокса, и далее может либо выводиться через боковое окно термобарокамеры, при условии, что взаимное расположение окон обеспечивает их перекрытие,

достаточное для прохождения луча, либо интерференционная картина формируется на поверхности бокового окна термобарокамеры, для чего может потребоваться нанесение каких-либо покрытий, матирующих наружную поверхность окна [1].

Оптическая схема представлена на рисунке 1.1.10, схема эксперимента представлена на рисунке 1.1.11.

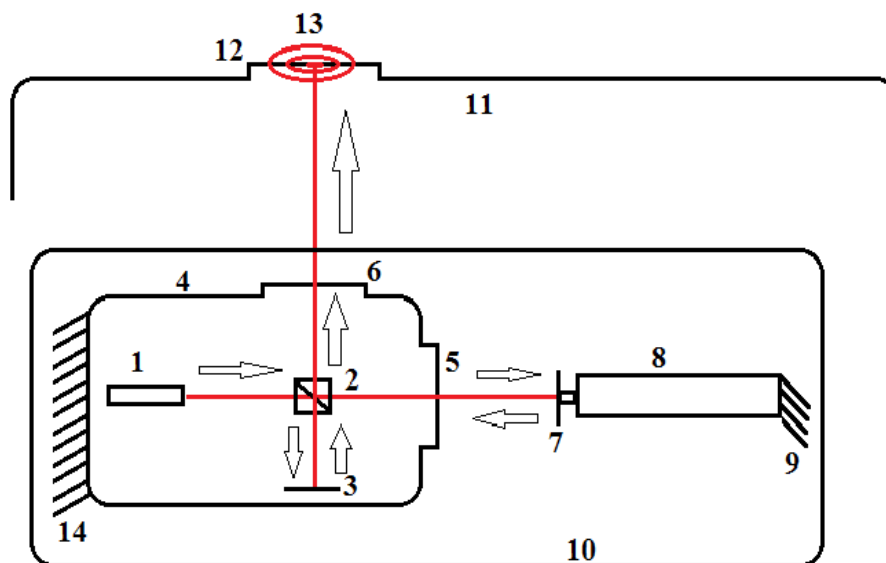


Рисунок 1.1.10 – Оптическая схема

На рисунке 1.1.10:

- 1 – источник лазерного излучения;
- 2 – светоделительный кубик;
- 3 – неподвижный отражатель;
- 4 – гермобокс;
- 5 – центральное смотровое окно гермобокса;
- 6 – боковое смотровое окно гермобокса;
- 7 – отражатель на свободном торце измеряемого объекта;
- 8 – измеряемый объект;
- 9 – жесткое крепление торца измеряемого объекта к столу;
- 10 – стол;
- 11 – боковая стенка термобарокамеры;

- 12 – боковое смотровое окно термобарокамеры;
- 13 – интерференционная картина;
- 14 – жесткое крепление гермобокса к столу.

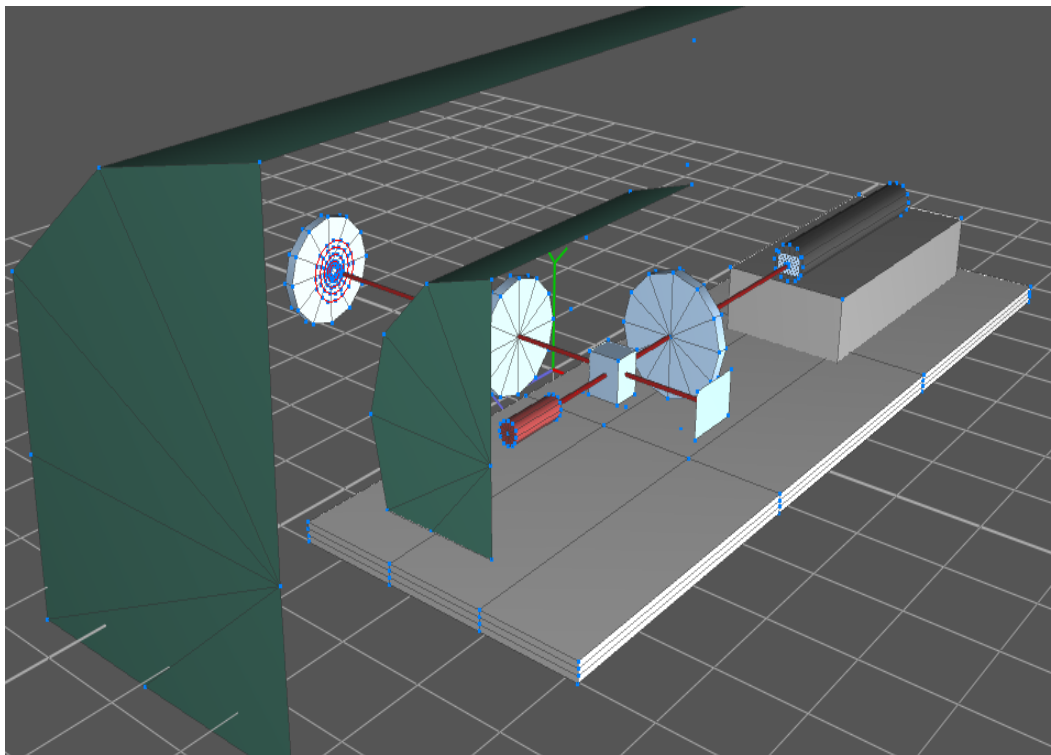


Рисунок 1.1.11 – Схема эксперимента

Очевидным преимуществом данного варианта является нахождение измерительной системы и измеряемого объекта в жесткой механической связке, что исключает взаимное перемещение объекта и системы, не допуская тем самым возникновения погрешностей измерений. Недостатками такой компоновки являются необходимость проектирования и изготовления гермобокса, обеспечения дополнительных гермовводов кабелей из помещения в термобарокамеру, и далее – в гермобoks, при условии проводного питания и управления системой. Так же требует тщательной проработки наличие в оптической схеме системы лишних (по сравнению с остальными проработанными вариантами) точек изменения оптической среды – центральное и боковое смотровые окна гермобокса, боковое окно термобарокамеры [1].

1.2 Интерферометрический датчик для индивидуальной калибровки параметров линейных приводов при испытаниях в наземных условиях

Высокоточная калибровка линейных приводов устройств параллельной кинематики, была реализована в виде стенда, с целью отработки и корректировки оптической схемы, а также разработки и уточнения методов получения и обработки, интерпретации интерференционной картины. Установлено что, предложенная компоновочная схема, рисунок 1.2.1, особенностью которой является наружное расположение оптических и электронных элементов, при котором луч посылается и возвращается к ретрорефлектору, расположенному на измеряемой оси через штатное окно термобарокамеры, смотровое стекло в котором заменяется на специальное, с просветлением под длину волны используемого лазера, является не работоспособной.

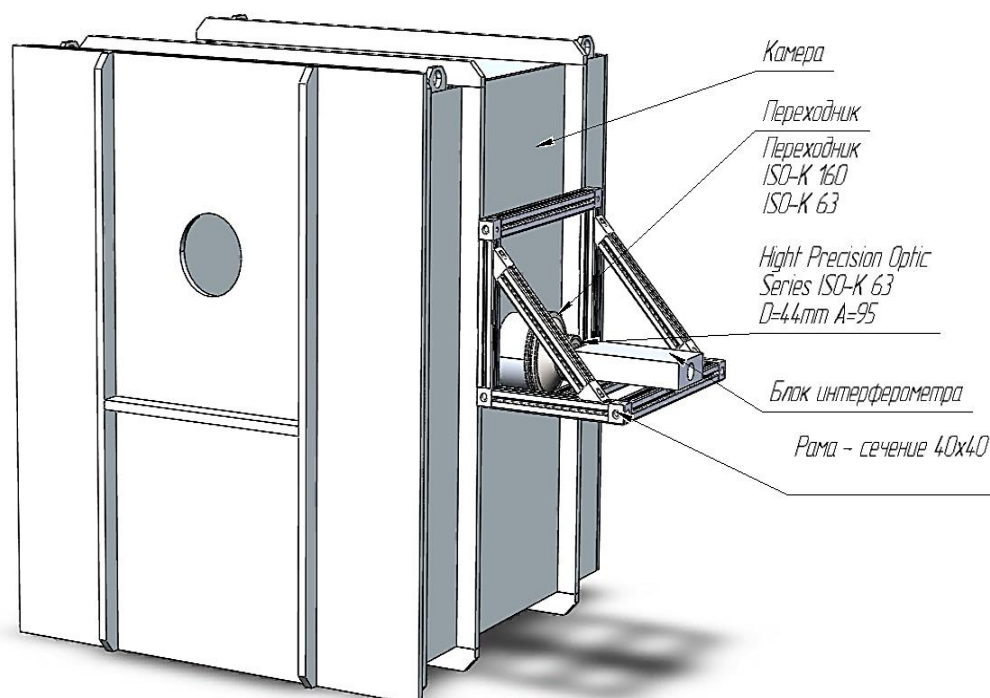


Рисунок 1.2.1 – Общий вид барокамеры с установленным оборудованием

1.2.1 Первый вариант схемы измерительного оборудования

Одним из вариантов, прорабатываемых в данной работе является схема изображенная на рисунке 1.2.2, 1.2.3, при которой измерительный прибор находится на оси центрального смотрового окна. Высокие требования к точности и достоверности измерений исключают взаимные перемещения элементов конструкции, возникающие в результате воздействия температурных нагрузок, вибраций, возникающих в процессе перемещений штока линейного привода и при работе агрегатов термобарокамеры при наборе и поддержании глубокого вакуума во время проведения испытаний.

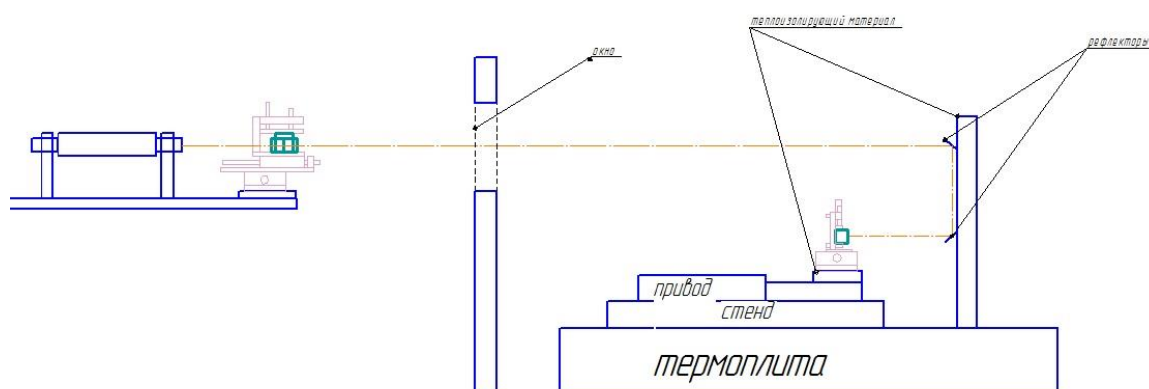


Рисунок 1.2.2 – Схема расположения измерительного оборудования

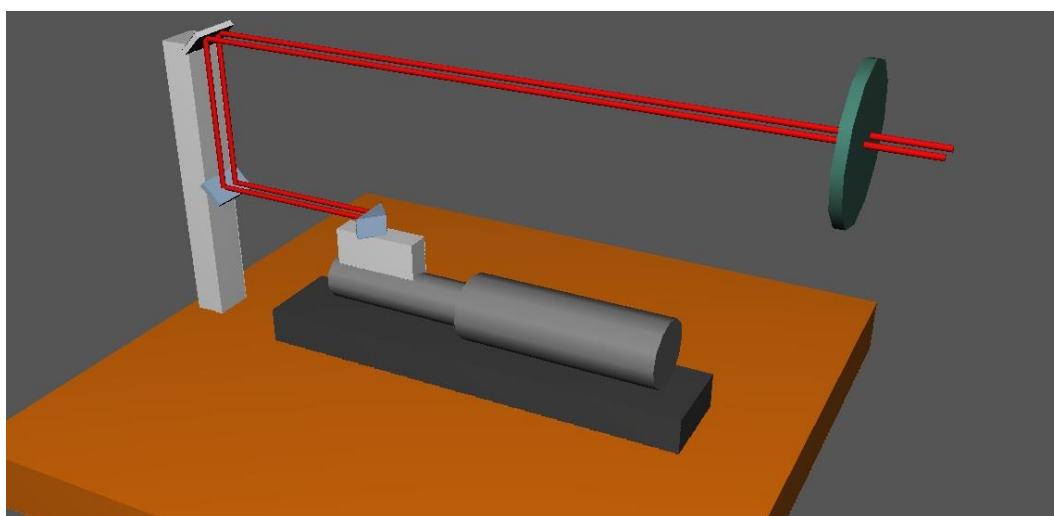


Рисунок 1.2.3 – Трехмерная модель оборудования

Так же, фактором, отрицательно влияющим на работу измерительной системы, является деформация стенок и двери термобарокамеры, возникающая при наборе и подержании глубокого вакуума, что является обязательным требованием при проведении имитационных испытаний космической техники. Было выполнено моделирование в среде Ansys.

1.2.2 Расчёт напряженно-деформированного состояния двери вакуумной камеры

При работе вакуумной камеры возникает перепад давления порядка 1 атм. Под действием давления камера деформируется. Цель расчета – установить величину упругого перемещения элементов двери. После снятия геометрических размеров был составлен эскизный чертёж двери вакуумной камеры, рисунок 1.2.4.

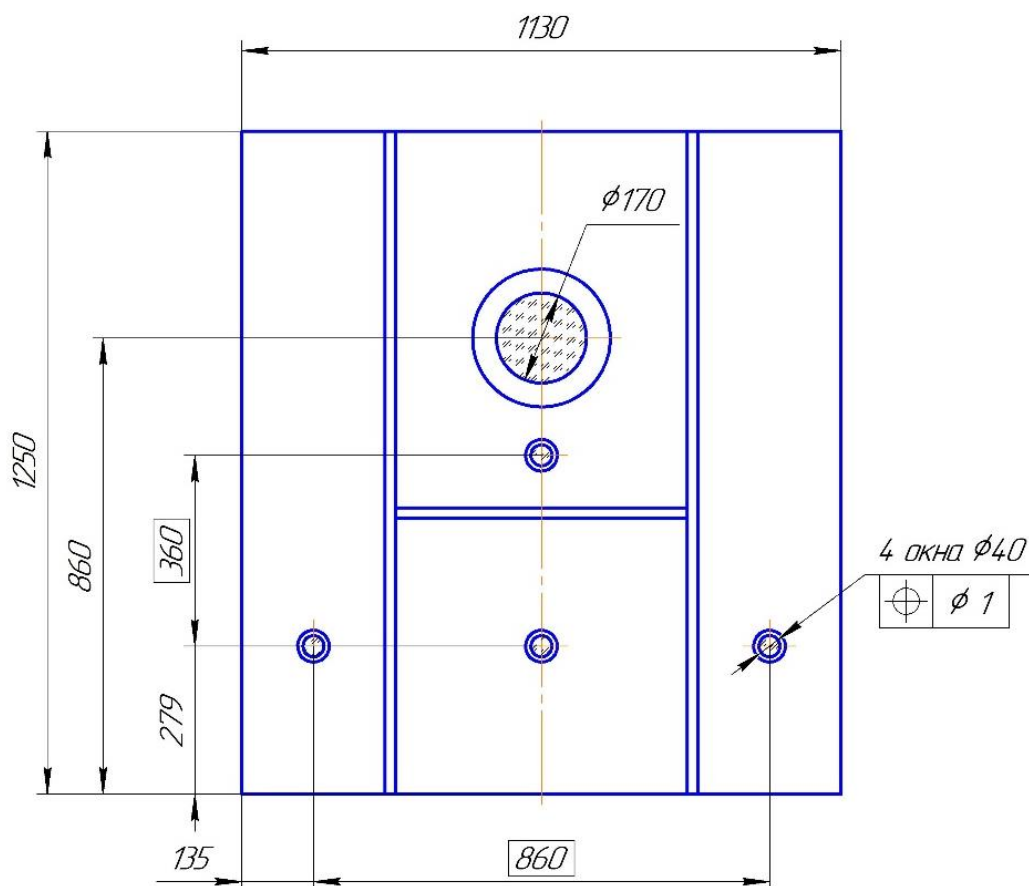


Рисунок 1.2.4 – Эскизный чертёж двери

Математическая модель и расчётная схема составлены в пакете ANSYS Workbench, рисунок 1.2.5.

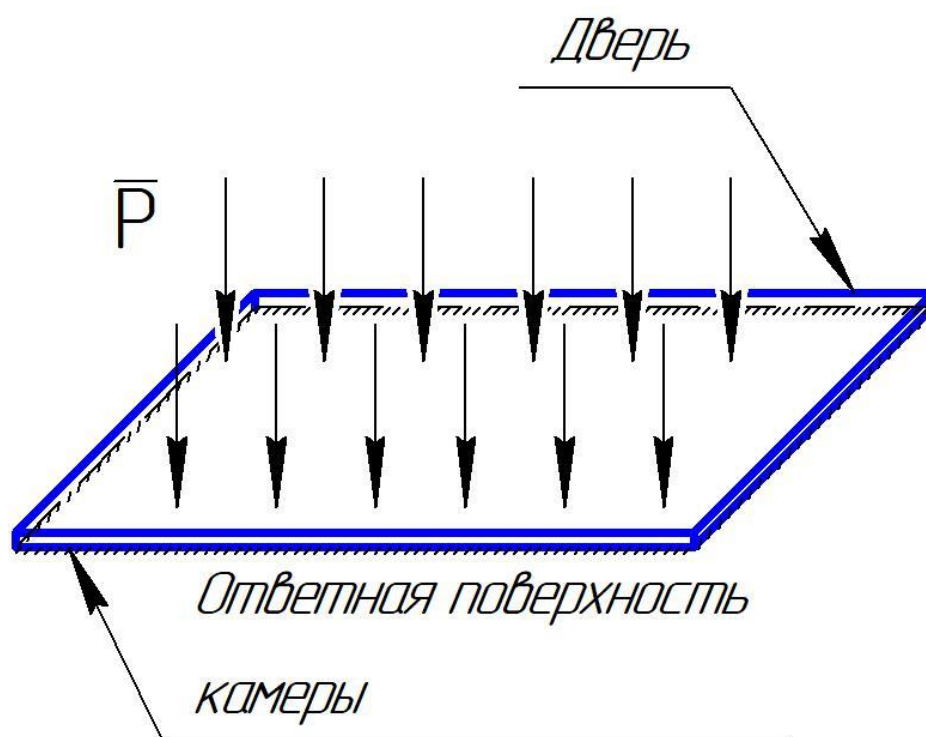


Рисунок 1.2.5 – Общая расчётная схема

Расчётная схема представляет собой две пластинки, одна из которых закреплена и является недеформируемой (ответная поверхность камеры), а вторая закреплена на первой без трения по контуру ответной поверхности и нагружена давлением по свободной поверхности. В модели двери также имеется пять отверстий для окон (размеры и расположение которых указано на эскизном чертеже, рисунок 1.2.4) на которые с внешней стороны двери прикреплены без трения круглые пластинки (стёкла) и три балки прямоугольного сечения (рёбра жёсткости), жёстко связанные с внешней поверхностью двери.

Результаты расчёта представлены ниже (рисунки 1.2.6 – 1.2.7). Из результатов видно, что на картине перемещений двери наибольшей деформацией обладают центральные окна, поэтому рассмотрим их детально.

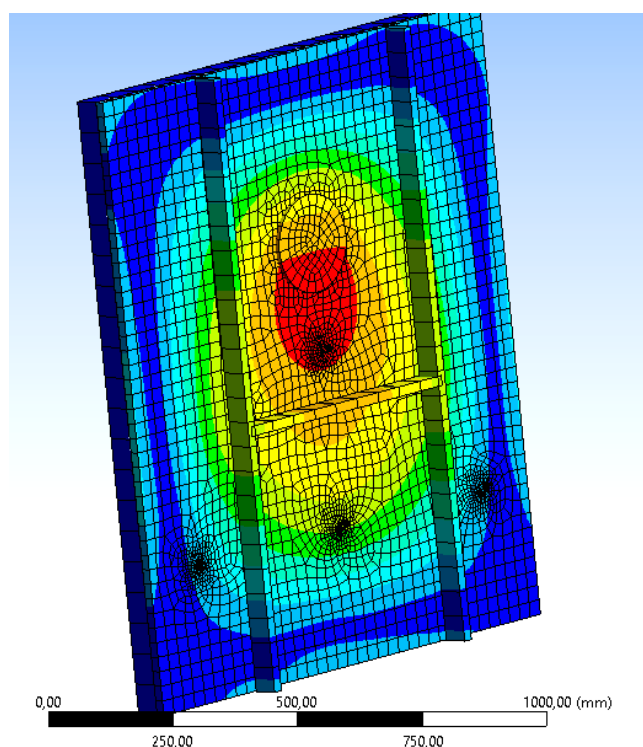


Рисунок 1.2.6 – Перемещения двери

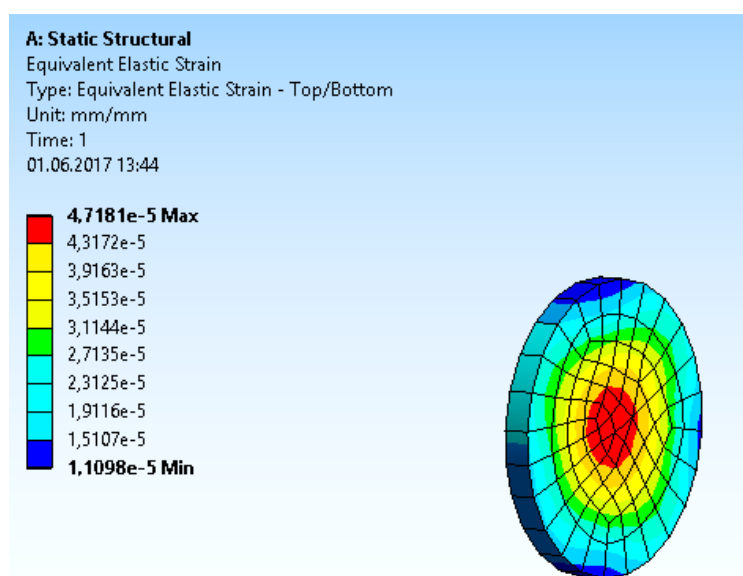


Рисунок 1.2.7 – Деформация верхнего центрального окна

Из результатов расчёта видно, что максимальное перемещение двери составляет 1.49 мм, что не позволяет использовать предложенную компоновочную схему с наружным расположением оптических и электронных элементов в измерительной системе.

1.2.3 Второй вариант схемы измерительного оборудования

Ввиду перечисленных причин, определяющих невозможность использования первоначальной схемы, была разработана компоновка, исключающая нежелательные воздействия на систему.

Согласно второй компоновочной схеме, элементы оптической цепи, составляющей интерферометр, а именно: блоки интерферометрии и блок отражателей следует расположить прямо на измеряемом объекте. Данное решение позволит отказаться от сложных открытых оптических путей внутри объекта подверженного большому количеству возмущающих факторов, так как открытый оптический канал может быть заменен оптическим волокном, что гораздо удобнее в работе. Также совмещение измерительных базовых поверхностей блоков интерферометра с поверхностями линейного привода позволит наиболее точно производить корректировку их относительного смещения, опираясь только на информацию о температуре поверхности прикрепляемых блоков. Структурно схема установки блоков интерферометра приведена на рисунке 1.2.8. Согласно данной схеме блок интерферометра и блок отражателя закрепляются жестко на элементах конструкции нагрузочного устройства 562.3700-100. Блок интерферометра закреплен неподвижно на упоре нагрузочного устройства, что позволяет максимально приблизить точку на делительной плоскости луча в интерферометре к поверхности шарнира линейного привода. Блок отражателя закреплен на подвижной части конструкции – столе. При таком расположении блоков достаточно учитывать температуру на поверхности их монтажа, чтобы компенсировать смещение оптических компонент, вызываемое температурным расширением в ходе испытаний.

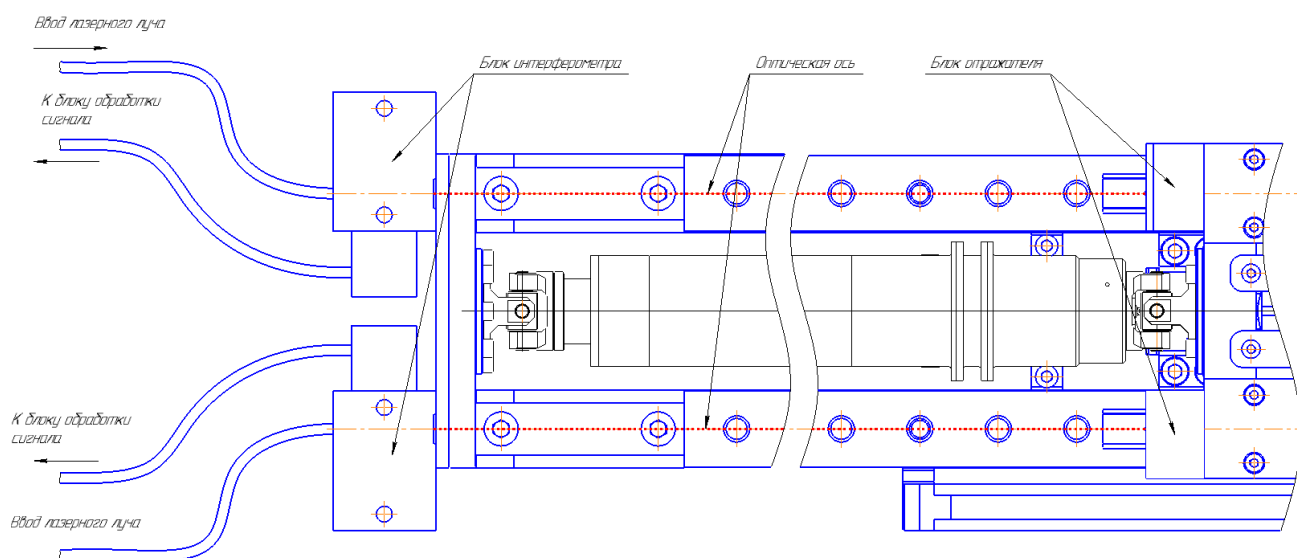


Рисунок 1.2.8 – Схема установки измерительного оборудования на стенд
562.3700-0

Элементы конструкции оптического оборудования при такой установке образуют оптическую схему, приведенную на рисунке 1.2.9.

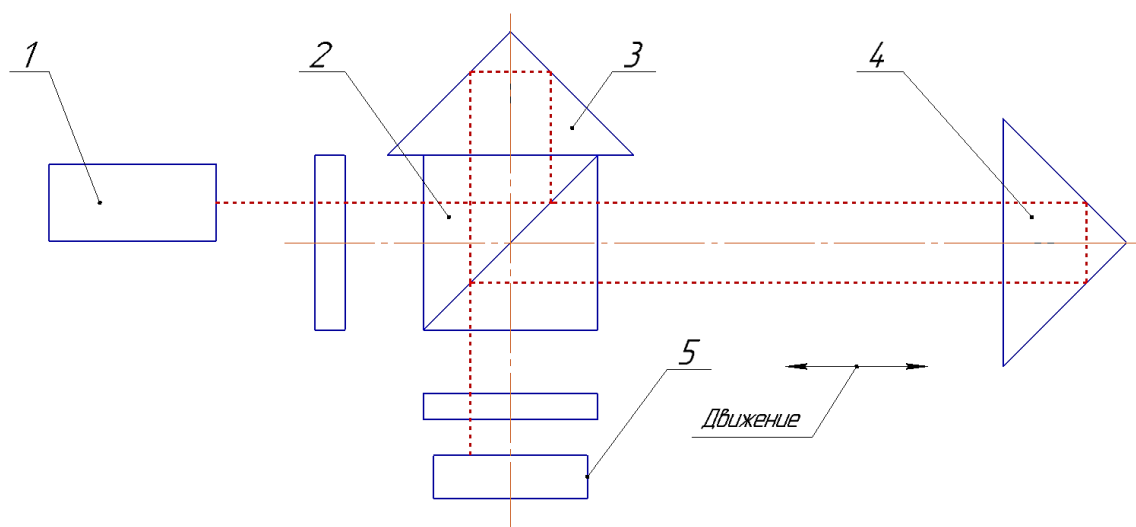


Рисунок 1.2.9 – Эскиз оптической схемы разрабатываемого интерферометра

Согласно схеме, рисунок 1.2.9, интерферометр состоит из 1 – источника когерентного излучения, 2 – делительной призмы, 3 – призмы отражателя статической, 4 – призмы отражателя динамической, 5 – приемника интерференционной картины.

Общий вид и сборочный чертеж блока интерферометра изображены на рисунках 1.2.10, 1.2.11. Где 1 – оправка, 2 – крышка, 3 – винты крепления, 4 – оптический волоконный коллиматор, 5 – стеклянная призма. Светоделительный кубик состоит из пары склеенных призм, основанием которых является прямоугольный треугольник. К кубику приклеена отражательная призма. Склеенная система из светоделительного кубика и отражательной призмы помещается в оправу. Полупроводниковый лазер прикрепляется к волоконному коллиматору, который, в свою очередь, прикрепляется к оправе.

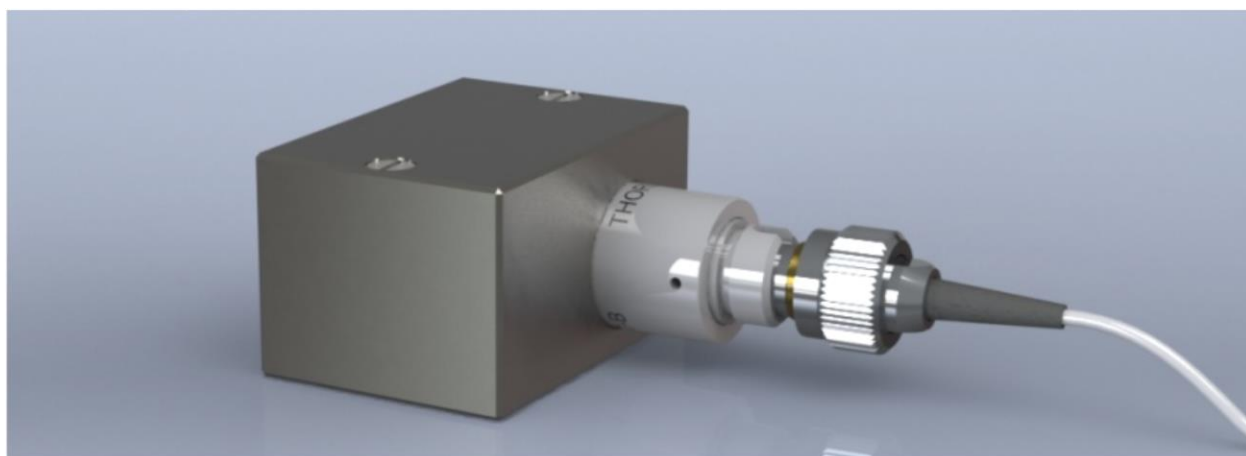


Рисунок 1.2.10 – Блок интерферометра

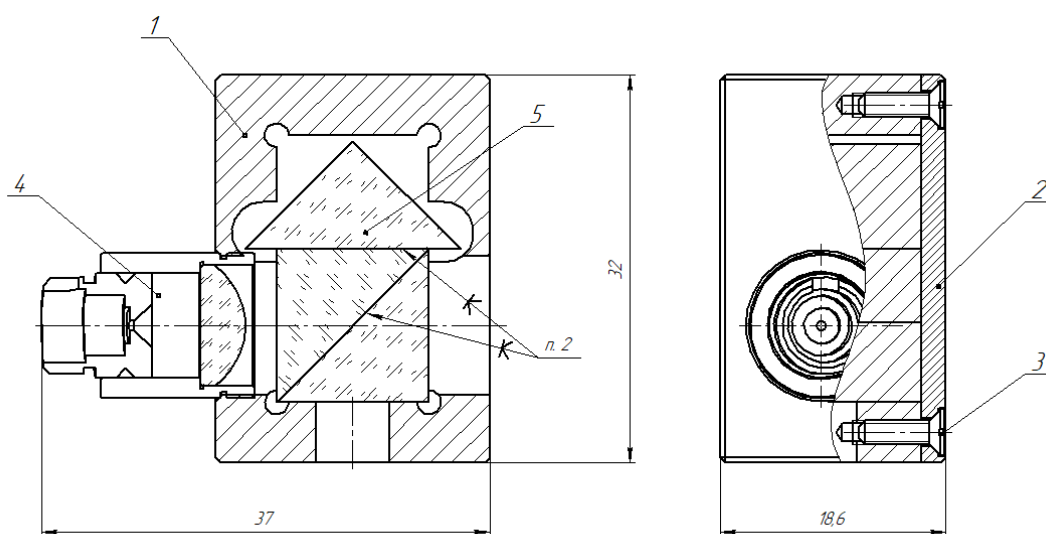


Рисунок 1.2.11 – Сборочный чертеж блока интерферометра

В качестве источника рассеянного лазерного излучения, применены лазерные диоды Nolatech FPL, рисунок 1.2.12, имеющие длину волны 650 нм, встроенную частотную стабилизацию, и так же встроенный оптоволоконный вывод, снабженный оптическим коннектором.

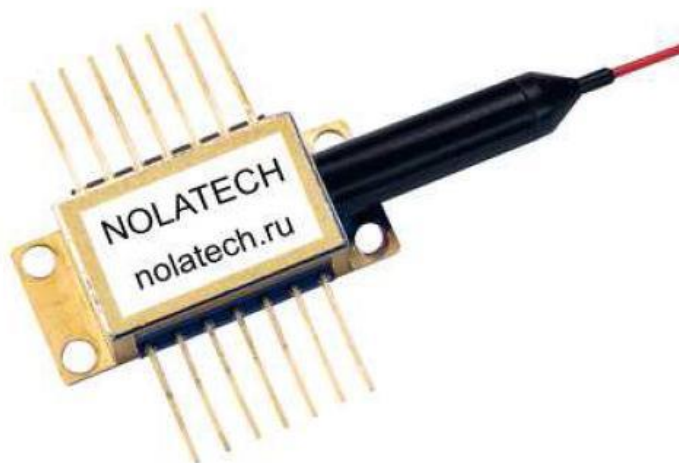


Рисунок 1.2.12 – Общий вид лазерного диода

В качестве коллиматора, применен оптоволоконный коллиматор F240APC, рисунок 8, с рабочей длиной волны 633 нм, фокусом 7.93 мм, числовой апертурой: 0.50, оптическим разъемом FC/APC. Общий вид коллиматора показан на рисунке 1.2.13.



Рисунок 1.2.13 – Общий вид коллиматора

В качестве оптических компонент используются призмы из оптического стекла имеющие в основании равнобедренный треугольник со стороной 12.6 мм. На рисунке 1.2.14 показана стеклянная призма.



Рисунок 1.2.14 – Светоделительный кубик из двух призм.

Устройство регистрации интерферограмм представляет собой ПЗС – линейку Toshiba TCD132, рисунок 1.2.15, обладающую разрешением 1024 пикселя и частотой до 2 МГц.



Рисунок 1.2.15 – Устройство регистрации интерференционной картины

Устройство представляет собой линейный массив из 1024 элементов размером 14x14 мкм. Принцип работы такой системы имеет сходство с принципом работы сдвигового регистра и заключается в следующем – при подаче такового импульса в устройстве формируется и подается на выход сигнал, пропорциональный засветке соответствующей ячейке матрицы, после подачи следующего тактового сигнала – формируется сигнал, пропорциональный засветке следующей ячейки и т.д., до тех пор, пока все ячейки не будут обработаны. После этого процесс начинается сначала. Стоит отметить, что начало выходного сигнала всегда начинается с «фиктивного» вывода (*dummy output*), который длится 64 такта, и необходим для корректного функционирования устройства. Учитывая эту особенность легко посчитать количество тактов, за которые будет обработана вся матрица:

$$64(\text{dummy output}) + 1024 (\text{output}) = 1088 \text{ тактов.} \quad (1.2.1)$$

Соответственно при частоте 2 МГц обработка все матрицы займет время $t_{об}$:

$$t_{об} = \frac{1088}{2 \cdot 10^6} = 0,544 \cdot 10^{-3} [\text{с}]. \quad (1.2.2)$$

Очевидно, что при таком времени обработки частота обработки $f_{об}$ определяется следующим образом:

$$f_{об} = \frac{1}{0,544 \cdot 10^{-3}} = 1838 [\text{Гц}]. \quad (1.2.3)$$

Как видно из формулы (1.2.3) частота обработки ПЗС матрицы не менее чем на порядок превышает частоту изменения интерферограммы при максимальной скорости движения привода.

Из написанного выше следует, что генерация тактового и обработка выходного сигналов ПЗС требует высокой скорости работы управляющего устройства. Таким устройством может быть микроконтроллер, но его применение для решения этой задачи может быть ограничено тем, что микроконтроллер выполняет задачи последовательно. Это может привести к тому, что при одновременном запросе информации с микроконтроллера центральным управляющим устройством и необходимости считывания матрицы ПЗС возникнет нежелательная задержка в приоритетном действии. Наиболее рациональным решением является использование ПЛИС (программируемая логическая интегральная схема). Преимуществом применения ПЛИС является тот факт, что работа по обработке сигнала и передачи информации в центральное управляющее устройство может идти параллельно. Это достигается за счет распределения логики работы программы в отдельные блоки, как показано на рисунке 1.2.16.

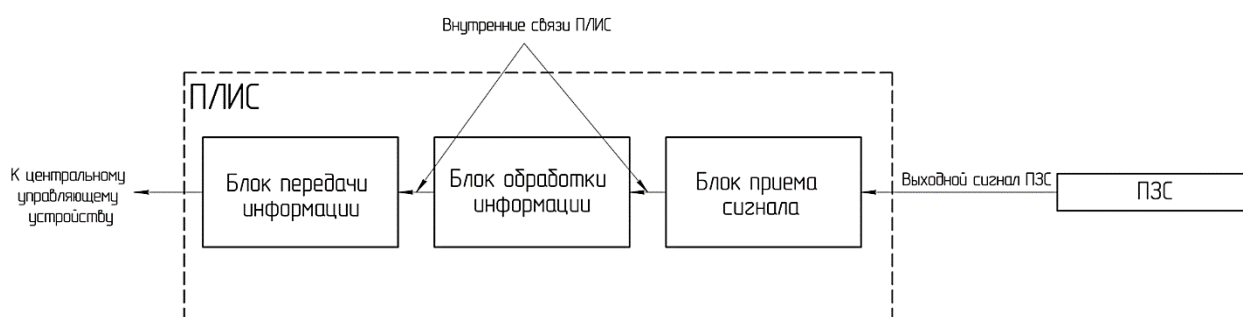


Рисунок 1.2.16 – Схема программы ПЛИС для обработки ПЗС матрицы

Как видно из этого рисунка – логика программы делится на три блока:

Блок приема сигнала – в этом блоке происходит генерация тактового импульса для ПЗС, а также последовательное считывание информации о каждой ячейке матрицы. Полученная информация записывается в регистры и передается по внутренним связям и шинам в следующий блок.

Блок обработки информации – этот блок решает задачи форматирования информации полученной от блока приема сигнала,

преобразуя ее в вид, удобный для дальнейшей работы. После преобразования информация готовится к отправке и передается в следующий блок.

Блок передачи информации – осуществляет передачу полученной от блока обработки информации в центральное управляющее устройство. Передача происходит по тому интерфейсу, который является приоритетным для центрального управляющего устройства.

Описанное таким образом устройство обработки ПЗС матрицы имеет высокую надежность работы, так как все блоки работают параллельно и не происходит конфликта между несколькими действиями, требующими одновременной отработки. Следствием этого фактора является увеличение быстродействия, т.к. каждый блок выполняет свою работу, не дожидаясь своей очереди, а в момент, когда этого требует алгоритм работы.

Предложенная компоновочная схема и устройство обработки ПЗС матрицы позволяют обеспечить малые габариты измерительной системы, расположить её непосредственно на измеряемом объекте и обеспечить быстродействие и надежность системы обработки интерферограмм.

1.3 Выбранная схема измерений

1.3.1 Обоснование выбора оптической схемы с фазовой пластиной

При выполнении сборки и отработки конструкции лазерной измерительной системы, описанной ранее, были обнаружены некоторые факторы, препятствующие полноценной и качественной работе прибора, усложняющие процесс сборки и отладки, а так же влияющие на скорость обработки сигнала, а, следовательно, на максимальную скорость и ускорение перемещения привода в процессе испытаний.

Для увеличения скорости, качества и надежности обработки изменений интерференционной картины, представляющей собой счет интерференционных полос, было принято решение отказаться от использования связки “ПЗС-линейка – ПЛИС” ввиду сложностей, связанных с созданием алгоритма обработки интерферограммы, разработкой микропрограммного обеспечения для ПЛИС, а также возможных погрешностей со стороны ПЗС-линейки. Для реализации высокоскоростного реверсивного счета полос было принято решение использовать схему счета полос на основе квадратурных сигналов, которые получают оптическим способом. Плоскость поляризации излучения одночастотного полупроводникового лазера составляет угол 45° с плоскостью иллюстрации, представленной на рисунке 1.3.1. Четвертьволновая ($\lambda/4$) фазовая пластина - позиция 3, одна из собственных осей которой лежит в плоскости чертежа, вносит в интерферометр, образованный светоделительным кубиком 2 и отражателями 4, выполненными в виде плоских зеркал, разность хода для составляющих излучения лазера параллельной и перпендикулярной плоскости чертежа. Поляризационная призма-куб 6 разделяет эти составляющие. В результате интерференционные сигналы I_1 и I_2 на фотоприемниках 6 сдвинуты по фазе на $\lambda/2$.

Метод счета полос на основе квадратурных интерференционных сигналов не ограничивает скорость изменения и максимальное значение диапазона измеряемых расстояний. Скорость измерения в измерительной

системе на основе этого метода определяется только пропускной способностью электронного тракта и может составлять сотые доли микросекунды (скорость счета полос 100 МГц), что соответствует скорости 16 м/с. Измеряемые расстояния могут превышать десятки метров. Погрешность измерения расстояния определяет дискрета счета, чаще всего равная $\lambda/4$.

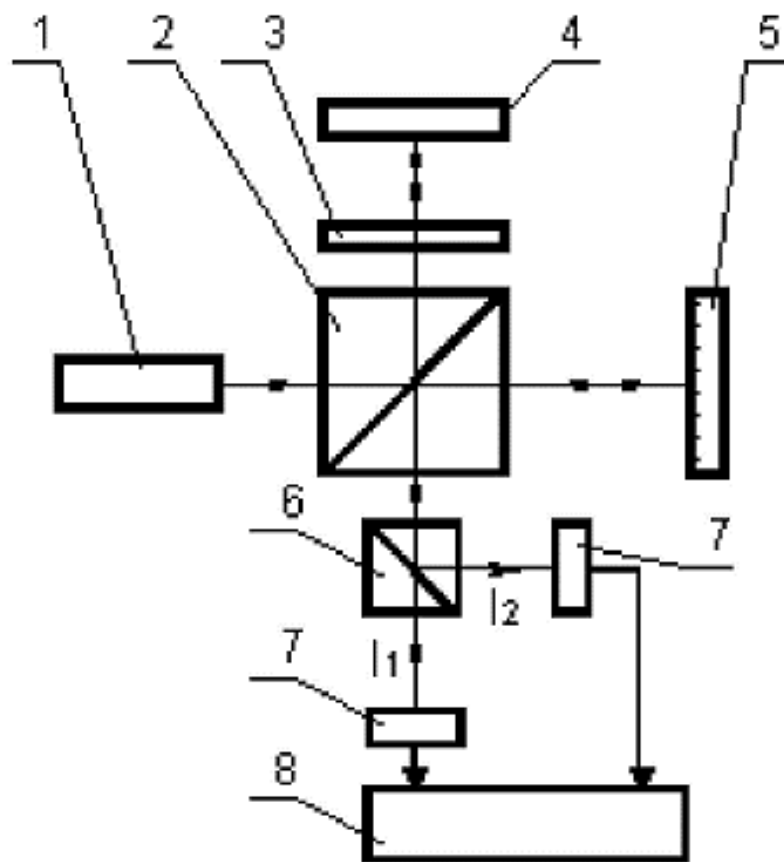


Рисунок 1.3.1 – Оптическая схема

1 – лазер, 2 – светоделительная призма-куб, 3 – фазовая пластина $\lambda/4$, 4 – опорный отражатель, 5 – измерительный отражатель, 6 – поляризационная призма-куб, 7 – фотоприёмник, 8 – блок управления и обработки сигналов.

При детальном анализе оптической и кинематической схем измерительной системы было принято решение заменить прямоугольные

призмы, выступавшие в предыдущих компоновках в качестве опорного и измерительного ретрорефлекторов на плоские зеркала. Причиной замены послужило следующее:

1) Ретрорефлекторы в виде прямоугольных призм не допускали попадания отраженного луча в апертуру гелий-неонового лазера и включения активной поднастройки параметров лазера из-за попадания отраженного луча в систему оптической обратной связи. После замены гелий-неонового лазера полупроводниковым с оптоволоконным выходом, необходимость разведения в пространстве излучаемого и отраженного лучей отпала.

2) Упростилась схема и устройство крепления и настройки отражающего элемента в измерительном плече интерферометра в связи с исключением необходимости настройки положения ретрорефлектора перпендикулярно входящему и исходящему лучу. При поперечном перемещении каретки держателя отражателя изменяется растроп между принятым и отраженным лучами для возврата отраженного луча в точку пересечения с опорным лучом в светоделительном кубике.

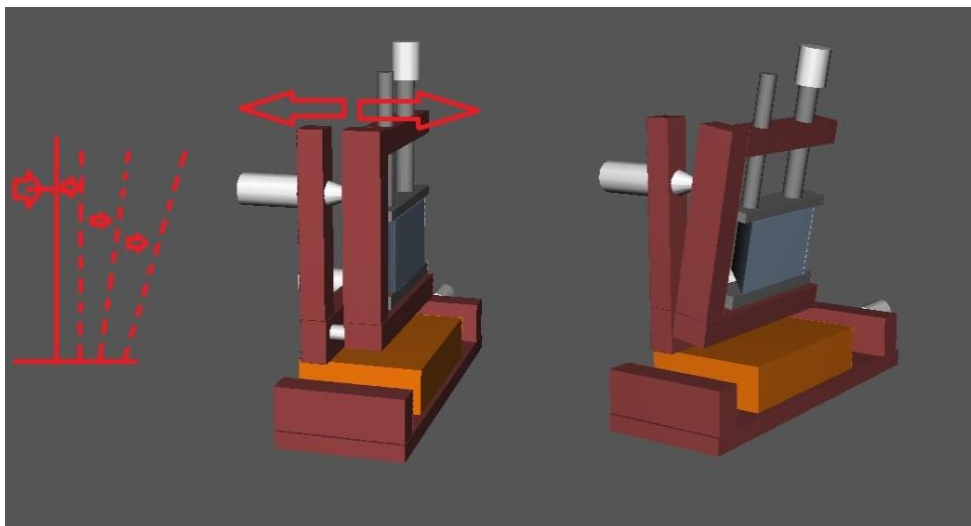


Рисунок 1.3.2 – Модель системы настройки рефлектора

При использовании плоского отражателя возникает необходимость настройки возвращенного луча только по углам тангажа и рысканья.

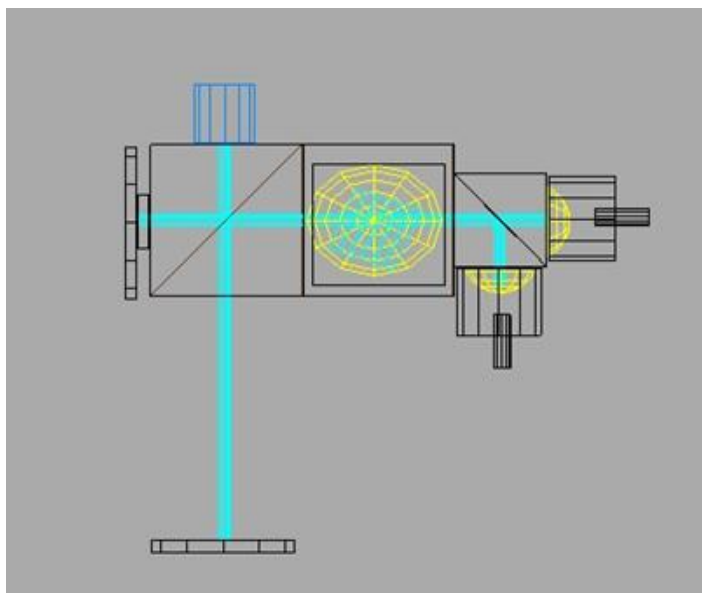


Рисунок 1.3.3 – Модель оптической системы

1.3.2 Состав измерительной системы

В соответствии с выбранной оптической схемой окончательная компоновка включает в себя следующие элементы:

1.3.2.1 Светоделительный кубик

В качестве элементов разделения пучка используются светоделительные кубики РАЗМЕР с делением луча 50/50.

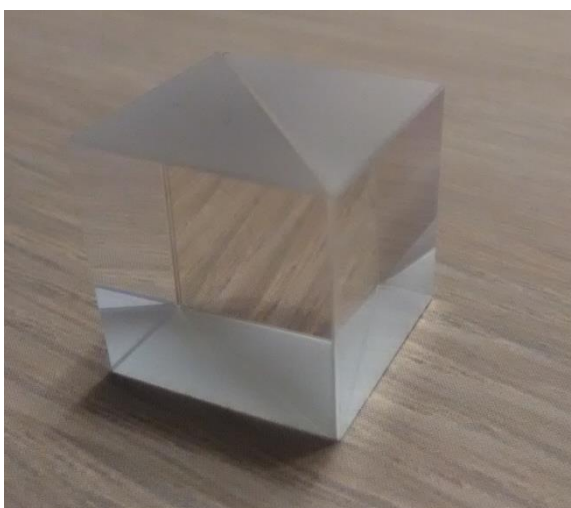


Рисунок 1.3.4 – Светоделительный кубик

1.3.2.2 Фазовая четвертьволновая пластина



Рисунок 1.3.5 – Фазовая пластина

1.3.2.3. Плоские зеркала



Рисунок 1.3.6 – Плоское зеркало

1.3.2.4. Поляризационная светоделительная призма

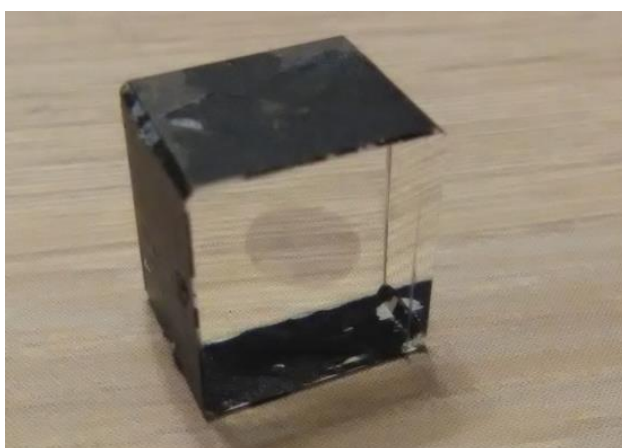


Рисунок 1.3.7 – Поляризатор

1.3.2.5 Рассеивающие линзы



Рисунок 1.3.8 – Линзы

1.3.2.6 Фотодиоды

В качестве чувствительного элемента, фиксирующего изменение интерферограммы в виде прохождения через него светлых и темных полос, был выбран кремниевый фотодиод ФД265 гр.А. Фотодиод ФД-265 гр.А имеет один р-п переход. Выпускается в герметичном металлостеклянном корпусе.

Основные технические параметры фотодиода ФД-265 гр.А:

- размер фоточувствительного элемента: 1,4 x 1,4 мм;
- область спектральной фоточувствительности: 0,4...1,1 мкм;
- номинальное рабочее напряжение: 4 В;
- темновой ток: не более 0,1 мкА;
- токовая фоточувствительность: не менее 0,0075 мкА/лк.

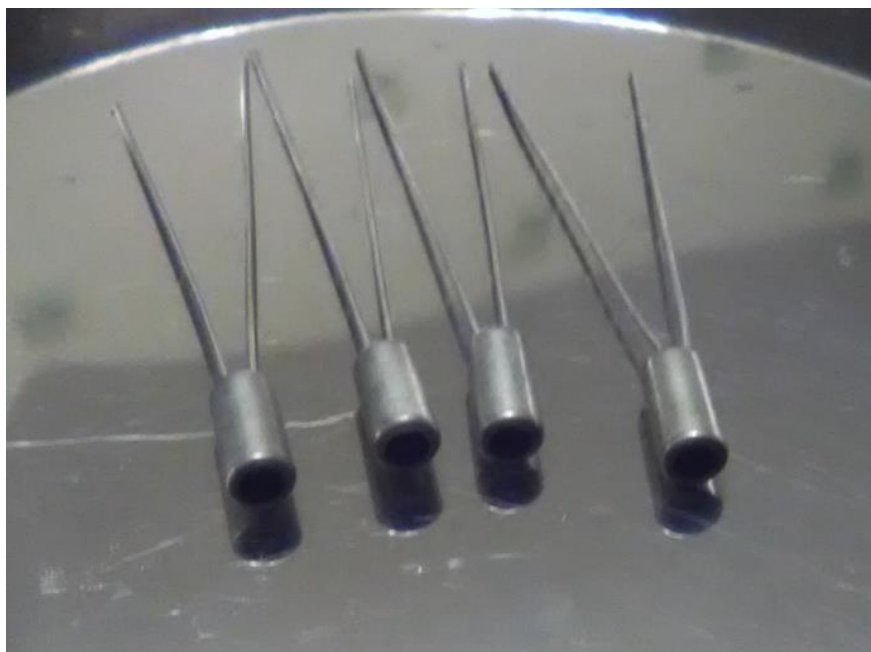


Рисунок 1.3.9 – Фотодиоды

1.3.3 Система регистрации и реверсивного счета полос

В соответствии с сигналами, получаемыми на выходах регистрирующих фотодиодов, представляющих собой два синусоидальных сигнала, сдвинутых друг относительно друга, стало возможным провести аналогию с обработкой сигналов, получаемых от промышленных инкрементальных энкодеров, а, значит, и использовать в качестве скоростного реверсивного счетчика доработанные промышленные решения. В качестве такого счетчика решено использовать устройство цифровой индикации ЛИР-520 (рисунок 1.3.10).



Рисунок 1.3.10 – Устройство цифровой индикации

Характеристики ЛИР-520

количество подключаемых фотодиодов	2
Конструктивное исполнение	приборное
Приемник внешнего сигнала	Зона RI Обнуление
Разрешающая способность	0,0001 град; 0,0005 град; 0,001 град; 0,005 град; 0,1 мкм; 0,5 мкм; 1 мкм; 5 мкм; 10 мкм
Выходной сигнал преобразователя	ПИ - прямоугольный импульсный
Максимальная входная частота сигналов преобразователя	600 кГц
Количество индицируемых разрядов	7 десятичных разрядов и знак

Выходной синусоидальный сигнал светодиодов усиливается операционными усилителями и преобразуется в прямоугольный сигнал

TTL-уровня нуль-компараторами так, что его форма, величина и фазовый сдвиг становятся приемлемыми для устройства цифровой индикации.

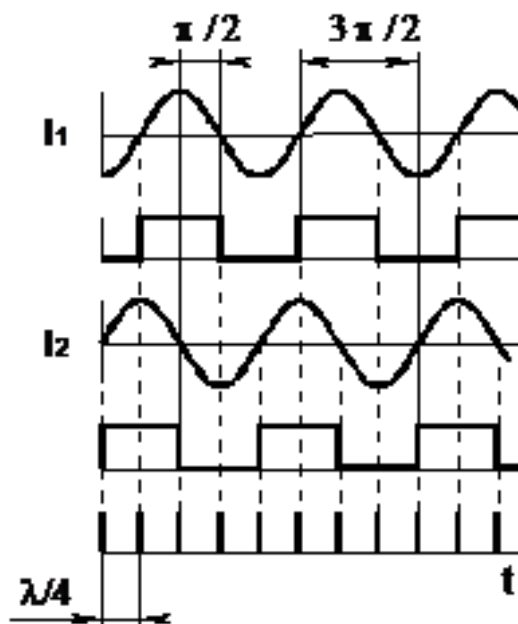


Рисунок 1.3.11 – Форма исходных и преобразованных сдвинутых сигналов

Для передачи данных от устройства цифровой индикации в персональный компьютер для дальнейшей обработки используется кабель-преобразователь RS232-USB



Рисунок 1.3.12 – Преобразователь интерфейсов

1.3.4 Выводы по разделу

В настоящее время система смонтирована и проходит точную тарировку на эталонных приборах. Применение промышленного

модифицированного устройства реверсивного счета импульсов позволило получить скоростную обработку сигналов и отправку результатов в персональный компьютер. Применяемая в устройстве цифровой индикации в качестве счетчика входных импульсов ПЛИС Altera, в силу своих особенностей и операционных мощностей способна обеспечить стабильный счет без пропусков сигналов, что, в условиях жестких требований, предъявляемых к точности измерительной системы, является важным фактором.

2 Участие в студенческих научно - практических конференциях

В ноябре 2017 года я участвовала в III Общероссийской молодежной научно-технической конференции СТАРТ-2017. Тезисы доклада на тему моего диплома опубликованы на 61 странице сборника тезисов и докладов.

Выходные данные сборника: Старт-2017: Тезисы докладов III Общероссийской молодежной науч.-техн. Конф. / Балт. Гос. Техн. Ун-т. – Спб., 2017. – 72с. (Библиотека журнала «Военмех. Вестник БГТУ», №39) [2].

Текст тезисов:

УДК 681.787: 681.2.08

ИНДИВИДУАЛЬНАЯ КАЛИБРОВКА ВЫСОКОТОЧНЫХ ЛИНЕЙНЫХ ПРИВОДОВ ГЕКСАПОДА

А.В. Игнатьева

Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» имени Д.Ф. Устинова

Гексапод – прецизионное мехатронное устройство, электромеханическая система с параллельной кинематикой. Гексапод предназначен для прецизионного перемещения масс в пространстве относительно спутника. Линейный привод (далее – ЛП) является основным кинематическим звеном гексапода. В силу технологического разброса при изготовлении линейных приводов (ног) и высочайших требований к точности воспроизведения движения, сопоставимых с технологической точностью изготовления, все гексаподы продаваемые в настоящее время в мире, не взаимозаменяемы по комплектующим. Для выявления отклонений параметров от номинала 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 ногу и записать новый поправочный коэффициент с систему управления. В случае замены системы управления, в новую нужно записать все индивидуальные параметры приводов.

В данной работе рассмотрен метод индивидуальной калибровки ЛП гексапода с использованием лазерного интерферометра.

ЛП эксплуатируется в условиях глубокого вакуума и переменных тепловых нагрузок, по этой причине обязательным является проведение испытаний по определению величины температурной деформации, реализуемых в условиях термобарокамеры. Применение контактных механических СИ недопустимо из-за подверженности конструктивных элементов СИ температурным изменениям, а применение промышленных образцов контактных электронных СИ представляется невозможным ввиду воздействия факторов, имитирующих условия открытого космоса – экстремальные температуры и глубокий вакуум. Поэтому в качестве СИ выбран лазерный интерферометр на основе гелий-неонового лазера с системой обработки информации. Кроме указанных воздействий факторов космического пространства, параметры ЛП различаются на доли микрона и требуемую точность измерения могут обеспечить только оптические методы [1].

Для выполнения измерений был изготовлен стенд, реализующий схему интерферометра Майкельсона. Для интерпретации интерференционных картин был разработан программно-аппаратный измерительный комплекс. В качестве источника когерентного излучения используется стабилизированный по частоте одночастотный и одномодовый гелий-неоновый (He-Ne) лазер с рабочей длиной волны 632,8 нм. В реализованном стенде чувствительным элементом является видеокамера со скоростью съемки 30 кадров в секунду. Система регистрации интерферограммы с помощью видеокамеры с последующей обработкой на ПК обладает высокой наглядностью и информативностью процесса настройки и измерений. В качестве программного обеспечения, обрабатывающего интерферограмму, выбрана среда National Instruments LabView. Для проведения калибровки была разработана программа-методика испытаний ЛП гексапода. Проведены первые испытания одного из экспериментальных образцов. По результатам сопоставления теоретических и экспериментальных значений перемещения ЛП был получен поправочный коэффициент.

Список литературы

1 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, 08.2016. – с. 98 - 104.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе проведения научно-исследовательской работы рассмотрены различные компоновочные схемы измерений, выбран предполагаемый состав оборудования стенда.

В ближайшее время планируется настройка стенда, собранного по выбранной схеме.

Предметом дальнейшей работы является разработка программы-методики испытаний, проведение измерений и анализ результатов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 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, 08.2016.

2 Старт-2017: Тезисы докладов III Общероссийской молодежной науч.-техн. Конф. / Балт. Гос. Техн. Ун-т. – Спб., 2017. – 72с. (Библиотека журнала «Военмех. Вестник БГТУ», №39).